

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLERİ ANABİLİM DALI

**SİLİŞİR GÖVDE MALZEMESİ AA7075-T6 ALA İMİNİN ANOD KATODİK
OKSİDASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Samet YAVUZ

**MAYIS 2018
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SİLAH GÖVDE MALZEMESİ AA7075-T6 ALAŞIMININ ANODİK OKSİDASYONU

Mak. Müh. Samet YAVUZ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"MAKİNA YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 / 04 / 2018

Tezin Savunma Tarihi : 11 / 05 / 2018

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Tefik KÜÇÜKÖMEROĞLU

Trabzon 2018

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
Samet YAVUZ Tarafından Hazırlanan**

SİLAH GÖVDE MALZEMESİ AA7075-T6 ALAŞIMININ ANODİK OKSİDASYONU

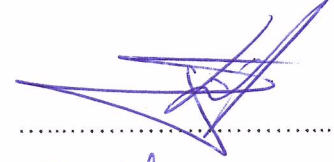
**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 24 / 04 / 2018 gün ve 1750 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Tefvik KÜÇÜKÖMEROĞLU

Üye : Prof. Dr. Cemal MERAN

Üye : Doç. Dr. Yasin ALEMDAĞ



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Ülkemizde ve dünyada savunma sanayisine yapılan yatırımlar son yıllarda büyük bir ivme kazanmıştır. Bu yatırımlar içerisinde hafif silah üretimi önemli bir yer tutmaktadır. Hafif silah endüstrisinde hafiflik, yüksek mukavemet, dayanıklılık, korozyon direnci ve kolay işlenebilirlik ön planda olduğundan, silah gövdelerinin üretiminde yüksek mukavemet, yüksek korozyon direnci ve düşük özgül ağırlık gibi üstün özelliklere sahip olan AA7075-T6 alüminyum alaşımı yaygın olarak kullanılmaktadır. Hafif silah gövdeleri silahların çalışma prensipleri gereğince inma ve kullanıldıkları ortamlara göre korozif etkilere maruz kalmaktadırlar. Bu nedenlerle AA 7075-T6 alüminyum alaşımı ile üretilen silah gövdelerinin yüzey sertlikleri ile inma dayanımlarının artırılması ve aynı zamanda daha yüksek korozyon direnci elde edilmesi amacıyla planlanan bu çalışmada, hafif silah gövdelerine uygulanan anodik oksidasyon işlem parametrelerinin oksidasyon tabakasının fiziksel özelliklerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca gerçekleştirilecek çalışma sayesinde, ülkemizde gelişmekte olan savunma sanayi ve hafif silah endüstrisinin bilgi birikimine katkı sağlanacaktır.

Tez danışmanlığı üstlenerek yapılan çalışmaların yönlendirmesi ve sonuçlandırılması sürecinde çok değerli katkı ve desteklerinden dolayı danışman hocam Sayın Prof. Dr. Tefik KÜÇÜKÖMERO LU'na teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamdaki desteklerinden dolayı Sayın Öğr. Gör. Beyhan KARPUZ, çalışmam arkadaşlarım Mak. Yük. Müh. Mahmutcan KARSLI ve Mak. Yük. Müh. Ozan KEKÜL'e teşekkür ederim.

Bu çalışmam boyunca her türlü desteğinden esirgemeyen baba ve sevgili ailem ve bitanecik kızıma teşekkür ederim.

Samet YAVUZ

Trabzon, 2018

TEZ ET K BEYANNAMES

Yüksek Lisans Tezi olarak sundu um “Silah Gövde Malzemesi AA7075-T6 Ala ımının Anodik Oksidasyonu” ba lıklı bu çalı mayı ba tan sona kadar danı manım Prof. Dr. Tefik KÜÇÜKÖMERO LU’nun sorumlulu unda tamamladı ımı, verileri kendim topladı ımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptı ımı, ba ka kaynaklardan aldı ım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdi imi, çalı ma sürecinde bilimsel ara tırma ve etik kurallara uygun olarak davrandı ımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul etti imi beyan ederim. 11/05/2018

Samet YAVUZ

Ç NDEK LER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ET K BEYANNAMES	IV
Ç NDEK LER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
EK LLER D Z N	X
TABLolar D Z N	XV
SEMBOLLER D Z N	XVII
1. G R	1
1.1. Silah Hakkında Genel Bilgiler	1
1.2. Alüminyumun Özellikleri	4
1.3. Ala ım Elementleri ve Etkileri.....	6
1.3.1. Alüminyum Ala ımlarının Gruplandırılması.....	8
1.3.1.1. Dövme Alüminyum Ala ımları.....	8
1.3.1.2. Döküm Alüminyum Ala ımları.....	9
1.4. Alüminyum Ala ımlarının Isıl İlemi	10
1.4.1. Çözeltiye Alma.....	12
1.4.2. Su Verme.....	12
1.4.3. Ya landırma	13
1.5. 7075 Alüminyum Ala ımları.....	14
1.5.1. 7075 Ala ımının T6 Isıl İlemi	15
1.6. Alüminyuma Uygulanan Kaplamalar	17
1.6.1. Anodik Oksidasyonun Tanımı	18
1.6.2. Anodik Oksidasyonun Avantajları	18
1.7. Anodik Oksidasyonun İleminin Genel Özellikleri	19
1.7.1. Anodik Oksidasyon Ekipmanları	21
1.7.2. Anodik Oksidasyon İlemi.....	22
1.7.3. Yüzeyin Hazırlanması İlemi.....	23
1.7.4. Anodik Oksidasyon İlemi Uygulanması.....	25

1.7.5.	Renklendirme	28
1.7.6.	Tespit lemi	29
1.8.	Anodik Oksidasyonun Yapısı	30
1.8.1.	Anodik Oksidasyon Tabakasının Geli imi	31
1.9.	Anodik Oksidasyon Tabakasının Olu umunu Etkileyen Parametreler	34
1.10.	Sert Anodizasyon	35
1.11.	A ınma ve A ınma Mekanizmaları	37
1.12.	Korozyon ve Korozyon Türleri	38
1.13.	Çalı manın Amacı	38
1.14.	Literatür Özeti	39
2.	DENEYSEL ÇALI MALAR	44
2.1.	Deney Malzemesi	44
2.2.	Kaplama Parametrelerinin Belirlenmesi	45
2.2.1.	Kaplama lemleri için Deney Tasarımı	45
2.2.1.1.	Ortogonal Dizi ve Parametrelerinin Seçilmesi	47
2.2.1.2.	Parametre ve Seviyelerinin Tabloya Yerle tirlmesi	49
2.2.1.3.	Sonuçların Analizi	50
2.3.	Numunelerin Oksidasyon lemi	51
2.4.	Numunelerin Mikroyapı ncelemeleri	52
2.5.	Kaplama Kalınlı ı Ölçümü	52
2.6.	Sertlik Ölçümü	53
2.7.	A ınma Deneyi	53
2.8.	Korozyon Deneyi	55
3.	BULGULAR VE RDELEME	57
3.1.	Ana Malzemenin Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi	57
3.2.	Kaplamaların Yüzey Özelliklerinin Analizi	59
3.3.	Kaplama Kalınlıklarının Analizi	66
3.4.	Mikrosertlik Analizi	73
3.5.	A ınma Deneyi Analizi	77
3.6.	Korozyon Deneyi Analizi	103
4.	SONUÇLAR	117
5.	ÖNER LER	119
6.	KAYNAKLAR	120

ÖZGEÇM



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

S LAH GÖVDE MALZEMES AA7075-T6 ALA İMINİN ANODİK OKSİDASYONU

Samet YAVUZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Tefik KÜÇÜKÖMERO LU

2018, 124 Sayfa

Bu çalışmada, hafif silah gövdelerinin imalatında geleneksel olarak kullanılmakta olan AA7075-T6 alaşımına uygulanan anodik oksidasyon işlem parametrelerinin oksidasyon tabakasının aşınma dayanımı ve korozyon direncine etkileri tespit edilip, en uygun anodik oksitleme parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılarak farklı anodik oksidasyon koşullarında elde edilen numuneler, çeşitli deneylere tabi tutulmuş ve bu deneylerden elde edilen bulgular, ANOVA analizleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda anodik oksidasyon işlemi ile istenilen kalınlıklarda oksit tabakası elde edilebileceği görülmüş, yüksek yüzey sertliği ile beraber yüksek aşınma dayanımına sahip, korozyon direnci yüksek kaplamalar elde edilmiştir. İrdeleme sonucunda, 22V sabit gerilim uygulanarak $1,3\text{A}/\text{dm}^2$ akım yoğunluğunda, 2°C sıcaklığında, 140 dk işlem süresinde oluşturulacak oksit tabakasının en yüksek aşınma ve korozyon dayanımına sahip olacağı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Silah gövdesi, AA7075-T6, Anodik oksidasyon, Aşınma, Korozyon.

Master Thesis

SUMMARY

ANODIC OXIDATION OF WEAPON FRAME MATERIAL AA7075-T6 ALLOY

Samet YAVUZ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Tevfik KUCUKOMEROGLU
2018, 124 Pages

In this study, it is aimed to determine the most suitable anodic oxidation parameters by determining the effects of the anodic oxidation process parameters which are implemented to AA7076-T6 alloy which is used traditionally for the production of the light weapons frames on wear strength and corrosion resistance of the oxidation layer. The specimens which are obtained from different anodic oxidation circumstances by using Taguchi method were subjected various experimental investigations and the results of the experiments were scrutinized comparatively through ANOVA analysis. As a result of the evaluations made, it is observed that the oxide layer which is intended thickness can be obtained through anodic oxidation process and the coatings which have high surface hardness, high wear strength and good corrosion resistance were obtained. According to scrutinizing, it was observed that through the oxide layer which to be generated by implementing 22V constant voltage, 1,3A/dm² current density, 2°C temperature and 140 min process time has highest wear and corrosion resistance.

Key Words: Weapon frame, AA7075-T6, Anodic oxidation, Wear, Corrosion.

EK LLER D Z N

	<u>Sayfa No</u>
ekil 1. Ate li silah grupları.....	2
ekil 2. Ön ekillendirilmi silah gövde hammaddesi.....	3
ekil 3. AA7075-T6 malzemedden üretilen silah gövdelerinin görünümü.....	3
ekil 4. Al-Zn faz diyagramı.....	14
ekil 5. Çe itli alüminyum ala ımlarının su verme duyarlılıkları ve ortalama su verme oranları, a) dövme alüminyum ala ımlarının ya landırma sonrası akma mukavemeti b) dövme alüminyum ala ımlarının ya landırma i lemi sonrası çekme mukavemetleri.....	16
ekil 6. 7075 ala ımının akma mukavemeti e risi.....	16
ekil 7. Anodik oksidasyon i leminin ematik görünümü.....	20
ekil 8. Anodik oksit yapısı.....	20
ekil 9. Anodik oksidasyon prosesi ematik gösterimi.....	25
ekil 10. Oksit tabakasından iyonların geçi inin ematik görünümü.....	27
ekil 11. Tespit i lemi uygulanmı poröz oksit tabakasının ematik görünümü.....	29
ekil 12. Oksit tabakasının ematik gösterimi.....	30
ekil 13. Alüminyum üzerinde büyüme gösteren hegzagonal yapılı bariyer oksit ve poröz oksit tabakası.....	32
ekil 14. Gözenekli oksit yapısının olu umunun ematik gösterimi.....	32
ekil 15. Bariyer oksit tabakası ve poröz oksit tabakasının genel görünümü.....	33
ekil 16. Anodik oksidasyon i leminde gerçeke en Al ³⁺ ve O ²⁻ iyonlarının geçi leri.....	34
ekil 17. Anodik oksidasyon türleri ve kaplama kalınlıkları.....	36
ekil 18. Malzeme yüzeylerinde olu an a ınma mekanizmalarının ematik gösterimi.....	38
ekil 19. Anodik oksidasyon öncesi hazırlanmı numuneler, a) zımparalanmı , b) kumlanmı yüzey görüntüsü.....	44
ekil 20. Anodik oksidasyon i lemi ematik görünümü.....	51
ekil 21. Anodik oksidasyon i lemi banyoları genel görünümü.....	52
ekil 22. Ball-on-disk tipi sürtünme ve a ınma deney düzene i.....	54
ekil 23. Sürtünme a ınma deney düzene inin ayrıntılı görünümü.....	54
ekil 24. AA7075-T6 ala ımı optik mikroskop görüntüsü 200X büyütme.....	58
ekil 25. AA7075-T6 ala ımı optik mikroskop görüntüsü 500X büyütme.....	59

ekil 26. Ana malzemenin yüzey pürüzlülü ü ölçümü optik profilometre görüntüsü.....	60
ekil 27. N15 numunesinin yüzey pürüzlülü ü ölçümü optik profilometre görüntüsü.....	60
ekil 28. Ana malzemenin anodik oksidasyon i lemi öncesi yüzey görünümü.....	62
ekil 29. Anodik oksidasyon sonrası numune yüzeylerinin SEM görüntüsü a) N1, b) N2.....	64
ekil 30. Anodik oksidasyon sonrası numune yüzeylerinin SEM görüntüsü a) N3, b) N4.....	64
ekil 31. Anodik oksidasyon sonrası numune yüzeylerinin SEM görüntüsü a) N5, b) N6.....	64
ekil 32. Anodik oksidasyon sonrası numune yüzeylerinin SEM görüntüsü a) N7, b) N8.....	65
ekil 33. Anodik oksidasyon sonrası numune yüzeylerinin SEM görüntüsü a) N9, b) N10.....	65
ekil 34. Anodik oksidasyon sonrası numune yüzeylerinin SEM görüntüsü a) N11, b) N12.....	65
ekil 35. Anodik oksidasyon sonrası numune yüzeylerinin SEM görüntüsü a) N13, b) N14.....	66
ekil 36. Anodik oksidasyon sonrası numune yüzeylerinin SEM görüntüsü a) N15, b) N16.....	66
ekil 37. a) N1 b) N2 c) N3 d) N4 kodlu numunelerin optik mikroskopta yapılan kaplama kalınlı ı ölçüm görüntüleri	68
ekil 38. a) N5 b) N6 c) N7 d) N8 kodlu numunelerin optik mikroskopta yapılan kaplama kalınlı ı ölçüm görüntüleri	68
ekil 39. a) N9 b) N10 c) N11 d) N12 kodlu numunelerin optik mikroskopta yapılan kaplama kalınlı ı ölçüm görüntüleri	69
ekil 40. a) N13 b) N14 c) N15 d) N16 kodlu numunelerin optik mikroskopta yapılan kaplama kalınlı ı ölçüm görüntüleri	69
ekil 41. Kaplama kalınlı ı de i im grafi i	70
ekil 42. Kaplama parametrelerinin kaplama kalınlı na etkisi.....	71
ekil 43. Numunelerin sertlik de i im grafi i.....	74
ekil 44. Kaplama parametrelerinin mikrosertli e etkisi.....	75
ekil 45. Ana malzeme, N1, N2, N3, N4 numunelerinin 5N yük ve 10000 çevrimde elde edilen sürtünme katsayısı e rileri.....	78
ekil 46. Ana malzeme, N5, N6, N7, N8 numunelerinin 5N yük ve 10000 çevrimde elde edilen sürtünme katsayısı e rileri.....	78
ekil 47. Ana malzeme, N9, N10, N11, N12 numunelerinin 5N yük ve 10000 çevrimde elde edilen sürtünme katsayısı e rileri.....	79

ekil 48. Ana malzeme, N13, N14, N15, N16 numunelerinin 5N yük ve 10000 çevrimde elde edilen sürtünme katsayısı e rileri.....	79
ekil 49. Numunelerin sürtünme katsayısı de i im grafi i.....	80
ekil 50. Kaplama parametrelerinin sürtünme katsayısına etkisi.....	81
ekil 51. Ana malzemenin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü.....	83
ekil 52. N1 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü.....	83
ekil 53. N2 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü.....	84
ekil 54. N3 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü.....	84
ekil 55. N4 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü.....	85
ekil 56. N5 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü.....	85
ekil 57. N6 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü.....	86
ekil 58. N7 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü.....	86
ekil 59. N8 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü.....	87
ekil 60. N9 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü.....	87
ekil 61. N10 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü.....	88
ekil 62. N11 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü.....	88
ekil 63. N12 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü.....	89
ekil 64. N13 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü.....	89
ekil 65. N14 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü.....	90
ekil 66. N15 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü.....	90
ekil 67. N16 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü.....	91
ekil 68. Numunelerin hacim kaybı de i im grafi i.....	92
ekil 69. Kaplama parametrelerinin a ınma deneyi sonrası olu an hacim kaybına etkisi.....	93
ekil 70. Ana malzemenin a ınma yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme.....	96
ekil 71. N1 numunesinin a ınma yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme.....	96
ekil 72. N2 numunesinin a ınma yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme.....	96
ekil 73. N3 numunesinin a ınma yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme.....	97
ekil 74. N4 numunesinin a ınma yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme.....	97
ekil 75. N5 numunesinin a ınma yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme.....	97

ekil 76. N6 numunesinin a ınma yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme.....	98
ekil 77. N7 numunesinin a ınma yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme.....	98
ekil 78. N8 numunesinin a ınma yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme.....	98
ekil 79. N9 numunesinin a ınma yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme.....	99
ekil 80. N10 numunesinin a ınma yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme.....	99
ekil 81. N11 numunesinin a ınma yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme.....	99
ekil 82. N12 numunesinin a ınma yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme.....	100
ekil 83. N13 numunesinin a ınma yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme.....	100
ekil 84. N14 numunesinin a ınma yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme.....	100
ekil 85. N15 numunesinin a ınma yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme.....	101
ekil 86. N16 numunesinin a ınma yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme.....	101
ekil 87. Numunelerin korozyon deney görüntüsü a) ana malzeme, b) N11 numunesi.....	104
ekil 88. Numunelerin korozyon deneyi sonrası yüzey görünümleri.....	104
ekil 89. Ana malzemenin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme.....	105
ekil 90. N1 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme.....	106
ekil 91. N2 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme.....	106
ekil 92. N3 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme.....	106
ekil 93. N4 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme.....	107
ekil 94. N5 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme.....	107
ekil 95. N6 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme.....	107

ekil 96. N7 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme.....	108
ekil 97. N8 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme.....	108
ekil 98. N9 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme.....	108
ekil 99. N10 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme.....	109
ekil 100. N11 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme.....	109
ekil 101. N12 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme.....	109
ekil 102. N13 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme.....	110
ekil 103. N14 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme.....	110
ekil 104. N15 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme.....	110
ekil 105. N16 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme.....	111
ekil 106. A ırlık kaybı de i im grafi i.....	112
ekil 107. Kaplama parametrelerinin korozyon deneyi sonrası olu an a ırlık kaybına etkisi.....	113

TABLolar D Z N

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Saf alüminyumun özellikleri	5
Tablo 2. Alüminyum ala ım elementlerine göre sınıflandırılması.....	7
Tablo 3. Dövme alüminyum ala ımlarının sınıflandırılması.....	9
Tablo 4. Döküm alüminyum ala ımlarının sınıflandırılması.....	9
Tablo 5. Alüminyum ala ımlarının ısıl i lem kodları.....	11
Tablo 6. Ticari 7075 alüminyum ala ımının kimyasal bile imi.....	15
Tablo 7. 7075 alüminyum ala ımının bazı fiziksel özellikleri.....	15
Tablo 8. 7075 alüminyum ala ımının tipik T6 yapay ya landırma ısıl i lem artları.....	17
Tablo 9. Elektrolit türleri ve uygulama artları.....	21
Tablo 10. Uygulanan i lem parametreleri.....	37
Tablo 11. Anodik oksidasyon i lemi için belirlenen kaplama parametreleri.....	45
Tablo 12. Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu.....	46
Tablo 13. L ₁₆ Ortogonal dizi ve parametrelerin yerle imi.....	47
Tablo 14. Proses parametreleri ve tanımlanması.....	48
Tablo 15. Toplam serbestlik derecesi.....	48
Tablo 16. L ₁₆ Ortogonal dizisi deneysel tasarım planı.....	49
Tablo 17. Deney parametrelerin L16 ortogonal dizisine yerle imi.....	50
Tablo 18. A ınma deney parametreleri.....	55
Tablo 19. Tedarikçi firmanın spektral analiz sonucu.....	57
Tablo 20. AA7075-T6 alüminyum ala ımının kimyasal bile im analiz sonuçları.....	58
Tablo 21. Numunelerin yüzey pürüzlülük de erleri.....	61
Tablo 22. Numunelerin kaplama kalınlıkları.....	70
Tablo 23. Kaplama kalınlı ına etki eden kaplama parametrelerinin her seviyesi için S/N oranları ve delta istatisti i	71
Tablo 24. Parametrelerin kaplama kalınlıklarına etkisi için ANOVA analizi.....	72
Tablo 25. Numunelerin mikro sertlik de erleri.....	73
Tablo 26. Mikrosertli e etki eden kaplama parametrelerinin her seviyesi için S/N oranları ve delta istatisti i	75
Tablo 27. Parametrelerin sertli e etkisi için ANOVA analizi.....	76

Tablo 28. 5N yük ve 10000 çevrim sayısında yapılan aşınma deneyleri sonucu elde edilen sürtünme katsayıları.....	79
Tablo 29. Sürtünme katsayısına etki eden kaplama parametrelerinin her seviyesi için S/N oranları ve delta istatistiği	81
Tablo 30. Parametrelerin sürtünme katsayısına etkisi için ANOVA analizi.....	82
Tablo 31. Aşınma deneyi sonrası numunelerin hacimsel kayıpları.....	91
Tablo 32. Hacim kaybına etki eden kaplama parametrelerinin her seviyesi için S/N oranları ve delta istatistiği	93
Tablo 33. Parametrelerin hacim kaybına etkisi için ANOVA analizi.....	94
Tablo 34. Korozyon deneyi sonrası ağırlık kayıpları.....	111
Tablo 35. Ağırlık kaybına etki eden kaplama parametrelerinin her seviyesi için S/N oranları ve delta istatistiği	113
Tablo 36. Parametrelerin ağırlık kaybına etkisi için ANOVA analizi.....	114

SEMBOLLER D Z N

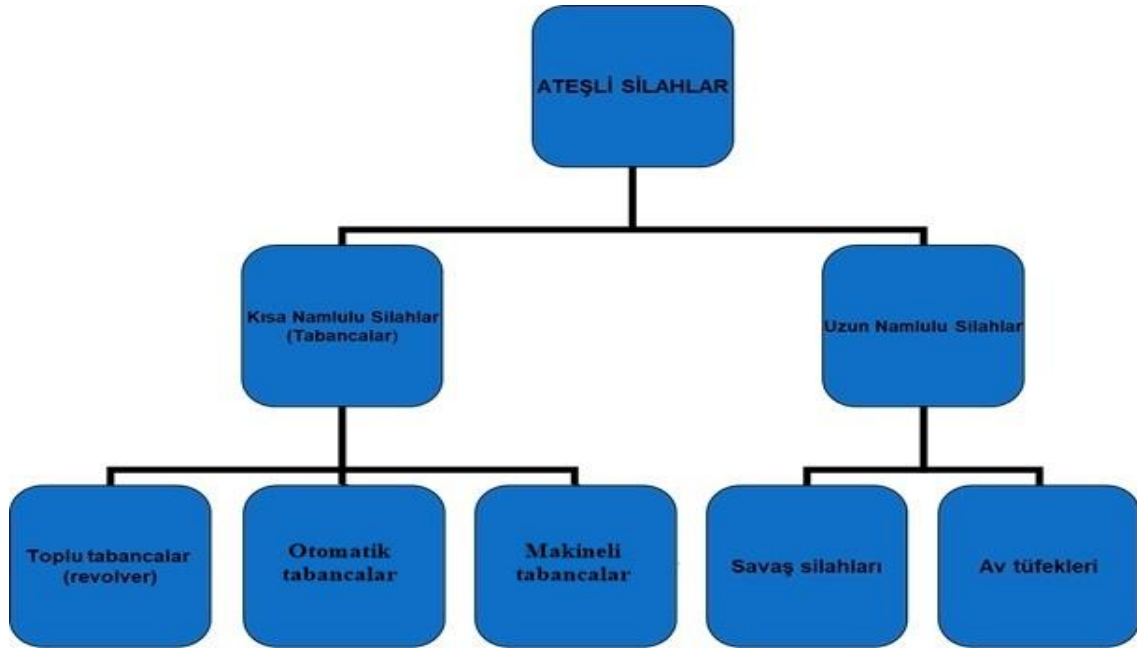
A	: Akım Birimi, Amper
Al	: Alüminyum
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
Al ₂ O ₃ .H ₂ O	: Bohemit-alümina
ANOVA	: Varyans Analizi
ASTM	: American Society for Testing and Materials
DC	: Do ru Akım
F	: Kuvvet
HB	: Brinell Sertlik De eri
HNO ₃	: Nitrik Asit
H ₂ O	: Su
H ₂ SO ₄	: Sülfürik Asit
HV	: Vickers Sertlik De eri
KNO ₃	: Potasyum Nitrat
NaCl	: Sodyum Klorür
NaOH	: Sodyum Hidroksit
RRA	: Yeniden Çözeltiy alma ve Yeniden Ya landırma
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
V	: Hacim, mm ³
V	: Gerilim, volt
VSD	: Vickers Sertlik De eri
W	: Normal Kuvvet
μ	: Sürtünme Katsayısı

1. G R

1.1. Silah Hakkında Genel Bilgiler

Silah, tarih boyunca insanların kendini savunma amacıyla ve avlanma ihtiyaçları için kullandıkları araçlardır. Silahlar ate li ve ate siz olmak üzere iki ba lıkta incelenebilir. Ate siz silahlar mızrak, kılıç, hançer vb. gibi sıralanabilir. Fakat ate siz silahların kullanımı barutun bulunmasıyla oldukça azalmı olup, günümüzde ate li silahlar daha yaygın kullanılmaktadır. Ate li silahlar, barutun yanmasıyla olu an gazda meydana gelen genle menin olu turdu u itici gücün etkisiyle fi eklerin fırlatılmasını sa layan tüm silahlara verilen genel isimdir. Ate li silah telaffuz edildi inde genellikle ahsa ait olan, küçük ve ta nılabilen silahlar akla gelmektedir, fakat bu terim büyük toplardan tüfe e, av tüfe inden tabancaya kadar her çe it ve boyuttaki silahları içermektedir. Silahın tarihsel geli im sürecindeki teknolojik geli meler, silahın ta nılabilirlik açısından hafifli ini ön planda tutarak, a nımaya ve korozyona kar ı direncinin yüksek olmasını sa layacak yönde yapılmaktadır. Bu do rultuda yapılan ara tırmalar temelde silahın kullanım ömrünü uzatma amacına odaklanmı tır. Bu amaca paralel olarak, geli en teknoloji ile silah üretiminde kullanılan malzemelerde dü ük maliyet, dü ük özgül a ırlık, yüksek mukavemet, a nıma dayanımı ve korozyon direnci aranan özelliklerin ba ında gelmektedir [1-4]. Söz konusu ate li silahların genel gruplandırılması ekil 1'den görülmektedir [4].

ekil 1'de belirtilen gruplar içerisinde, hafif silah olarak adlandırılan tabanca, tüfek ve av tüfekleri tarihi geli imi boyunca sürekli hafiflik, yüksek dayanım ve ergonomik açıdan kullanı lı olması açısından geli tirilerek süre gelmi ve 1830'lu yıllara gelindi ince Colt tarafından geli tirilen toplu tabanca ile bu endüstride yeni bir bakı açısı kazanmı tır. Geli tirilen bu silah, günümüzde üretilmekte olan silahlara ık tutmu tur [1,3].



ekil 1. Ate li silah grupları [4].

Silahlar, çalı ma mekanizması sebebiyle yüksek a ınmaya, dinamik yüklere, korozyona maruz kaldıklarından imalatında yüksek mukavemetli ve korozyon direnci yüksek malzemeler kullanılmaktadır. Silah yapımında kullanılacak malzemenin beklenen özellikler, mukavemet ve a ınma direncinin yüksek olarak uzun kullanım ömrü ve bu süre içinde atı hassasiyetinin aynı seviyede kalmasının sa lanması, ısıl etkilerden en az etkilenen, yüksek korozyon direnci sayesinde her türlü iklim artlarında boyutsal kararlılık ve kullanım süresince görsel yüzey kalitesini koruması ekinde sıralanabilir [1,3]. Silahın en önemli parçalarından olan gövde, üzerinde kapak ve namluya ait çalı ma kanalları bulundu undan a ınmaya maruz kalmakta ve bu sebeple de kullanılacak olan malzemenin a ınma dayanımının yüksek olması istenilmektedir. Söz konusu a ınmalar sadece hareketli parçalar arasında olmayıp kullanıcı kaynaklıda olu maktadır. Kullanılacak olan malzemenin beklenen özellikleri kar ılması ve yüzey kaplama i lemi uygulanabilirli i silah gövdesi üretiminde belirli malzeme grupları içerisinde AA7075-T6 ala ımını silah gövdesi üretiminde ön plana çıkarmı tır. AA7075-T6 ala ımından imal edilmekte olan silah gövdesinin ön ekillendirilmi durumdaki görüntüsü ekil 2’de verilmi tir. Geleneksel olarak silah gövdesi imalatında kullanılan AA7075-T6 alüminyum ala ımından hazırlanarak ekillendirmeye tabi tutulmu gövdelerin örnekleri ekil 3’de verilmi tir.



ekil 2. Ön ekilendirilmi silah gövdesi [3].



ekil 3. AA7075-T6 malzemededen üretilmi silah gövdelerinin görünümü [3].

ekil 2 ve ekil 3'den görülmekte olan AA7075-T6 alaımının silah gövdesi olarak kullanımında, beklenen mukavemeti karşılayabilir durumda olmasına karşın, daha yüksek sertliğe sahip diğer metal parçalarla etkileimde olması nedeniyle, yüzeyinde aşınma ve korozyon etkileri olabilmektedir. Bu nedenler yüzeylerinde koruyucu ve dayanımı yüksek olan kaplamaların kullanımı ihtiyacını doğurmuştur. Bunların yanı sıra silah gövdeleri silah parçaları içerisinde en büyük hacimli ve en çok korozyon ve aşınmaya maruz kalan parçalar

oldu undan bu parçanın yüzey özelliklerinin geli tirilmesi ve geli en teknoloji sayesinde dünya piyasası ile yarışması açısından oldukça önemlidir. Ülkemiz savunma sanayisinin dünyada ki di er ülkelerle yarışabilmesi adına yapılan yatırımlar ve artan Ar-Ge çalışmaları sayesinde, savunma sanayisi geli tirmeye açık en büyük endüstri kolunu oluşturmaktadır.

1.2. Alüminyumun Özellikleri

Alüminyum ve alaşımları dünyada yıllık 25 milyon ton kullanım ile demir dışı metal grubunda ilk sırada gelmektedir. 1950 yılından itibaren alüminyumun üretimi istikrarlı bir şekilde artış göstermektedir [5,9].

Alüminyum hafif metaller grubunun en çok kullanılan üyesi olup, özgül ağırlığı çeliğin yaklaşık üçte biri kadardır ($2,71 \text{ gr/cm}^3$). Alüminyum alaşımlarının üretimindeki artışının yanında örneğin ulaştırma, inşaat, ambalaj gibi sektörlerde tüketimindeki sürekli artışının kullanıcıların metal seçiminde belirli kriterlere önem vermeleri ve bu özellikleri alüminyumun karışılmasından kaynaklanmaktadır. Söz konusu alüminyum alaşımlarının bazı avantajları şunlardır; hafif olması, termal iletkenliğinin iyi olması, elektrik iletkenliğinin iyi olması, talaşlı imalata uygun olması, korozyon direncinin yüksek olması, alaşımlarının çelikleli, yarı mamul çelikleli, geri dönüşümünün kolay olması şeklinde sıralanabilir [9].

Alüminyum alaşımları II. Dünya Savaşı'ndan itibaren hem sivil hem de askeri uçakların üretiminde kullanımı sürekli artış göstermektedir. Geçen süreç içerisinde, özelliklerinde ve en önemlisi kullanım alanlarını sınırlayan nedenlerin tespit edilmesi ile alüminyumun üretim endüstrisinde büyük gelişmeler sağlanmıştır. Alüminyum ve alaşımları hemen hemen tüm uçak ve uzay araçlarında kullanıldıklarından, bu gelişmeler belki de alüminyum endüstrisinden daha çok uçak üreticileri için faydalı olmuştur. Bu amaçlarla geliştirilen AA7075 alüminyum alaşımı haddelenebilmekte ve dövme yöntemiyle üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Uzun yıllar yapılan ar-ge çalışmaları neticesinde kazandıkları üstün mekanik özellikler sayesinde kullanımı artan AA7075 alüminyum alaşımı otomotiv sektöründe, uçak sanayinde, savunma sanayisinde geniş kullanım alanı bulmaktadır. Kullanımındaki sürekli artışın nedeni ise diğeryapı elemanlarına göre daha hafif olmasıdır [7,8].

Alüminyum alaşımları yaygın olarak dövme imalat prosesi ile üretilmektedir fakat ergime sıcaklığı düşük olduğundan dökümle şekillendirilmesi de kolaydır. Ancak dökümle

üretiminde olu an kusurlar malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun yanı sıra alüminyum alaımları çözeltiye alma ve ya landırma sertle mesi i lemleri ile çeli e yakın mekanik özelliklerde vermektedir. Çözeltiye alma ve ya landırma sertle tirmesi yöntemlerinin uygulanmasında sonra elde edilen yüksek mukavemet/a ırlık oranı sayesinde uçak ve uzay araçlarının geli tirilmesine imkân sa lamı tır [6].

Tablo 1'de saf alüminyuma ait bazı özellikler verilmi tir. Burada görüldü ü gibi alüminyumun saf halde çekme dayanımı 90 MPa de erindedir ve bu dü ük çekme dayanımı kullanımını kısıtlamaktadır. Ancak ala ım elementlerinin ilavesi ve ısıl i lemler ile çekme dayanımı 600 MPa de erine ula maktadır ve mekanik özellikleri geli tirilmektedir [6,7,9]. Alüminyumun hafif olması ve yüksek korozyon direncine sahip olması sebebiyle sanayide kullanım alanı geni lemi tir fakat bu geli imi hızlandıran etken ala ım elementlerinin ilavesi ile mekanik özelliklerinin artması sayesinde mümkün olmu tur. Alüminyumun dayanımının ala ımlama, çözeltiye alma ve ya landırma i lemleriyle artırılabilce i anla ıldıktan sonra alüminyum ala ımlarının kullanımı ve geli imi hız kazanmı tır [7].

Tablo 1. Alüminyumun özellikleri [6].

Atom Numarası	13
Atom A ırlı ı	26.97 g/mol
Kristal Yapısı	Yüzey Merkezli Kübik
Yo unlu u	2.7 g/cm ³
Ergime Noktası	660 °C
Yeniden Kristalle me Sıcaklı ı	150-300 °C
Buharla ma Noktası	2450 °C
Özgül Isı	0.224 cal/g
Elastisite Modülü	72x10 ³ N/mm ²
Kayma Modülü	27x10 ³ N/mm ²
Çekme Mukavemeti	40-90 MPa
Akma Mukavemeti	10-30 MPa
Kopma Uzaması	% 30-40

Tablo 1’de verilen alüminyumun saf halde ki mukavemeti bazı uygulamalar için yeterli olmadığından bakır, çinko, magnezyum gibi alaım elementlerinin ilavesiyle mukavemeti artırılmaktadır. Fakat bu alaım elementlerinin ilavesiyle alaımın mukavemetinin artırılması olumlu yönde özellik katarken, bazı kaplamalarda renklendirme özelliği olumsuz yönde etkilemektedir [6,12].

Alüminyum ve alaımlarının havayla temas ettiklerinde yüzeyinde yaklaşık olarak $0.25-1 \times 10^{-2}$ μm kalınlığında hızlıca oluşan koruyucu oksit tabakası sayesinde atmosferik korozyona karşı direnç gösterebilmektedirler [7,9].

Çinko esaslı alüminyum alaımlarının aşınmaya karşı gösterdiği direnç oldukça yüksektir fakat korozyon alüminyum alaımının özelliklerine ve çevresel faktörlere bağlı olarak çeşitli yollarla dayanımı düşürmektedir (galvanik, oyuklanma, stres korozyon kırılmaları, tribokorozyon). AA7075 (Al-Zn-Cu-Mg) alüminyum alaımları da yüksek dayanıma sahip olmalarına rağmen korozif ortamlarda yüksek dayanım özelliklerini yitirmektedirler [7,10]. Endüstride kullanım alanlarına bağlı olarak korozif etkiye maruz kalan alüminyum alaımlarının korozyon direnci ve doğal olarak oluşan oksit tabakasının aşınmaya karşı yeterli koruyuculuğunun olmaması sebebiyle aşınma dayanımının ve korozyon direncinin artırılması için çeşitli yüzey kaplama teknikleri geliştirilmiştir.

1.3. Alaım Elementleri ve Etkileri

Alüminyumun başlıca alaım elementleri çinko, magnezyum, bakır, mangan ve silisyumdur. Alüminyum ana alaım elementleri ile alaım yapabilir ve bu alaımlarda metaller arasında oluşan katı çökeltiler alaımların mekanik ve fiziksel özelliklerini artırmaktadırlar. Alüminyum ana alaım elementleri yüksek sıcaklıklarda yüksek katı çözünürlüğü, oda sıcaklığında da düşük katı çözünürlüğü göstermektedir. Yüksek katı çözünürlüğü ve düşük katı çözünürlüğü arasındaki farklar sebebiyle bu yönde yüksek çözünürlük farkı gösteren elementlerin bulunduğu alaımlar çökelme sertleşme uygulamasına tabi tutulmaktadır. Bu sebeple bu alaımların mekanik özellikleri yaşılandırma sertleşmesiyle artı göstermektedir. Ek olarak uygulanan yaşılandırma sertleşmesi alaımların işlenebilmesini ve korozyon direncini artırmaktadır [4]. Tablo 2’de alüminyum alaımlarının gruplandırılması ve gruplandırmasında önem taşıyan alaım elementleri verilmiştir.

Tablo 2. Alüminyum ala ım elementlerine göre sınıflandırılması [5].

Simge	Ana Ala ım Elementi
1xxx	% 99 ve üzeri Al
2xxx	Cu
3xxx	Mn
4xxx	Si
5xxx	Mg
6xxx	Mg ve Si
7xxx	Zn, Cu ve Mg
8xxx	Li
9xxx	Kullanılmayan dizi

-) Çinkonun etkisi: Alüminyum ve çinko ala ımları uzun yıllardan beri bilinmektedir, fakat dökümde sıcak yırtılmaya sebep olmaktadır ve dövme ala ımlarda gerilimli korozyon duyarlılı ını dü ürmektedir. Alüminyum-çinko ala ımlarına di er ala ım elementlerinin ilavesi ile yüksek mukavemetli dövme ala ımları elde edilebilmektedir. Alüminyumun içinde çinko bulunması çözünme potansiyelini artırmaktadır. Bu sebeple anot olarak kullanımı ve koruyucu kaplama olarak kullanılabilir.
-) Bakırın etkisi: Bakır alüminyum ala ımı üretiminde oldukça önemli bir elementidir. Hem dövme hem de döküm alüminyum ala ımlarında kullanılan bakırın ala ıma ilavesi uygulanan ya landırma i lemleri sonucunda sertlik ve mukavemette artışa lamaktadır fakat birim uzama azalmaktadır.
-) Magnezyumun etkisi: 5xxx serisi ala ımlarının ana ala ım elementi olan magnezyum dövme ala ımlarda en yüksek %5,5 oranında kullanılmaktadır. Tane sınırlarında çatlak olumuna sebep olacak çökeltme davranı ı sergilemektedir. Bunun neticesinde tane sınırlarında çatlak olumuna ve stres/ korozyonuna sebep olmaktadır. Alüminyum ala ımlarına ilavesiyle mukavemeti artırırken döküm kabiliyetini dü ürmektedir. Korozyon dayanımını ve kaynak edilebilme özelli ini iyile tirmektedir [5].

1.3.1. Alüminyum Ala ımlarının Gruplandırılması

Alüminyum ala ımları uygulanan imalat yöntemine göre dövme ve döküm olarak sınıflandırılmaktadır. Her sınıf için ana farklılık birincil özellik geli mi olarak öne çıkmaktadır ve farklı mikroyapı ve karakterizasyona sahiptirler. Birçok ala ım faz çözünürlüklerine ba lı olarak ısıtılma işlemi uygulanabilmektedir, bu işlemler çözeltiye alma, çökeltme sertleştirme veya ya landırma sertleştirme mesidir. Dövme ve döküm ala ımlar içinde bu işlemlere uygun olan ala ımlar ısıtılma işlemi uygulanabilir olarak nitelendirilmektedir. Çok sayıda dövme alüminyum ala ımı plastik deformasyon sertleştirme yerine uygulanan ısıtılma işlemleriyle sertleştirilip kullanılmaktadır. Bazı döküm ala ımları da ısıtılma işlemi uygun olmadığından döküm ile elde edilen mekanik özellikler ile kullanılmaktadır [5].

1.3.1.1. Dövme Alüminyum Ala ımları

Dövme alüminyum ala ımları uygulamada çok geni bir yer tutmaktadır. Bu ala ımlara daha yüksek fiziksel özellikler elde edilmesi amacıyla haddeleme, ekstrüzyon, dövme gibi mekanik işlemler uygulanır. Uygulanan bu mekanik işlemlerle tane yapısını inceltir ve ala ımın daha homojen olması sağlanır. Dövme işlemi malzemenin döküm sonrası mikroyapısını bozarak, malzeme mekanik özelliklerini iyileştirir. Dövme ala ımların üretiminin akı sıra; işlenmemiş parça veya ingotun dökümü, sıcak veya çözümlü soğutulma, ekil verme ve ısıtılma işlemlerindedir [7]. Dövme alüminyum ala ımlarının sınıflandırılması dört haneli rakam sistemi kullanılarak yapılmaktadır. Dövme alüminyum ala ımları ana ala ım elementine göre 8 gruba ayrılmıştır ve dört haneli rakam içermektedirler. Örneğin; Xxxx olarak endüstride bilinen ve kabul gören 1000 serisi, 2000 serisi vb. işlemlerde gösterilmektedir [13,14]. Dövme alüminyum ala ımlarının bir bölümü ısıtılma işlemi uygundur ve ya landırılabilirler. Bu sayede nihai üründen beklenen mekanik özelliklerde artış sağlanabilmektedir [13,14]. Dövme alüminyum ala ım grubunda 1xxx, 3xxx, 4xxx ve 5xxx serileri ısıtılma işlemi uygulanamayan serilerdir ve bu seriler sadece plastik deformasyonla sertleştirilmektedirler. 2xxx, 6xxx ve 7xxx serileri ise ısıtılma işlemi için uygun olan ala ımlardır [7].

Dövme alüminyum ala ımlarının sınıflandırılması ve ısıtılma işlemi uygunlukları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Dövme alüminyum alaımlarının sınıflandırılması [14].

Sınıflandırma	Alaım Elementi	Isıl İleme Uygunluk
1xxx	Ticari saflıkta Al (>%99 Al)	Ya landırılmaz
2xxx	Al-Cu ve Al-Cu-Li	Ya landırılabilir
3xxx	Al – Mn	Ya landırılmaz
4xxx	Al-Si	Ya landırılmaz
5xxx	Al-Mg	Ya landırılmaz
6xxx	Al-Mg-Si	Ya landırılabilir
7xxx	Al-Mg-Zn	Ya landırılabilir
8xxx	Al-Li, Sn, Zr veya B	Ya landırılabilir

1.3.1.2. Döküm Alüminyum Alaımları

Döküm alüminyum alaımların üretim yöntemleri genellikle kum kalıba döküm, pres döküm, sabit kalıba döküm eklindedir ve bu alaımlar i lemeye uygun, kaynak edilebilir ve fiziksel özellikleri oldukça yüksektir. Tablo 4’de döküm alaımlarının sınıflandırılması ve ana alaım elementleri verilmiştir [7,13].

Tablo 4. Döküm alüminyum alaımlarının sınıflandırılması [13].

Sınıflandırma	Temel Alaım Elementi
1xx.x	Alaımlandırılmamı Alüminyum (% 99,0 veya daha yüksek safiyet)
2xx.x	Bakır
3xx.x	Silis ile Magnezyum ve/veya Bakır
4xx.x	Silisyum
5xx.x	Magnezyum
6xx.x	Kullanılmayan seri
7xx.x	Çinko
8xx.x	Kalay
9xx.x	Diğer elementler

Döküm alaımlarının sınıflandırılması ana alaım elementine baılı olarak yapılmaktadır. Döküm yönteminde sınıflandırma kullanılan sistem, 3 tane rakam ve virgülden sonra 1 tane daha rakam kullanılarak yapılmaktadır. Isıl i lem genellikle dövme alüminyum alaımlarına uygulanmaktadır fakat döküm alüminyum alaımlarının bir kısmı da ısıl i leme tabi tutulabilmektedir. Döküm alüminyum alaımlarında 1xx.x, 3xx.x, ve 5xx.x serileri ya landırılamaz, 2xx.x, 4xx.x, 7xx.x ve 8xx.x serileri ise ya landırılabilir [13,14].

1.4. Alüminyum Alaımlarının Isıl i lemi

Isıl i lemler, alüminyum alaımlarının sertlik ve mukavemetinin artırılması deformasyon ya da genel olarak çökeltme i lemi ile sa lanmaktadır. 7xxx serisi alüminyum alaımlarını çözeltilmeye alma i lemi, su verme i lemi ve ya landırma i lemlerinden sonra çökeltme sonucunda sertlik ve dayanımları artmaktadır [16]. 7075 serisi alüminyum alaımı 480°C’de 2 saat çözeltilmeye alma, belirli süre su verme i lemlerinin ardından 120°C’de 24 saat bekletildi inde T6 ısıl i lemi gerçekleştirilir ve bu ısıl i lem ile yüksek sertlik ve mukavemet elde edilir, fakat korozyon direncini bir miktar düürmektedir. Bu sebeple korozyon direncinin artırılması amacıyla T73 ısıl i lemi geliştirilmiştir. Bu yöntem sonucunda da alaımın mukavemeti T6 ısıl i lemine göre %15 oranında azalmaktadır. Birçok mühendislik uygulamasında, kullanılacak malzemeden hem dayanım hem de korozyon direncinin yüksek olma beklentisi açısından do an ihtiyaç nedeniyle yapılan ara tırmalar sonucunda yeniden çözeltilmeye alma ve yeniden ya landırma (RRA yöntemi) yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem ile T6 ısıl i lemi uygulanmış numunelere nispeten daha düşük sıcaklıklarda tekrar çözeltilmeye alınıp ardından tekrar ya landırılmaktadır [17]. Fakat bu yöntem uygulama süresi açısından daha uzun sürmekte ve maliyetleri de artırmaktadır. Alüminyum alaımlarına uygulanan ısıl i lemler arasında farklılıklar bulunmaktadır. Çözeltilmeye alma ve su verme i lemlerinden sonra alaımın sertleşmesi do al ya lanma veya suni ya lanma ile sa lanmaktadır. Do al ya lanma oda sıcaklığında sa lanırken, suni ya lanma için belirli sıcaklıklarda belirli süre bekletilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Bazı alaımların oda sıcaklığında birkaç gün kalması kullanılacak uygulamaya göre yeterli dayanım sa layabilmektedir [15]. Tablo 5’de alüminyum alaımları için kullanılan bazı ısıl i lem kodları ve açıklamaları verilmiştir.

Tablo 5. Alüminyum alaşımlarının bazı ısıl işlem kodları [18].

Temper	Açıklama
F	mal edildiği gibi (hiçbir mekanik özellik sınırı belirtilmemi)
O	Sıcak ekilendirmeden sonra gerekli tavlama özelliklerine ulaşan mamüller O temper olarak gösterilir
H111	Germe veya do rultma gibi daha sonraki işlemler sırasında tavlama ve hafifçe gerinme sertle mesine (H11'den az) u ramı .
H112	Yüksek sıcaklıkta çalış maktan veya az miktarda germe ve do rultma gibi so uk ekilendirme işlemlerinden (mekanik özellik sınırları belirtilmi tir) hafifçe gerinme sertle mesine u ramı .
T3	Katı çözültü ısıl işlemleri görmü , so uk ekilendirme sertle mesine u ramı ve do al ya landırılmış .
T3510	Katı çözültü ısıl işlemleri görmü , kontrollü miktarda germeyle gerilme giderme uygulanmış (kalıcı deformasyon % 1 - % 3) ve do al ya landırılmış . Mamule, germeden sonra daha fazla do rultma uygulanmaz.
T3511	Standart toleranslara uyması için germe işleminden sonra hafif do rultmaya izin verilmesi dışında T3510'la aynı.
T4	Katı çözültü ısıl işlemleri görmü ve do al ya landırılmış .
T4510	Katı çözültü ısıl işlemleri görmü , kontrollü miktarda germeyle gerilme giderme uygulanmış (kalıcı deformasyon % 1 - % 3) ve do al ya landırılmış . Mamule, germeden sonra daha fazla do rultma uygulanmaz.
T4511	Standart toleranslara uyması için germe işleminden sonra hafif do rultmaya izin verilmesi dışında T4510'la aynı.
T5	Yüksek sıcaklıktaki bir ekilendirme işleminden so utulmuş , sonra yapay ya landırılmış .
T6	Katı çözültü ısıl işlemleri görmü ve yapay ya landırılmış .
T64	Katı çözültü ısıl işlemleri görmü ve sonra da ekilendirilebilme özelliğini iyile tirmek için eksik ya landırma artlarında (T6 ile T61 arasında) yapay ya landırılmış .
T6510	Katı çözültü ısıl işlemleri görmü , kontrollü miktarda germeyle gerilme giderme uygulanmış (kalıcı deformasyon % 1 - % 3) ve yapay ya landırılmış . Mamule, germeden sonra daha fazla do rultma uygulanmaz.
T6511	Standart toleranslara uyması için germe işleminden sonra hafif do rultmaya izin verilmesi dışında T6510'la aynı.
T66	Katı çözültü ısıl işlemleri görmü ve yapay ya landırılmış – Mekanik özellik seviyesine özel proses kontrolüyle ula ılan T6'dan daha yüksek (6000 serisi ala ımlar).
T7	Katı çözültü ısıl işlemleri görmü ve yapay a ırı ya landırılmış .
T73	Katı çözültü ısıl işlemleri görmü ve gerilmeli korozyon dayanımını azami de ere ula tırmak için yapay a ırı ya landırılmış .
T73510	Katı çözültü ısıl işlemleri görmü , kontrollü miktarda germeyle gerilme giderme uygulanmış (kalıcı deformasyon % 1 - % 3) ve gerilmeli korozyon dayanımını azami de ere ula tırmak için yapay a ırı ya landırılmış . Mamule, germeden sonra daha fazla do rultma uygulanmaz.
T73511	Standart toleranslara uyması için germe işleminden sonra hafif do rultmaya izin verilmesi dışında T73510'la aynı.
T8	Katı çözültü ısıl işlemleri görmü , so uk ekilendirilmiş ve yapay ya landırılmış .
T8510	Katı çözültü ısıl işlemleri görmü , kontrollü miktarda germeyle gerilme giderme uygulanmış (kalıcı deformasyon % 1 - % 3) ve yapay ya landırılmış . Mamule, germeden sonra daha fazla do rultma uygulanmaz.

Ya landırma ısıl işlemleri matris içinde da ılan bu çökelti dislokasyonların hareketlerinin engelleyerek ala ımların dayanımlarını artırmaktadırlar. Bu işlemler üç a amada gerçekleştirilmektedir;

- 1) Çözeltiye alma
- 2) Su verme
- 3) Ya landırma ve çökeltme sertle mesi [16].

1.4.1. Çözeltiye Alma

Çökeltme sertle mesinin sa layaca ı avantajlar ilk olarak katı çözelti olu turma i lemiyle ba lamaktadır. Çözeltiye alma i lemi Mg, Cu, Zn, ve Si gibi sertle meyi sa layan ala ım elementlerinin katı çözültideki maksimum miktara ula masının sa lanmasıdır. Yeterince homojen katı çözelti elde edebilmek için uygun yüksek sıcaklıklara yeterince uzun sürelerde ısıtılması ile sa lanabilmektedir.

Sıcaklık artı ıyla beraber difüzyon hızı artmakta ve aynı oranda çözünme hızı da artmaktadır fakat en fazla çözünmenin olu aca ı sıcaklık ergime sıcaklı ına çok yakın oldu undan uygulanacak sıcaklıklar için belirli bir aralık tayin edilmi tir. Bu sebeple bu belirlenen uygulama alanlarının dı ına çıkıldı ında ergime söz konusu olacaktır. Ticari ala ımların çözeltiye alma sıcaklık aralıkları, maksimum çözünmeyi elde edebilmek için, ötektik sıcaklı ının 10-15°C derece altında uygulanmaktadır. Bu sıcaklı ın ötektik sıcaklı a eri mesini önlemek için fırın sıcaklı ının hassas ekilde kontrol edilmesi önemlidir. Bazı ala ımlar için kontrol sıcaklık aralı ı nominal de erin $\pm 6^{\circ}\text{C}$ civarı olup bazı ala ımlar için müsaade edilirken bu aralık daha kısıtlıdır.

Çözeltiye alma i lemi için gerekli olan bekletme süresi ala ım türüne, kesit kalınlı ına, istenilen mikro yapıya göre farklılık göstermektedir. Bu süre bazı saclar için bir dakikadan daha az bazı döküm ala ımlar için 20 saatten fazla olabilmektedir. Dövme ala ımlarda 25 mm'lik kesit kalınlı ı için 1 saat ısıtma gereklidir. AA7075 alüminyum ala ımında en yüksek mekanik özelliklerin elde edildi i sıcaklık 480°C olarak belirlenmi tir. Uygulanacak süre ise malzemenin kalınlı ına göre belirlenmektedir [7,15].

1.4.2. Su Verme

Su verme i lemi birçok açıdan ısıl i lemin en kritik adımıdır. Çökeltme sertle mesinde de en kritik adım su verme i lemidir. Su vermenin amacı çözeltiye alma i lemi sırasında olu an katı çözeltiyi genellikle oda sıcaklı ına yakın bir sıcaklı a aniden so utmak ve katı çözültinin yapısını korumaktır. Su verme i lemi sadece katı çözeltiyi korumakla kalmaz

diğer önemli nokta olan atom boşluklarının bir sonraki adım olan yalandırma işlemi için gerekli olan minimum boşluğun korunmasını sağlamaktır. Bahsedilen boşluklar düşük sıcaklıklarda difüzyonun gerçekleşmesini sağlamaktadırlar. Genellikle soğuk suya daldırma ile yapılan bu uygulama bazı uygulamalarda yüzeye su püskürtülmesi ile de gerçekleştirilmektedir [7,15].

Çökeltme sertleşme işleminde optimum sonuçları elde edebilmek için oda sıcaklığına yeterince yüksek hızlarda soğutmak gereklidir, bu hızlı soğutma işlemi mekanik özellikler ve korozyon direncinde artırmaktadır. Fakat her alaım için hızlı soğutma uygun değildir, bakır içermeyen Al-Zn-Mg alaımlarının stres korozyon çatlama karşı direnci yavaş soğutma ile artmaktadır [15].

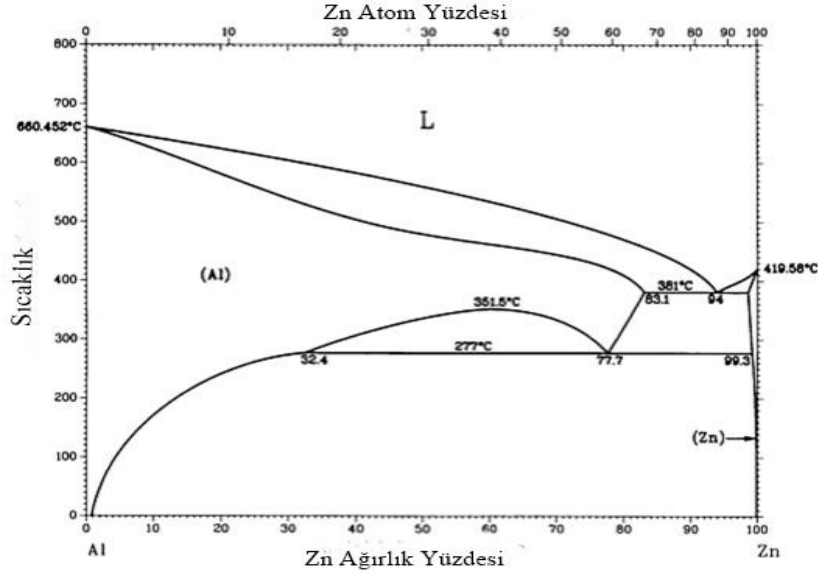
1.4.3. Yalandırma

Çözeltiye alma ve su verme işlemlerinden sonraki adım yalandırma işlemidir, bu işlem çökeltme sertleşmesinin son adımıdır. Su verilmiş alaım oda sıcaklığında bekletilirse doğal yalandırma, daha yüksek sıcaklıkta bekletilirse suni yalandırma adını almaktadır. Tek fazlı yapı içerisinde ikinci fazın çökmesiyle sertlik ve mukavemette artış sağlanmaktadır. Her alaım için optimum dayanım özelliklerinin elde edilmesi için farklı yalandırma süre ve sıcaklıkları uygulanmaktadır.

2xxx serisi alaımlar oda sıcaklığında doğal yaılanmaya bırakıldıklarında birkaç gün içinde ulaşımları kararlı durum, 6xxx ve 7xxx serisi alaımlarda çok uzun yıllarda gerçekleştirilmektedir. Çökeltmenin çok düşük hızlarla seyrettiği ve istenilen sertlik ve mekanik özelliklerin elde edilemediği bu tür alaımlarda istenilen kararlı duruma ulaşmak için suni yalandırma işlemiyle daha kısa sürelerde ulaşmak mümkündür.

Uygulanan suni yalandırma işlemi su verme işleminin ardından alaımın 115-190°C sıcaklıklarda, 5-48 saat süren zaman aralığında bekletilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Bu işlem AA7075 alaımları için genellikle 120°C sıcaklıkta 24 saat bekletilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Ek olarak suni yalandırma işlemiyle alaımlar yüksek dayanım özelliklerini elde etmektedirler [15].

Yalandırma işleminin amacı sertlik ve dayanımda istenilen değerler elde edilinceye kadar alaımların çözeltiye alma işlemine göre nispeten düşük sıcaklıklarda belirli süre bekletilmesidir. Hızlı ve dayanıklı olan çöktürmelerin oluşumu çökeltme sertleşmesini sağlamaktadır [19]. Örnek olarak Al-Zn faz diyagramı ekil 4'de verilmiştir.



ekil 4. Al-Zn faz diyagramı [22].

1.5. 7075 Alüminyum Ala ımları

Yüksek mukavemet ve hafiflik özellikleri sebebiyle ula ım sektöründe artan yakıt tüketimi ve bununla birlikte olu an küresel ısınma sorunu 7075 ala ımının kullanımı cazip hale getirmi tir. 7075 alüminyum ala ımları genel olarak dövme yöntemiyle üretilmektedir ve bu i lem ile yüksek mukavemet de erleri elde edilmektedir. Döküm ile üretim yöntemine göre dövme i leminin maliyeti daha yüksek olmasına ra men döküm i leminden kaynaklanan iç döküm kusurları, gözenekler ve büzülme bo lukları dayanımı dü ürme ve döküm yönteminin dezavantajları olarak sıralanmaktadır [6].

7075 (Al-Zn-Mg-Cu) alüminyum ala ımları genel olarak 510-530 MPa çekme dayanımına ve istenilen mekanik özelliklere sahip olduklarından dolayı uçak endüstrisinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu mekanik özelliklerin geli tirilmesi için yapılan çalı malarda 730 MPa üzerinde dayanım de erleri de elde edilmi tir. 7075 alüminyum ala ımının üretim proseslerinin geli tirilmesi ile birlikte korozyon direnci de yükselmektedir. Yapılan ara tırmalar sonucu 7075 ala ımlarında T6 ısıl i lemiyle yüksek mukavemet sa lanırken, T73, T74 veya T76 ısıl i lemlerinde korozyon direncinin artırılması adına mukavemet de erlerinde %10-15 dü ü görülmektedir. Bu korozyon ve mukavemet arasında ki çeli kiyi gidermek için Cina tarafından üç basamaklı RRA (yeniden çözeltilme ve yeniden ya landırma) ısıl i lem yöntemi geli tirilmi tir [23]. Ticari 7075 ala ımının kimyasal bile imi Tablo 6'da verilmi tir.

Tablo 6. Ticari 7075 alüminyum alaımının kimyasal bileimi [7].

Alaım Elementi	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Al
% A	5,1-6,1	2,1-2,9	1,2-2,0	Max 0,5	Max 0,4	Max 0,3	0,18-0,28	Max 0,2	Kalan

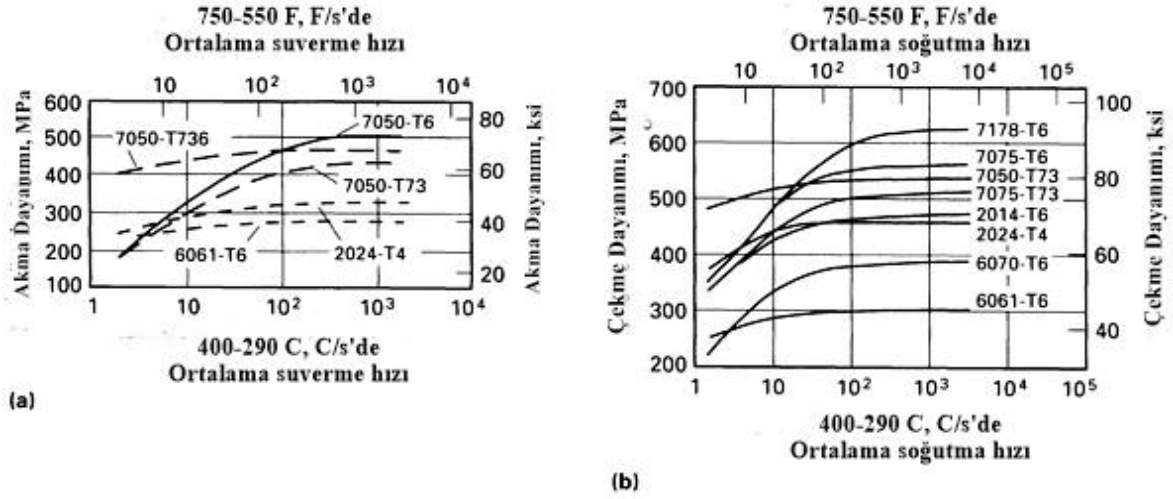
7075 alüminyum alaımının fiziksel özellikleri di er alüminyum alaımları ile kıyaslandı nda daha iyi oldu u görölmektedir. 7075 alüminyum alaımının bazı fiziksel özellikleri Tablo 7’de verilmi tir [7].

Tablo 7. 7075 alüminyum alaımının bazı fiziksel özellikleri [7].

Özgöl A ırlık	2,81 g/cm ³
Elastik Modülü	7300 kg/mm ²
Rijitlik Modülü	2750 kg/mm ²
Ergitme Aralı ı	477 - 635°C
Özgöl Isı (0 - 100°C arasında)	0,23 cal/g°C
Lineer Genleme Katsayısı (20-100°C, T6 için)	24-10-6 mm°C
Özgöl elektrik Direnci (20°C, T6 için)	0,058 Ohm.mm ² /m

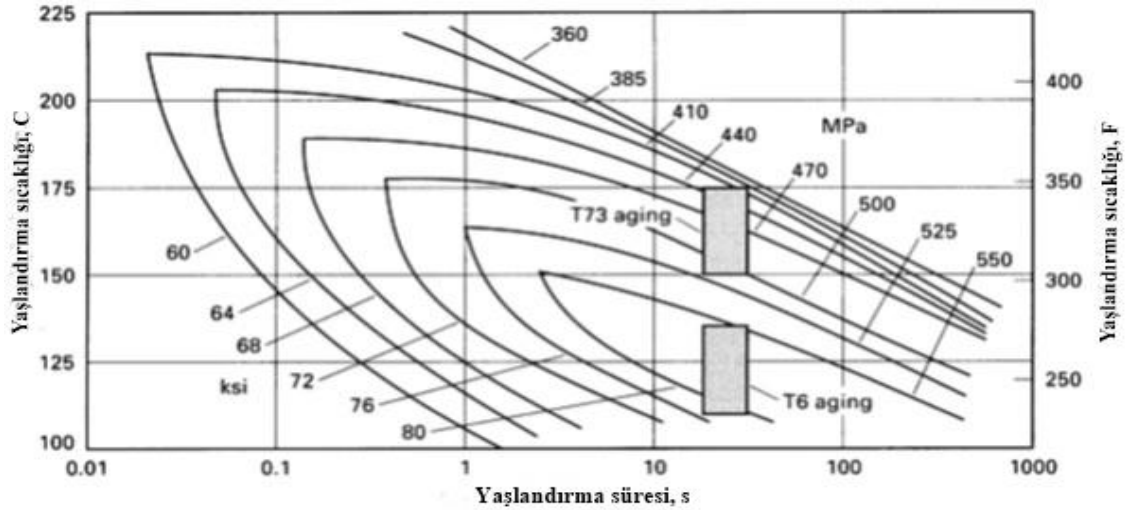
1.5.1. 7075 Alaımının T6 Isıl İlemi

T6 ısıl ilemi çözeltiliye alma ve su verme i lemlerinin ardından alaımın suni olarak ya landırılması i leminden olu maktadır. T6 ısıl ilemi alaımların di er yararlı özelliklerini çok fazla etkilemeden mühendislik uygulamalarında genellikle en yüksek mukavemet de erini vermektedir. 7075 alüminyum alaımları için en yüksek mukavemet de erini sağlayan T6 ısıl ilemi 480°C’ de 1-2 saat çözeltiliye alma ardından oda sıcaklı ına so utma ve 120°C’de 24 saat bekletilmesiyle gerçekleştirilmektedir [15]. Bu i lemler sonucunda sertlik de eri 183 HV olarak ölçölmü tür [17]. Isıl i lem uygulanmamı 7075 alüminyum alaımının akma dayanımı 105 MPa, çekme mukavemeti 225 MPa ve 60 HB sertli inde iken, T6 ısıl ilemi uygulanmı 7075 alaımının akma mukavemeti 505 MPa, çekme mukavemeti 570 MPa ve 160 HB sertli ine ula ılmaktadır [25]. ekil 5’de dövme 7075 alüminyum alaımlarının T6 ısıl i leminden sonra akma ve çekme dayanımları verilmi tir.



ekil 5. Çe itli dövme alüminyum ala ımlarının su verme duyarlılıkları ve ortalama su verme oranları, a) ya landırma sonrası akma mukavemeti, b) ya landırma i lemi sonrası çekme mukavemetleri [15].

ekil 5'de 7075 alüminyum ala ımına uygulanan T6 ısıl i leminin ala ımın mukavemet de erini önemli ölçüde arttı ı görülmektedir. ekil 6'da ise 7075 ala ımına uygulanan ya landırma i leminde i lem parametrelerinin (sıcaklık ve süre) ala ımın akma dayanımına etkilerini gösteren e riler verilmi tir [15].



ekil 6. 7075 ala ımının ya landırma i lemi mukavemet e rileri [15]

ekil 6'da görüldü ü gibi T6 ısıl i lemi ile ala ımın mukavemeti di er ısıl i lem yöntemine göre daha yüksektir [15]. Yapılan bir çalı mada 3mm kalınlı ındaki AA7075 alüminyum ala ımı levha farklı çözeltiye alma sıcaklıklarına maruz bırakılarak, hava ve su

ortamlarında soğutulmuş ve suni yalandırma yöntemiyle yalandırılmıştır. Bu çalışmada sonucunda en iyi sonuçları veren değer olarak 480°C’de 1 saat çözeltiye alma, suda soğutma ve 120°C’de 24 saat yalandırma işlemleri olarak tespit edilmiştir [18].

Tablo 8. 7075 alüminyum alaımının tipik T6 yapay yalandırma ısıl işlemleri

Isıl işlem	Çözeltiye Alma Sıcaklığı	Çözeltiye Alma Süresi	Yalandırma Sıcaklığı	Yalandırma Süresi
T6	480°C	1-2 saat	120°C	24 saat

Tablo 8’den de görülebileceği gibi 7075 alüminyum alaımının T6 ısıl işlemi için optimum değerler 480°C’de çözeltiye alma ve 120°C’de 24 saat yapay yalandırma işlemidir. 7075 alüminyum alaımı silah üretiminde, korozyon dayanımı, aşınma direnci ve mekanik ve kimyasal özellikleri sebebiyle tercih edilmektedir. Düşük yoğunluğa sahip olması nedeniyle silahın hafif olması, uygulanan T6 yalandırma ısıl işlemiyle istenilen mukavemet değerlerinin elde edilmesi ve kaplanabilir malzeme olduğundan pazara yönelik kaplamaların yanı sıra aşınma dayanımı ve korozyon direncini artıran kaplamaların uygulanabilirliği, 7075 alüminyum alaımını silah üretiminde yaygın olarak kullanılan malzemelerin ilk sıralarına çıkarmıştır.

1.6. Alüminyuma Uygulanan Kaplamalar

Endüstriyel uygulamalarda yüzey etkilerine dirençli ürün üretebilmek için en yaygın olarak yüzey kaplama işlemleri uygulanmaktadır. Alüminyum ve alaımları da her sektörde geniş kullanım alanı bulduğundan ve ticari uygulamalardaki gereksinimlerden dolayı çeşitli yüzey kaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Alüminyumun kaplanmasındaki ana nedenler; korozyon direncini, aşınmaya karşı mukavemetini artırmak ve dekoratif amaçla daha iyi bir görünüm elde etmek içindir. Bu amaçla anodik oksidasyon, krom, nikel, plazma sprey, kateforez kaplama ve elektrostatik boya yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler içerisinde anodik oksidasyon yöntemi, alüminyumun oksitlenmesi özelliğinden faydalanarak, alüminyum alaımı yüzeyinde Al₂O₃ tabakası oluşturulması işlemidir. Bu yöntemle alüminyum alaımı yüzeyinde istenilen korozyon direnci ve yüksek yüzey sertliği elde edilerek aşınma dayanımı artırılmaktadır.

1.6.1 Anodik Oksidasyonun Tanımı

Alüminyumun oksijene karşı büyük bir ilgisi olduğu için yüzeyine herhangi bir işlem yapılmadan doğal ince bir amorf oksit tabakası oluşur. Alüminyumun yüzeyinde oluşan bu doğal oksit tabakası doğal ortamlarda korozyona karşı bir miktar dayanım sağlamak ve yüzey sertliğini bir miktar artırmaktadır. Fakat oluşan bu tabakanın endüstriyel uygulamalarda yetersiz kalması nedeniyle etkin bir önem taşımamaktadır. Bu nedenle alüminyum ve alaşımları bu oksit tabakasının daha yüksek korozyon ve dayanım sağlayabilmesi için birçok farklı yüzey kaplama işlemine tabi tutulmaktadır. Alüminyumun genellikle sülfürik asit çözeltisinde anodik olarak elektroliz yöntemiyle yüzeyinde homojen ve eşit kalınlıkta Al_2O_3 tabakası elde edilmesi işlemine 'Anodik Oksidasyon' veya 'Anodizasyon' denilmektedir. Uygulamada kullanılan diğer bir ifadesi anodik oksidasyonun Almanca ifadesinin baş harflerinden türetilmiş olan 'Eloksal'dır. Anodik oksidasyon işlemi, alüminyum için özel bir yüzey kaplama işlemidir. Malzemenin yüzeyinde yapay olarak oluşturulan oksit tabakası elektrokimyasal bir süreçtir ve belirlenen uygun şartlarda istenilen kaplama kalınlıkları ve mekanik özellikler elde edilebilmektedir [28-33].

Alüminyum yüzeyini kaplama yöntemleri ve teknolojisi gün geçtikçe ilerlemekte ve gelişmektedir. İstenilen kaplama kalınlığının elde edilmesi, alüminyumun yüzeyinin doğal olarak oksitlenmesinin bilinmesi ve bu oksit tabakasının yapay olarak artırılmasıyla yöntemiyle malzemenin korozyon ve mekanik özelliklerinde yüksek ölçüde iyileşme gösteren anodik oksidasyon yöntemi sağladığı avantajlarla ön plana çıkmaktadır.

1.6.2. Anodik Oksidasyonun Avantajları

Anodik oksidasyon işleminin sağladığı avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

a) Korozyon direnci: Malzemelerin çalışmaları altında maruz kaldıkları korozyon etkileri neticesinde korozyona uğradıklarından anodik oksidasyon işleminin ardından uygulanan tespit işlemleri ile korozyon direnci artırılmakta ve korozyon oluşumları engellenmektedir.

b) Aınma direnci: Anodik oksidasyon işlemi ile malzemelerin yüzeyinde yüksek sertlik elde edilmektedir. Elde edilen yüksek sertlikler neticesinde malzemelerin aınma direnci artmaktadır.

c) Dekoratif görünüm: Anodik oksidasyon işlemi sonrasında uygulanan renklendirme işlemi ile her endüstride istenilen renkte bitmiş yüzey kaplaması elde edilmektedir.

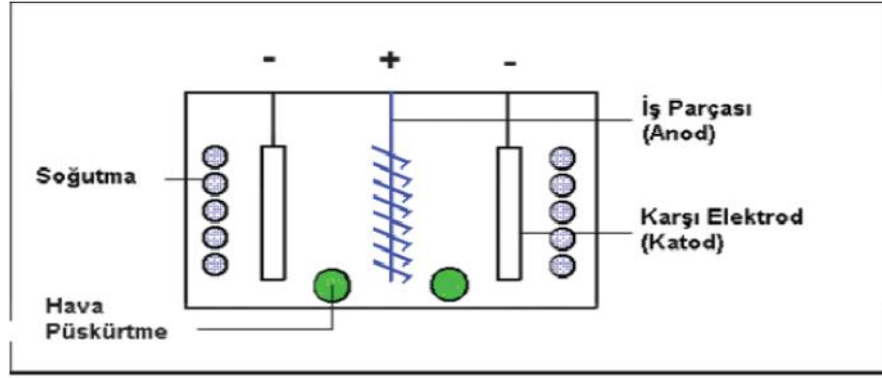
d) Yalıtkanlık: Anodik oksidasyon işlemi ile elde edilen oksit tabakasının yalıtkanlığıdır. Bu sebeple elektriksel yalıtkanlık istenilen uygulamalar için tercih edilmektedir [34,35].

1.7. Anodik Oksidasyon İşleminin Genel Özellikleri

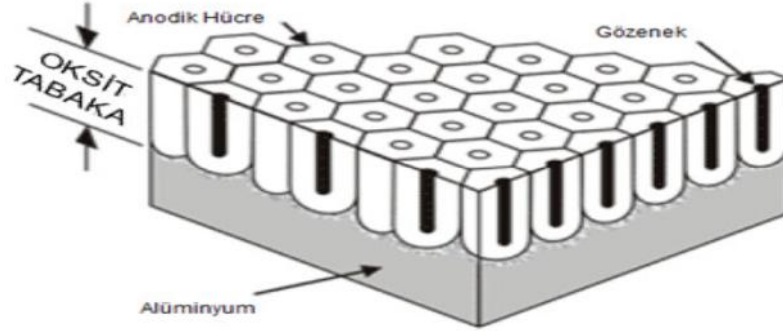
Alüminyumun anodik oksidasyonunun geçmişi 1920'lere dayanmaktadır, fakat ticari açıdan önemi ancak yirmi yıl sonra anlaşılabilir. İlk olarak yapılan anodik oksidasyon işlemi Bengough ve Stuart tarafından 1923 yılında kromik asit prosesi ile gerçekleştirilmiştir. Alüminyumun yüzeyinde oluşan doğal oksit tabakasının korozif ortamlarda yeterli miktarda dayanım sağlamadığından yüzeyinin elektrokimyasal yöntemlerle oksitlenerek koruyucu oksit tabakası geliştirmesi sağlanmıştır. Anodik oksidasyon işlemi kimyasal dönüşüm yöntemlerinden farklıdır ve yüzeyin elektroliz yöntemiyle diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek kaplama kalınlığı ile kaplanmasını sağlamaktadır. Elektroliz yöntemiyle kaplanacak malzeme anot olarak işleme tabi tutulduğundan işlemin adı anodik oksidasyon olarak türetilmiştir. Diğer yüzey kaplama yöntemleriyle karşılaştırıldığında ana malzemenin yüzeyinden metal katmanı kullanılarak bu metalin oksit tabakasına dönüşürülmesi işlemdir. Burada diğer yöntemlerden anodik oksidasyon işlemini ayırmaktadır. İlk olarak dekoratif amaçla kullanılmıştır fakat anodik oksit tabakası genellikle 5-25 µm arasındadır ve bu tabaka sadece dekoratif amaçla değil aınma ve korozyon direncinin artırılmasında da sağlamaktadır. İşlem koşullarına bağlı olarak hem ince gözeneksiz (bariyer tip) hem de daha kalın ve gözenekli (pöroz tip) oksit tabakaları elde edilebilmektedir. Genellikle uçak parçaları, otomotiv parçaları, deniz araçları, trenler, büro malzemeleri, ev eşyaları, spor malzemeleri, hafif silah ve savunma sanayisi gibi birçok endüstride korozyona karşı korumak amacıyla uygulanmaktadır. Anodik oksidasyon işlemi genellikle doğru akım (DC) gerçekleştirilmektedir. Sülfürik asit, kromik asit gibi asitler elektrolit olarak kullanılmaktadır. Oksit tabakasının renginin değişmesi amacıyla bakır, nikel, gümüş, kalay gibi elementlerin ilavesi fiziksel ve kimyasal özellikleride etkilemektedir [29,35].

Şekil 7'de görüldüğü gibi anodik oksidasyona tabi tutulacak malzeme DC güç kaynağının pozitif ucuna (anot) bağlanmaktadır. DC güç kaynağının negatif uçlarına (katot) kurulumun, paslanmaz çelik veya banyo ile etkileşim kurmayacak herhangi bir iletken malzeme

kullanılmaktadır. Elektrolit olarak kullanılan genellikle sülfürik asit çözeltisi içinden elektrik akımını geçirilir ve anottan katoda elektirik akımı ba lar ve banyo içerisinde olu an kimyasal reaksiyonlar sonucu malzemenin yüzeyinde ilk olarak ince gözeneksiz yapı (bariyer oksit tabaka) olu ur ve ardından bariyer tabaka üzerinde ise kalın ve gözenekli (poröz tabaka) olu maktadır [35]. ekil 8’de alüminyum yüzeyinde olu an gözenekli oksit yapısının ematik görünümü verilmi tir.



ekil 7. Anodik oksidasyon i leminin ematik görünümü [14].



ekil 8. Anodik oksit yapısı [14].

Anodik oksidasyon i lemi demir esaslı ala ımlar ve karbon çelikleri için pek uygun bir proses de ildir. Çünkü bu malzemeler oksitlendi inde yüzeylerinde pul pul dökülme görülmekte ve ana malzeme sürekli olarak korozyona u ramaktadır. Alüminyum ve ala ımlarına uygulandıklarında korozyon ve a nma direncini artırmaktadır. Elde edilen kaplama gözenekli yapıya sahip oldu undan boya ve yapı tırcılar daha yüksek tutunma özelli i göstermektedirler. Ek olarak kalın ve gözenekli oksit tabakasının korozyon direncini

artırmak için tespit i lemi uygulanmaktadır. Anodik oksidasyon i lemi ile elde edilen oksit tabakasının di er kaplama yöntemlerinden daha iyi yüzeye yapı ma özelli i gösterdiklerinden kaplama sonrası uygulamalarda kaplamaların kopma ve çatlama oranları çok daha dü üktür [29,31,35]

1.7.1. Anodik Oksidasyon Ekipmanları

Anodik oksidasyon i lemi için kullanılacak ekipmanlar anodik oksidasyon i lemi esnasından olu an oksit tabakanın kalitesini do rudan etkilediklerinden dolayı istenilen özelliklerde olmalıdırlar. Anodik oksidasyon i lemi için gerekli olan ekipmanlar; anodik oksidasyon tankı, katot, elektrolit, so utma ünitesi, karı tırma aparatı, güç kayna ı ve askılar ekinde sıralanmaktadır. Anodik oksidasyon i lemi için ticari olarak birçok farklı elektrolit kullanılmaktadır. Tablo 9’da en sık kullanılan elektrolit türleri ve uygulama artları verilmi tir.

Tablo 9. Elektrolit türleri ve uygulama artları [35].

Çe itli Eloksal lemleri					
Elektrolit Tipi	Konsantrasyon (g/lt)	Sıcaklık (°C)	Akım Yo unlu u (A/dm ²)	Voltaj (V)	Tabaka Kalınlı ı (µm)
Sülfürik asit	150-200	18-20	43132	12-22	5-30
Sülfürik asit	180-200	(-5)-(+5)	1,5-3	15-70	25-125
Sülfürik-Okzalik	160-180/5-10	10-20	1,2-2	12-25	5-35
Kromik	30-100	25-55	0,1-1,0	30-70	2-8
Silfosalisilik	60-70	18-25	2,0-3,0	35-75	15-35
Fosforik	120-250	20-30	1,0-2,0	30-120	1-30
Borik	40-50	70-100	1	50-5000	Max. 0,5
Tartarik	20-40	70-80	2	120-150	Max. 0,16

Kullanılan tanklar elektrolit ile reaksiyona girmeyecek malzemelerden olmalı ve i lem kapasitesini uygun seçilmelidir, kullanılan askıların iletkenli inin yüksek olması kaplama kalitesini direkt olarak etkilemekte ve ayrıca anot katot oranı en iyi sonucu verecek ekinde

ayarlanmalıdır. Düzgün bir kaplama yapısı elde edebilmek için karı tırıcının olması ve güç kayna mın i lem gereksinimlerini kar ılayacak özellikte olması gerekmektedir [31].

1.7.2. Anodik Oksidasyon i lemi

Sülfürik asitle yapılan anodik oksidasyon i lemi amatör ve profesyonel çalı malarda oldukça pratik bir yöntemdir. Birçok alüminyum ve ala ımları bu yöntemle kaplanabilmektedir fakat saf alüminyumda daha iyi kaplama sonuçları vermektedir. Birçok alüminyum ala ım bile enleri silisyum, mangan, çinko vb. elementler ön i lem veya asıl anodik oksidasyon i lem prosesini geciktirici etki göstermektedir. Birçok sac, dövme veya döküm malzemeler bu i lem ile ba arılı ekilde kaplanabilmektedirler. Anodik oksidasyon prosesi malzeme yüzeyi üzerinde alüminyumun azalarak oksit tabakasının büyümesi ekinde gerçekleşmektedir. Alüminyumun yüzeyi kimyasal olarak temizlense bile çok hızlı bir ekilde oksit tabakasıyla kaplanır, bu tabakanın kalınlı ı oksitlenme zamanına ba lıdır. Anodik oksidasyon yöntemi zamana ba lı olarak korozyona kar ı alüminyumun özelliklerini artıran yo un bir oksit tabaka elde edilir. Bu yöntem ile yüzeyde olu an porlar sayesinde alüminyum ve ala ımları renklendirilebilmektedir. Anodik oksidasyon i leminde önemli olan iki husus bariyer tabaka ve por boyutlarıdır. Bariyer tabakanın kalınlı ı voltajla orantılı ekilde artmaktadır. Por boyutları ise kullanılan elektrolite ba lıdır. Dü ük konsantrasyonlu ve dü ük sıcaklıkta yapılan uygulamalarda küçük boyutlu porlarla birlikte sert anodizasyon i lemi gerçekleşirken, yüksek konsantrasyon ve yüksek sıcaklıklarda por boyutları büyüyerek normal anodizasyon i lemi gerçekleşir. Genellikle %12 lik sülfürik asit konsantrasyonlu banyolar kullanılmaktadır [30].

Anodik oksidasyon i lemi yüzeyin ön hazırlanması, oksidasyon i lem parametleri ve oksidasyon sonrasında uygulanan i lemler olmak üzere birçok farklı a amadan meydana gelmektedir. Bu a amaların her biri kaplama kalitesinin istenilen özelliklerde olması açısından büyük önem ta ımaktadırlar [31].

Anodik oksit tabakasının üniform olması açısından yüzey kusurlarının giderilmesi gerekmektedir. Alüminyumun anodizasyon öncesi yüzeyini hazırlamak ve iyi bir tutunma yüzeyi elde edilmesi amacıyla yüzey ön i lemleri uygulanmaktadır. Bu i lemler ile yüzeyin dekoratif özellikleri artırılaca ı gibi olu acak oksit tabakasının yüzeye iyi tutunmasının sa lanmasıyla korozyon direnci ve a ınma dayanımının artı ı da sa lanmaktadır [35,37]. Anodik oksidasyon i lemi esnasında gerçekleşen i lemler sırasıyla a a ıdaki gibidir.

1.7.3. Yüzeyin Hazırlanması İlemi

Anodik oksidasyon işlemi alüminyumun yüzey görünümünü ve metalik yapısını deşirmediği için yüzey ön hazırlık işlemi oldukça kritik bir önem taşımaktadır. Örneğin, talaşlama işlemiyle yüzeydeki çizikler, yüzey boyunca oluşan çizgiler veya yıpranmalar büyük ölçüde giderilmektedir. İstenilen yüzey kalitesine mekanik ve kimyasal ön yüzey hazırlama işlemleriyle elde edilmektedir [12].

Mekanik ön yüzey hazırlama işlemi; Uygulanan mekanik ön yüzey işlemleriyle tüm alüminyum yüzeyinin pürüzsüz olması amacıyla yapılmaktadır. Fakat elde edilen bu pürüzsüzlük anodizasyon sonrasında kaybolmaktadır [31]. Mekanik ön işlemler anodik oksidasyon işlemine tabi tutulacak ürünlerin polisaj, zımparalama, kuşlama veya çapak alma gibi işlemlerini kapsamaktadır. Kuşlama ve çapak alma işlemleri küçük boyutlu parçalara, polisaj işlemi ise daha büyük boyutlu profillere ve parçalara uygulanmaktadır. Polisaj işleminde özel olarak üretilen bezler, satinaj işlemlerinde çelik telli fırçalar ile yüzey işlemleri gerçekleştirilmektedir. Kuşlama işlemi de talaşlama işlemi öncesinde yüzeyin mat görünüm kazanması amacıyla uygulanmaktadır. Tüm bu işlemler sonunda yüzeyde bir miktar kalıntı veya yağ kalabilmektedir. Bu kalıntılar yağ alma işlemlerinde giderilmektedir [37].

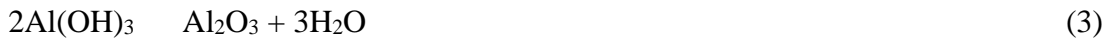
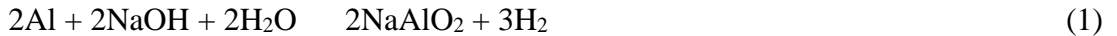
Kimyasal ön yüzey hazırlama işlemi; Kimyasal ön temizleme işlemlerinin amacı mekanik işlemler sonrasında kalın yağ, kir gibi kalıntıların alüminyum yüzeyinden uzaklaştırılarak takip eden prosesler için yüzeyi hazırlamaktır. Kullanılan kimyasal temizleyici maddeler hafif alkalidir ve az miktarda yüzeyin deşilmesini sağlamaktadır. Bu da işlemler esnasında kullanılan NaOH (sodyum hidroksit) ile sağlanmaktadır. Yüzeylerde bulunan oksit tabakalarının giderilmesi için genellikle %10 konsantrasyonlu sülfürik asit banyolarında 80-90°C sıcaklıklarda yapılmaktadır. Yapılan her kimyasal işlem elde edilmek istenen yüzey özelliği için farklı özellik gerektirmektedir. Yüzeyin matlaştırılması için sodyum hidroksit kullanılması, kimyasal parlatma işlemi için sülfürik asit, kromik asit gibi asitlerin elektrokimyasal olarak kullanılması ile yapılabilmektedir. Yapılan kimyasal işlemler sonunda kimyasalların birbirine karışmaması ve yüzeyden uzaklaştırılması için durulama banyosu bulunmaktadır. Kullanılan kimyasalların sıklıkla süzülmesi veya yenilenmesi banyoların kirlenmemesi veya birbirine kirlilik taşınmaması için önemlidir [31,37].

Kimyasal ön i lemler ya alma, da lama ve nötralizasyon i lemlerinin birbirini takibiyle yapılmaktadır.

Ya alma i lemi; Bu i lemin amacı üretim esnasında veya mekanik i lemler esnasında yüzeylerde kalan yağların veya yağlayıcı maddelerin uzaklaştırılmasıdır. Genellikle yağ alma çevreye zarar vermemek amacıyla su esaslı emülsiyonlarla yaklaşık 60°C sıcaklıklarda yapılmaktadır. Fakat bu prosesler yerine trikloretilen veya buna benzer kimyasalların buharı kullanılarak da yağlar uzaklaştırılabilmektedir. Ayrıca temizleyici çözeltiler ardından basınçlı suyla da yağ kalıntıları yüzeyden uzaklaştırılabilir [31,37].

Da lama; Alüminyum ve alaşımlarının yüzeyinin matlaştırılması amacıyla yapılan bu i leminde genellikle %4 konsantrasyonlu NaOH (sodyum hidroksit) ile gerçekleştirilmektedir. NaOH ucuz ve oldukça geniş kullanıma sahiptir ve yüzeyde beyazımsı bir renk vermektedir. Da lama i leminin daha kısa sürmesi için öncesinde kumlama yapılması gerekmektedir. Da lama i lemi genellikle 40-50°C sıcaklıkta gerçekleştirilmektedir. Alüminyum çözeltisi ile reaksiyona girdiğinde malzemenin yüzeyinden alüminyum çözünerek çözeltiliye geçmektedir. Bu miktar denge sınırlarına atıldığında banyo dibine çökmektedir ve bu da istenilen yüzeyin elde edilmesi açısından önemli olduğundan bu banyoların alüminyum konsantrasyonu sürekli kontrol edilmelidir. Eğer alüminyumun konsantrasyonu artarsa yüzey kusurları oluşmaktadır [31,37].

Da lama i lemi esnasında meydana gelen reaksiyonlar sırayla (1) reaksiyonu da lama, (2) reaksiyonu sodyum alüminatın çözünmesi ve (3) reaksiyonu alüminyum hidroksitin çözünmesi şeklinde olmaktadır.



Da lama i lemi anodik oksidasyon i leminin nihai görüntüsünü belirlediğinden, yeteri kadar yapılmadığında uygulanacak anodizasyon ve renklendirme i lemleri istenilen dayanımları ve görüntüyü vermeyecektir [35].

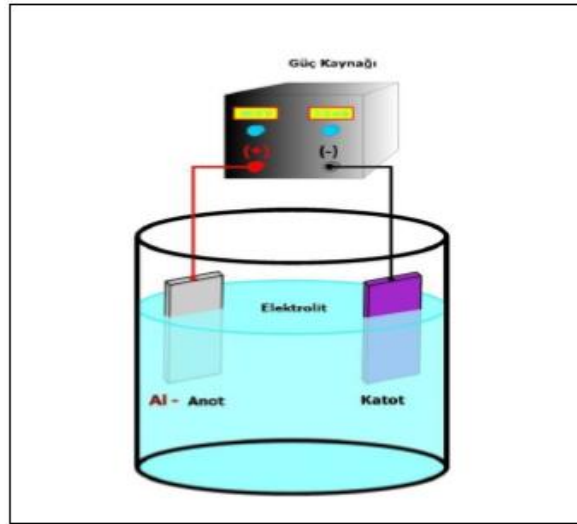
Nötralizasyon; Da lama i lemi esnasında alüminyum alaşım elementleri olan bakır, silisyum, mangan gibi elementler yüzey üzerinde siyah lekeler oluşturmakta veya da lama ve parlatma i lemlerinden sonra çözünmeyen alaşım bileşenleri kalabilmektedir. Bu sebeple alüminyum alaşımları durulanıp 50-70°C sıcaklıkta ve 1-20 dk periyotlarda nötralizasyon

İleminin tabii tutularak anodik oksidasyon işlemi öncesi yüzey bu artıklardan arındırılmaktadır. Bu amaçla en çok kullanılan %20-30 konsantrasyonlu nitrik asit veya sülfürik asit banyolarıdır. Sülfürik asit kullanılan banyolarda düşük miktarlarda oksitleyici asit veya bileşik eklenmesiyle korozyon olumsuz engellenmektedir [12,37,38].

1.7.4. Anodik Oksidasyon İşlemi Uygulanması

Alüminyumun anodik oksidasyon işleminde anoda yani negatif uca işlem görecektir parça, katoda yani pozitif uca ise kurulum veya alüminyumdan yapılan elektrotlar kullanılmaktadır. Anodik oksidasyon işlemi ticari uygulamalarda genellikle hacimce %12-15 seyreltilmiş sülfürik asidin elektrolit olarak kullanılmaktadır. Diğer kaplama işlemlerinden farklı olarak yüzeyinde ince bir bariyer oksit tabaka ve bunun üzerinde gelişen poröz oksit tabaka oluşmaktadır. Anodik oksidasyon işlemi bir elektrokimyasal süreçtir ve kullanılan asidik ve alkalın elektrolitler ile düzenli gözenekli bir yüzey morfolojisi elde edilmektedir.

Şekil 9'da görüldüğü gibi kullanılan elektrotlar anot ve katot, elektrolit içinde çözünmeyecek malzemelerden yapıldığında anotta oksijen gazı, katotta hidrojen gazı açığa çıkmaktadır. Anotta açığa çıkan bu serbest oksijen oksit tabakasını oluşturmak için alüminyumla birleşmektedir [31,39].



Şekil 9. Anodik oksidasyon süreci şematik gösterimi

ekil 9'da ematik olarak gösterilen anodik oksidasyon banyosunda güç kaynağı vasıtasıyla elektrolit içinden anottan katoda doğru geçen elektrik akımıyla oluşan kimyasal reaksiyonlar sonucunda alüminyum yüzeyinde ilk olarak ince bariyer oksit tabakası ve ardından kalın poröz oksit tabaka oluşmaktadır [35].

Anodik oksidasyon işleminde kullanılan elektrolit, akım yoğunluğu, voltaj, sıcaklık ve uygulama süreleri olacaktır gözenekli yapının istenilen özellikleri taşımasında önemli rol oynamaktadırlar [29,39].

Alüminyumun anodik oksidasyon işlemi süresince gelişen reaksiyon denitlik (4)'deki gibidir [29,34,35].



Anodik oksidasyon havuzuna elektrik akımı verildiğinde su ve sülfürik asit ayrışmaktadır. Bu reaksiyonlar denitlik (5) ve denitlik (6)'da verilmiştir [34,35,40].



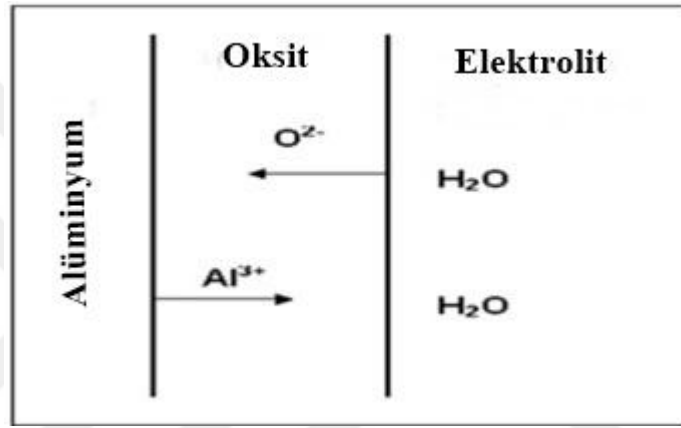
Ayrışma sonucu oluşan hidrojen iyonları + yüklüdür ve – yüklü olan katoda doğru hareket edip burada hidrojen gazına indirgenmektedirler. Bu reaksiyon denitlik (7)'de verilmiştir [34,35,40].



Ayrışma sonucu açığa çıkan – yüklü hidroksit, sülfat ve oksit, + yüklü olan anoda doğru hareket etmektedirler. Elektriksel akım anottan katoda doğru gerçekleşmesiyle meydana gelen elektriksel yük alüminyum yüzeyinde metalin çözünmesine neden olmakta ve bunun sonucunda + yüklü alüminyum iyonları oluşmaktadır. Yüzeyde oluşan bu alüminyum iyonları anoda gelen oksit ve hidroksitlerle reaksiyona girer ve alüminyum oksit tabakasını meydana getirmektedirler. Bu reaksiyonlar metal-oksit ara yüzeyinde ve oksit-elektrolit ara yüzeyinde meydana gelmektedirler. Oluşan bu reaksiyonlar denitlik (8), (9) ve (10)'da verilmiştir [34,35,40].

Oksijen ve alüminyumun metal-oksit ara yüzeyinde gerçekleştirdikleri reaksiyon denitlik (8)'de verilmiştir. Oksijen alüminyumla reaksiyona girip alüminyum oksit yapısını

olu turmaktadır. Alüminyum ve suyun oksit-elektrolit ara yüzeyinde gerçekleşen reaksiyonun denklemi (9)'da verilmiştir. Alüminyum katyonları suyla reaksiyona girip alüminyum oksit yapısını oluştururlar. Alüminyum oksit elektrolit içerisinde çözünme reaksiyonu denklemi (10)'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Oksit tabakasından iyonların geçişininematik görünümü [39].

Şekil 13'de görüldüğü üzere Al^{3+} ve O^{2-} iyonlarının geçişleri metal oksit ara yüzeylerinde meydana gelmektedir [40]. Anodik oksidasyon işleminde oluşan oksit tabakasının %12-15'i sülfat iyonu (SO_4^{2-}), %15'i H_2O ve %70'i Al_2O_3 den oluşmaktadır. Oksit tabaka içerisinde sülfat (SO_4^{2-}) iyonlarının az olması oksijen ve alüminyum iyonlarının daha hareketli olmalarından kaynaklanmaktadır. Ek olarak sülfat iyonları hidrojen iyonlarının hareketini kolaylaştırır ve gerekli voltajı azaltmaktadır. Tüm bunlara rağmen oluşan oksit tabakasının kompozisyonu kullanılan elektrolite ve tespit işleminin uygulanmasına bağlıdır [35,41].

Anodik oksidasyon işlemi genellikle %5-25'lik sülfürik asit çözeltisinde gerçekleştirilmektedir. Normal anodik oksidasyon işleminde işlem sıcaklığı 18-20°C aralığındadır. Fakat sert anodizasyon işleminde bu sıcaklık -5,+5°C aralığında olmaktadır. Uygulama esnasında elektrolit içinden elektrik akımı geçtikten ve reaksiyonlar ekzotermik olduğundan elektrolit sıcaklığı artmaktadır ve bu da oluşan oksit yapısının özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple elektrolitin soğutulması

gerekmektedir. Ayrıca olu an oksit tabakasının yüzeye düzgün dağılımı açısından karı tırma i lemi proses için oldukça önemlidir. Tüm bu faktörlere ba lı olarak olu an oksit tabakasının mekanik özellikleri ve kalınlı ı uygulanan akım ve zamana ba lı olarak de i mektedir [8,35].

Sülfürik asit, anodik oksidasyon prosesinde kullanılan ba lıca elektrolittir. Bu proseste sülfürik asidi içeresinde tutacak geometriye sahip parçalar ile anodizasyon i lemi yapılmamalıdır. Sülfürik asit anodizasyonunda klorür konsantrasyonu oranı %0,02 den dü ük olmalı, alüminyum konsantrasyonu 15-20 g/lt den dü ük olmalıdır. Sülfürik asit konsantrasyonu 165-200 g/lt arasında seçilmelidir. Anodik oksidasyon i leminde voltaj 0,9-5 A/dm² akım yo unlu u üretecek ekilde seçilmelidir. Bu i lemde dövme prosesi ile üretilmi 7xxx serisi (örne in 7075 alüminyum ala ımları) için en uygun gerilim de eri 22 V kullanılmaktadır. Banyo içerisinde artan alüminyum konsantrasyonu voltajı artırmaktadır. İstenilen akım yo unlu una ula ıldı ında elde edilmesi istenilen kaplama kalınlı ına ula ana kadar çözelti içinde bekletilir, i lem tamamlandı ında akım durdurulur ve parçalar çözeltiden çıkarılıp durulanmaktadır [32].

Alüminyumun anodik oksidasyon i lemi di er kaplama yöntemlerinden farklı olarak yüzeyin bir film tabakası ile kaplanması de il, yüzeyin oksitlenmesi i lemidir. Bu i lemde yüzeyden alüminyum bir yandan çözünürken di er yandan aynı anda çözünen alüminyum oksitlenmektedir [8,35].

1.7.5. Renklendirme

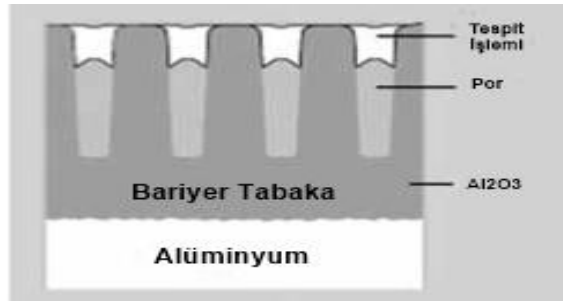
Anodik oksidayon i leminden sonra renkli yüzey istenilen durumlarda renklendirme i lemi uygulanmaktadır. Oksit tabakasının renklendirilmesinde organik ve inorganik boyalar kullanılmaktadır. Elektrolitik renklendirmelerde çökelme pigmentasyonu veya organik boya kombinasyonları kullanılmaktadır. Renklendirme i lemi tespit i leminden önce anodik oksit i lemiyle elde edilen gözeneklere boyanın emdirilmesidir. Boya emme kabiliyeti kaplamanın kalınlı ına ve gözeneklili ine ba lı olarak de i mektedir. Boyalı kaplamalar effaftır ve alüminyumun temel yanı ına karakteristi inden etkilenmektedir. Bu nedenle renklerin di er malzemeler üzerindeki görünümleri renklendirilmi anodik oksidasyon i leminden beklenmemelidir. Renklendirme i leminin düzgün bir ekilde olması anodik oksidasyon i lem parametrelerine ve boya banyosunun sıklıkla kontrol edilmesine ba lıdır [29,32].

1.7.6. Tespit İlemi

Anodik oksidasyon sonrasında elde edilen oksit tabakasının kusurlarından ana malzeme korozyona uğrayabilmekte ve ek olarak oksit tabakasının kendisi korozyon ataklarına uğrayıp tahrip olabilmekte ve metal korozyonu olmaktadır. Bu korozyona neden olan etkiler tespit işlemiyle oksit tabakasının gözeneklerinin kapanmasıyla önlenmektedir. Ek olarak gözeneklerin kapanmasıyla renklendirme işlemi uygulanmış malzemelerde boya pigmentlerinin daha uzun süre oksit tabaka içerisinde kalmasını da sağlamaktadır. Bu korozyonu önleme amacıyla yapılan tespit işlemi kaynama derecesinde deiyonize su içerisinde 15-20 dk boyunca anodik oksidasyon işlemi görmüş ürünlerin bekletilerek gözeneklerin kapatılması ve alüminyum oksit (Al_2O_3) monodihroksite yani bohemit-alüminyana ($-Al_2O_3 \cdot H_2O$) dönüşüm işlemidir [29]. Alüminyum oksit işlemi sonrası uygulanan tespit işlemi reaksiyonu eşitlik (11)'de verilmiştir.



Tespit işlemiyle oluşan bohemit-alümina ($Al_2O_3 \cdot H_2O$) sert ve saydam bir yapıya sahiptir ve alüminyum oksite (Al_2O_3) kıyasla hacimce daha büyüktür. Bu nedenle bohemit alümina oluşurken hacimsel büyüme neticesinde porlar kapanmaktadır [35]. Anodik oksidasyon sonucunda oluşan yapının malzemeye kazandıracak korozyon direnci büyük ölçüde tespit işlemine bağlıdır. Tespit işleminin istenilen korozyon direncini sağlayabilmesi oksit tabakasının üniform ve yüzey üzerinde toz ve lekelerin bulunmaması gerekmektedir [29]. Şekil 11'de tespit işlemi uygulanmış oksit tabakasının görünümü verilmiştir.

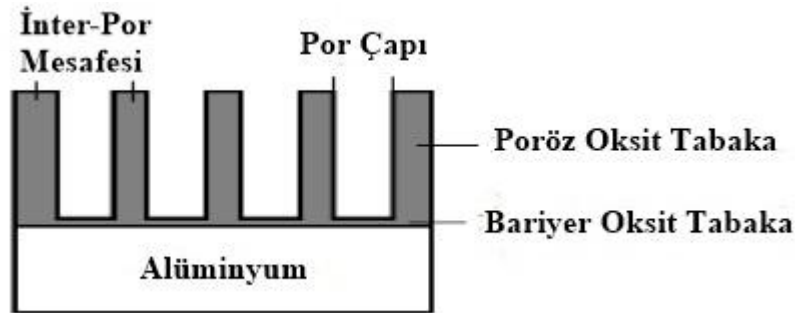


Şekil 11. Tespit işlemi uygulanmış poröz oksit tabakasının matematik görünümü [43].

Anodik oksidasyon i leminin son ve en hassas prosesi olan tespit i lemi korozyon dayanımı ve kaplamanın dı görünü ü açısından oldukça önem arz etmektedir. Bu i lem için iki farklı yöntem kullanılmaktadır; ilk yöntem uzun yıllardır uygulanan 96-100°C sıcaklıklarda ki suya daldırma i lemiyle uygulanan sıcak tespit i lemi, di eri ise nikel tuzlarıyla hazırlanan banyolarda oda sıcaklı ında uygulanan so uk tespit i lemidir. Bu iki yöntemin kar ıla tırılabilmesi açısından; so uk tespit i lemi için dü ük sıcaklıklar avantaj sa larken, toksik nikel bile ikleri kullanıldı ından çevreye ve insan sa lı ı açısından tehlikeli olmasıdır [43].

1.8. Anodik Oksidasyonun Yapısı

Anodizasyon i lemi genellikle ekillendirme veya yüzey i leminden sonra uygulanmaktadır. Anodizasyon i lemi sonrası olu an oksit tabaksının kalınlı ı direkt olarak akım yo unlu una ve zamana ba lıdır. Buna ek olarak anodik kaplamanın geli imi elektrolit türüne ve elektroliz yöntemine de ba lıdır. Borik asit ve tartarik asit gibi elektrolitlerde sadece bariyer oksit tabaka geli imi gözlenirken, sülfürik asit gibi elektrolitlerde poröz oksit tabakası geli imi gözlemlenmektedir. Poröz oksit tabakası ince bir film tabakası olan bariyer oksit tabakanın oksidasyon i lemi sırasından hegzagonal ve ortası gözenekli bir yapıya dönü ümüyle elde edilmektedir. Olu an porların çapları sıcaklı a, elektrolite ve uygulanan akım yo unlu una ba lıdır. Böylece anodik oksidasyon i leminin parametreleri de i tirilerek farklı özelliklerde kaplamalar elde edilebilmektedir [31]. ekil 12'de anodik oksidasyon sonrası elde edilen oksit tabakasının ematik gösterimi verilmi tir.



ekil 12. Oksit tabakasının ematik gösterimi [35].

Anodik oksidasyon i lemi ile elde edilen oksit tabakası ekil 12'de görüldü ü gibi alüminyum yüzeyinde olu an gözeneksiz ve ince bariyer oksit tabakası ve i lem parametrelerine ba lı olarak bariyer tabakanın üzerinde olu an kalın ve gözenekli yapı olan poröz oksit tabakasından olu maktadır.

1.8.1. Anodik Oksidasyon Tabakasının Geli imi

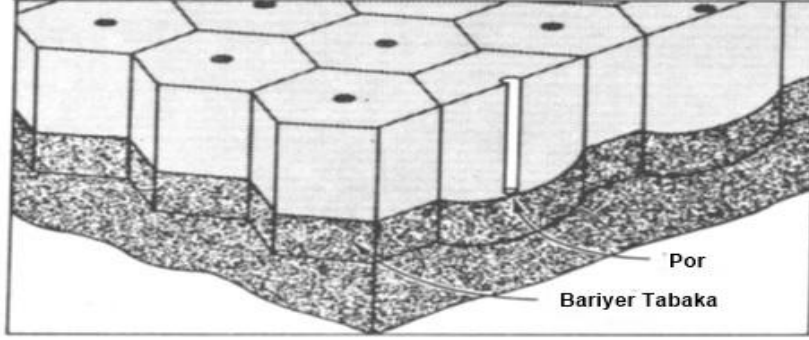
Anodik oksidasyon i leminde elektrik akımı verilir verilmez ilk saniyelerde hızlıca ince ve gözeneksiz bariyer oksit tabakası geli mektedir. Uygulanan voltajla orantılı olarak yakla ık 0,02µm kalınlı a ula ana kadar büyümektedir. Yakla ık 4,5-5 saniye içinde maksimum kalınlı a ula ılmaktadır. Olu an bu bariyer oksit tabakası yüksek bir elektriksel dirence sahiptir. Bu nedenle uygulanan yakla ık 20-22V de erlerinde ki gerilimin sürekli olarak uygulanması sonucunda akım yo unlu u hızlı bir ekilde dü er ve tabakanın büyümesi durmaktadır. Elektriksel enerjiden dolayı olu an ısınma ve kullanılan elektrolitlerin bariyer oksit tabakasını çözüdürmeye çalı ması ve ardından kaplamanın zayıf oldu u bölgelerden kaplamayı a ındırmaları sonucunda alüminyum oksit yapısında hegzagonal porlar olu maktadır [12,34,35] .

Bariyer oksit tabakasının olu masının ardından poröz oksit tabakası olu maktadır. Olu an bu tabaka silindirik ekilli hegzagonal hücreleri olan ve ana malzemeden bariyer tabaka ile ayrılmı kalın bir oksit tabakasıdır. Olu an bu yapıyı voltaj ve akım de erleri belirlemektedir. Ayrıca elektrolit ve konsantrasyonu da oldukça etkilidir. Bariyer oksit tabakanın elektriksel direncinden dolayı bu tabaka yeteri kadar büyüyemez ve uygulanan voltaja ba lı olarak artan kalınlıkla birlikte kanallar ve bo luklar olu maktadır. Olu an bu kanallardan elektrik akımının geçmesiyle kanallar arasından iyonlar (oksijen, alüminyum ve hidrojen) geçerek gözenekli yapı olu maktadır. Burada oksit tabakasından alüminyum iyonları ayrı makta ve çözeltiliye karı maktadır [29,35]. Bu reaksiyon (12) e itli inde verilmi tir.



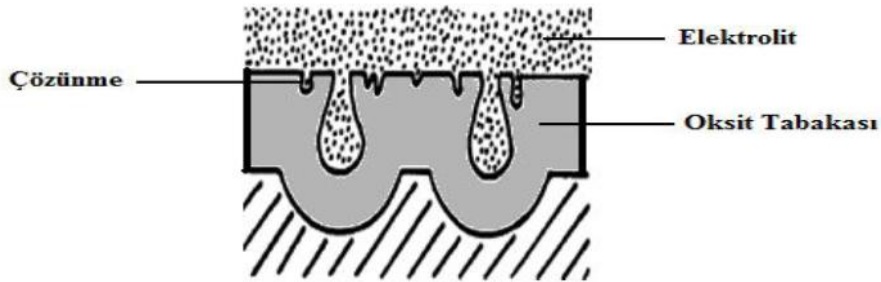
Bu reaksiyonda kopan alüminyum iyonları çözeltiliye geçer ve yüksek konsantrasyonda olan hidrojen iyonları serbest kalan oksijen ile birle erek su olu turmaktadırlar. Bu i lemler neticesinde elektrolitin sıcaklı ı ve akım yo unlu u artmaktadır. Bu oksit tabakanın

kalınlı ını artırmaktadır fakat aynı zamanda da çözünmeler meydana gelmektedir [34,35].
ekil 13’de alüminyum üzerinde geli en bariyer oksit ve poröz oksit tablasının ematik gösterimi verilmi tir.



ekil 13. Alüminyum üzerinde büyüme gösteren hegzagonal yapılı bariyer oksit ve poröz oksit tabakası [12].

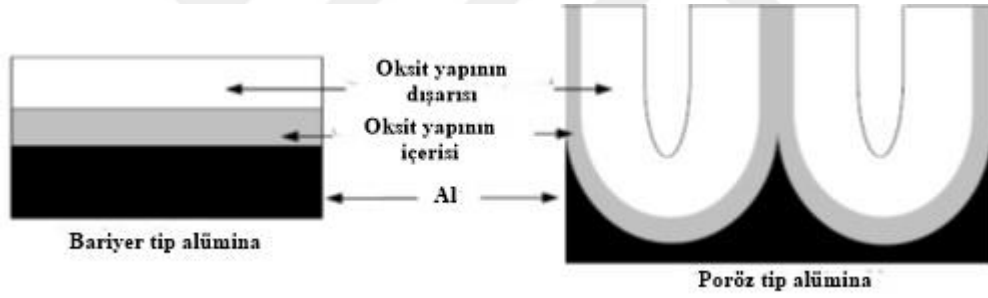
Anodik oksidasyon i leminde akımın verilmesiyle ilk olarak olu an bariyer oksit tabakası sülfürik asit gibi elektrolitlerde, yeterli büyüme sonunda olu an sıcaklık etkisiyle ve voltaj de erinin sabit kalmasıyla birlikte yüzeyinden çözünerek, iyonların hareket etmesiyle birlikte büyüme devam etmektedir. Bu büyüme neticesinde poröz oksit tabaka olu makta ve olu acak tabakanın kalınlı ı süreye, sıcaklı a, elektrolit türüne, akım yo unlu una göre de i im gösterecektir. ekil 14’de gözenekli yapının olu umunu ematik olarak verilmi tir.



ekil 14. Gözenekli oksit yapısının olu umunun ematik gösterimi [34].

Olu an bariyer oksit tabaka olu umunu hızlı bir ekilde olurken poröz oksit tabakanın olu umunu çok daha yava olmaktadır. Uygulanan voltaj arttıkça olu an porlar büyümektedir

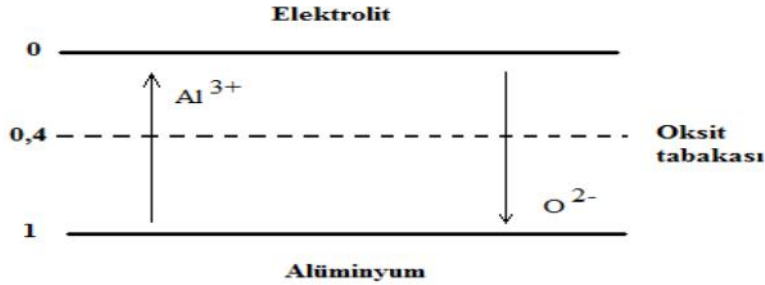
ve gözenek sayısı azalmaktadır. Porların sayısı ve büyüklüğü tespiti ile birlikte korozyon direnci ve dayanımlarını etkilemektedir. Büyük ve az porlu yapıya sahip tabakaların dayanımları düşük olurken, küçük ve çok miktarda oluşan porlar dayanımı artırmaktadır. Ekil 14’de görüldüğü gibi artan potansiyel ile birlikte gözenekler büyümektedir. Bariyer oksit tabakası düzenli amorf tabakalarından oluşurken, poröz oksit tabakasının bu tabaka üzerinde büyümesi ve bariyer tabakanın çözünmeye uğramasıyla Al^{3+} ve O^{2-} iyonlarının geçişleri tarafından oluşmaktadır. Oluşan oksit tabakanın 2/3’ü ana malzeme yüzeyine doğru olurken, 1/3’ü orijinal ana malzeme yüzeyinde dışarıya doğru oluşmaktadır. Anodik oksidasyon sonucunda ana malzeme hacimsel olarak büyüme göstermektedir. Ek olarak saf alüminyum alaşımlarında bu büyüme oranları alaşımlı alüminyuma göre daha yüksektir. Bunun sebebi alaşım elementlerinin oksit yapısının oluşumuna ve büyümesine karşı gösterdikleri dirençtir [12,29,34,35]. Ekil 15’de bariyer ve poröz oksit tabakalarının genel görünümü verilmiştir.



ekil 15. Bariyer oksit tabakası ve poröz oksit tabakasının genel görünümü [34].

Bariyer oksit tabakasının kalınlığı sülfürik asit banyolarında $1\ \mu m$ 'den daha düşük seviyelerdedir fakat buna karşın poröz oksit tabakası daha yüksek kalınlıklardadır. Bu kalınlığı ve sertliği anodik oksidasyon parametreleri belirlemektedir. Düşük sıcaklıklarda ($-5,+5^{\circ}C$) gerçekleştirilen anodik oksidasyon işlemiyle sert ve kalın oksit tabakası elde edilmektedir ve bu işlem sert anodizasyon işlemi denilmektedir. Normal oksidasyon koşullarında ($18-22^{\circ}C$) 250-300 HV sertlik elde edilirken, bu sert anodik oksidasyon işlemiyle ana malzemeye bağlı olarak 500-550 HV sertliklerin elde edilmesi mümkündür [12,31,34,35]. Ekil 16’da anodik oksidasyon işleminde gerçekleştirilen iyon geçişleriematik olarak verilmiştir. Bu ekilde görüldüğü gibi, metal-oksit ara yüzeyinde elektrolit, elektrik akımı ve sıcaklığın etkisiyle oluşan bariyer tabakanın çözünmesiyle alüminyum iyonları

çözeltiye karışmakta, oksijen iyonları ana malzemeye doğru hareket etmekte ve poröz yapıyı oluşturmaktadır.



Şekil 16. Anodik oksidasyon işleminde gerçekleşen Al^{3+} ve O^{2-} iyonlarının geçişleri [34].

1.9. Anodik Oksidasyon Tabakasının Oluşumunu Etkileyen Parametreler

Alüminyumun anodik oksidasyonu işlemi sonucunda oluşan alüminyum oksit yapısını işlem parametrelerine bağlı olarak farklı mekanik özellikler ve korozyon direnci göstermektedirler. İstenilen yapının oluşumunu sağlayan başlıca işlem parametreleri şunlardır;

- Akım yoğunluğu (A/dm^2)
- Voltaj (V)
- Sıcaklık ($^{\circ}C$)
- Süre (dk)
- Elektrolit türü ve konsantrasyonudur.

Alüminyum ve alaşımlarının anodik oksidasyon işleminde poröz yapı elde edebilmek için genellikle 165-200 g/l konsantrasyonunda sülfürik asit çözeltileri kullanılmaktadır. Uygulanan voltaj değeri 18-22V aralığında, $0,9-1,5A/dm^2$ akım yoğunluğu kullanılmaktadır. İşlem süresi ise yaklaşık 50 dk ve üzeri sürelerde seçilmektedir [14,32,34,35].

Proses parametreleri oluşan alüminyum oksit tabakasının özelliklerini belirlemede büyük rol sahibidir. Bunların bazı etkileri şu şekilde sıralanabilir;

- Sabit gerilim altında sıcaklığın artırılması ile yüzeyden alüminyum oksit tabakası çözülmeye başlar, bunun sonucunda akım yoğunluğu ve porozite artarken kaplama kalınlığı azalmaktadır,

- b) Sabit gerilim altında sülfürik asit konsantrasyonunun artırılması ile yüzeyden oksit tabakasının çözülmesi artar ve bunun neticesinde akım yoğunluğu artmaktadır. Ayrıca oksit film tabakasının çözülmesinin artmasıyla da kaplamanın porozitesi ve por çaplarında artma meydana gelmekte ve kaplama kalınlığı azalmaktadır,
- c) Sabit sıcaklıkta voltajın artırılmasıyla birlikte bariyer oksit tabakasının kalınlığı, por çapları ve akım yoğunluğu artarken, kaplamanın porozitesinde azalma görülmektedir [44].

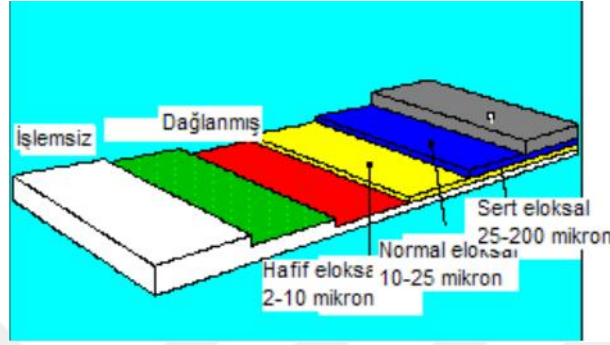
Farklı akım değerlerinde, sıcaklıklarda, elektrolit türü ve konsantrasyonlarında kaplama kalınlığı, sertliği ve porların yapısı değişim göstermektedir. Sülfürik asit çözeltilerinde sürenin artırılması ve proses sıcaklığının normal anodizasyona kıyasla düşük seçilmesi neticesinde sert anodik oksit tabakası elde edilmektedir. Bu proses ile yüksek sertlikte ve 250 µm'ye kadar kaplamalar elde edilebilmektedir. Elde edilen bu kaplama ile yüksek korozyon direnci ve aşınma dayanımı elde edilebilmekte ve elde edilen kaplamalar renklendirilebilmektedir [14,31,34,35].

1.10. Sert Anodizasyon

Sert anodizasyon özel anodizasyon türlerinde yapıldığından bu isimle tanımlanmaktadır. Genellikle yüksek sülfürik asit konsantrasyonları, düşük sıcaklıklar, yüksek voltaj ve akım yoğunluklarında uygulanan özel bir anodik oksidasyon prosesidir. Sert anodizasyon işlemiyle alüminyum yüzeyinde sert, yoğun, aşınmaya ve korozyona karşı dirençli bir oksit tabakası elde edilmektedir. Genellikle (-5 ile +5°C) arasındaki sıcaklıklarda gerçekleştirilen proses ile sonuç olan elektrolitin sonuçta etkisiyle yoğun bir oksit tabakası elde edilmektedir. Çünkü düşük sıcaklıklarda yüksek akım yoğunluğu elde etmek için uygulanan voltaj küçük boyutlu ve yoğun bir por yapısı oluşturmaya yardımcı olmaktadır, bu da yüksek sertlik ve yüksek aşınma dayanımı sağlamaktadır. Sert anodizasyon işleminde kaplanacak parçaya bağlı olarak elde edilmesi istenilen kaplama kalınlıklarına ulaşabilmek için 240 dakikaya kadar kaplama süresi çıkabilmektedir. Bu proses ile 200 µm kaplama kalınlıkları elde edilebilmektedir.

AA7075 alaşımı havacılık, roket ve hafif silah endüstrisinde kullanılan yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarıdır. Sert anodizasyon bu gibi uygulamalarda başlıca bir gereksinimdir. Sert anodizasyonun diğer yöntemlerden farkı düşük elektrolit sıcaklığı ve yüksek akım yoğunluklarıdır bununla birlikte kaplamanın oluşum mekanizmaları aynıdır.

T6 ısıl işlemi uygulanmış AA7075 alüminyum alaımının sülfürik asit, oksalik asit ve hidroklorik asitin elektrolit olarak kullanıldığı sert anodik oksidasyon işlemiyle üniform yapılı, 80-85 µm kalınlıklarında 400-500 VSD sertlikte kaplamalar elde edilmiştir [45]. Şekil 17'de oksidasyon işlemlerine bağlı olarak kaplama kalınlıkları verilmiştir.



Şekil 17. Anodik oksidasyon türleri ve kaplama kalınlıkları

Sert anodizasyon işleminde genel olarak kullanılan proses parametreleri ;

-)] Elektrolit konsantrasyonu: 15-20 % (hacimsel) sülfürik asit
-)] Akım yoğunluğu: 1-5 A/dm² (DC)
-)] Voltaj: 18-120 V
-)] Sıcaklık : -5 ile +5°C arası.
-)] Süre: maksimum 240 dk [14,28].

Yapılan bir çalışmada 6061-T6 alüminyum alaımına 45 dakika proses süresinde, 3-5 A/dm² akım yoğunluğunda, 25-70 V voltaj değerinde, 0-4°C sıcaklıklarında uygulanan sert anodik oksidasyon işlemi sonucunda 490 HV sertliğinde ve 50 µm kalınlığında oksit tabakası elde edildiği belirtilmiştir [48]. Diğer bir çalışmada Al-Si alaımına normal anodizasyon, sert anodizasyon ve dekoratif anodizasyon prosesleri uygulanmış ve kaplamaların sertlikleri karşılaştırılmıştır. Tablo 10'da yapılan proseslerin işlemleri ve elde edilen sonuçları verilmiştir. Yapılan sertlik ölçümlerinde kaplama ve yüzeylerde en yüksek sertlik değerini sert anodizasyonun işleminin verdiği en düşük sertliğe ise dekoratif anodizasyon işleminin verdiği belirtilmiştir. Yine aynı çalışmada kaplama kalınlıkları incelenmiş ve en yüksek kaplama kalınlığını sert anodizasyon işlemiyle elde edildiği belirtilmiştir [39].

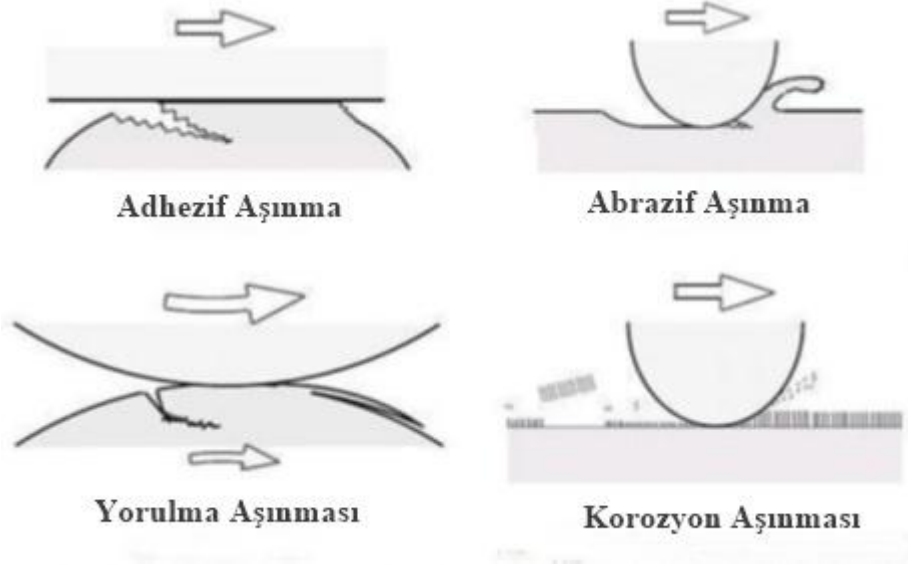
Tablo 10. Uygulanan i lemin parametreleri [39].

Uygulanan i lemin	Sıcaklık (°C)	Akım (A/cm ²)	Süre (dk)	Kalınlık (µm)	Yüzey Sertliği (HV0,1)	Yüzey Pürüzlülü ü (µm)
Sert Anodizasyon	0-4	0,016	15	20	524,7	2,55
Normal Anodizasyon	25	0,016	15	13	400,3	1,25
Dekoratif Anodizasyon	25	0,016	30	8	228,7	1,34

Tablo 10’da görüldü ü gibi sert anodizasyon i leminin yapıldı ı banyo sıcaklı ı di er proseslere göre daha dü üktür. Banyo sıcaklı ı sert anodizasyon i leminin di er yöntemlerden ayrıldı ı ba lıca proses parametresidir. Sert anodizasyon ile di er proseslere göre daha kalın ve sert kaplama elde edilmi tir. Ek olarak elde edilen yüzey pürüzlülü ü sert anodizasyonda di er proseslere göre daha yüksektir. Sert anodizasyon sa ladı ı bu üstün özellikler sayesinde otomotiv, makine imalatı, savunma ve silah sanayisinde geni kullanım alanı bulmaktadır [45-49].

1.11. A ınma ve A ınma Mekanizmaları

A ınma bir birine göre ba ıl hareket yapan cisimlerin yüzeyleri arasında olu an etkile im sonucu meydana gelen hasar olarak tanımlanmaktadır. Makine parçalarında ve konstrüksiyon elemanlarında olu an arızaların ve hasarların en büyük etmenlerinden birisi a ınmadır. Bu sebeple a ınmanın çalı ma performansı ve süresi üzerinde belirleyici etkisi vardır. Aynı sürtünme katsayısına sahip parçalar arasında farklı a ınma oranları meydana gelebilmektedir. Hareketli parçaların sürtünen yüzeyleri arasında farklı a ınma mekanizmaları olu abilmektedir. Bu a ınma mekanizmaları hem tek ba larına hem de aynı anda birden fazlası meydana gelebilmektedir. A ınma bu sebeplerden dolayı endüstriyel uygulamalarda kayıp yarattı ından büyük bir sorun olmaktadır ve olu an hasarın minimuma indirilmesi için çe itli çalı malar ve ara tırmalar yapılmaktadır. Birbiriyle etkile im altında çalı an malzemelerin yüzeylerinde meydana gelen a ınma mekanizmaları ba lıca dört gruptur. Bu a ınma mekanizmaları adhezif, abrazif, yorulma ve korozyon a ınması olarak sınıflandırılmaktadır [49,50]. ekil 18’de a ınma mekanizmalarının ematik olarak gösterimi verilmi tir.



Şekil 18. Malzeme yüzeylerinde oluşan aşınma mekanizmalarınınematik gösterimi [49,50].

1.12. Korozyon ve Korozyon Türleri

Korozyon çevresel etkiler ile (atmosfer, su, deniz suyu, çeşitli çözeltiler veya organik etkiler gibi) metallerin görünüşlerinin, yüzey kalitesinin ve mekanik özelliklerinin yavaş veya hızlıca bozulmasıdır. Korozyon metallerin kimyasal ve elektrokimyasal tepkimeler sonucu bozulması olarak da tanımlanabilmektedir [7,9,24].

Alüminyumun yüzeyinde az veya çok çıplak gözle görülebilen farklı korozyon türleri mevcuttur. Bunlar üniform korozyon, çukur-oyuk (pitting) korozyon, stres korozyonu, pullanma (exfoliation) korozyonu, taneler arası korozyon ve erozyonlu korozyon olarak sıralanabilir. Alüminyum üzerinde baskın olan korozyon tipi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir, bunlar ana malzeme ve alaşımların elementleri, çevre ve kullanım koşullarıdır. Ek olarak alüminyum ve alaşımlarına özgü herhangi bir korozyon türü mevcut değildir [9,24,36].

1.13. Çalışmanın Amacı

Ülkemizde ve dünyada savunma sanayisine yapılan yatırımlar son yıllarda büyük bir ivme kazanmıştır. Bu yatırımlar içerisinde hafif silah üretimi önemli bir yer tutmaktadır. Silah endüstrisinde düşük maliyet, yüksek mukavemet, dayanıklılık, korozyon direnci ve kolay işlenebilirlik ön planda olduğundan, silah gövdelerinin üretiminde yüksek

mukavemet, yüksek korozyon direnci ve düşük özgül ağırlık gibi üstün özelliklere sahip olan AA7075-T6 alüminyum alaşımı soğuk dövülmü durumunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Metalik hafif silah gövdeleri, silahların çalınma prensipleri gereği aşınma ve kullanıldıkları ortamlara göre korozyon etkilerine maruz kalmaktadırlar. Bu nedenlerle soğuk dövülmü AA7075-T6 alüminyum alaşımı ile üretilen silah gövdelerinin yüzey sertlikleri artırılarak aşınma dayanımlarının yükseltilmesi ve aynı zamanda daha yüksek korozyon direncinin elde edilebilmesi amacıyla, bu alaşıma anodik oksidasyon (eloksal kaplama) işlemi uygulanarak silah gövdesi üretiminde etkin olarak uygulanmaktadır.

Planlanan bu çalınma mada, silah gövde malzemesi olarak kullanılmakta olan soğuk dövülmü AA7075-T6 alaşımına uygulanan anodik oksidasyon işlem parametrelerinin oksidasyon tabakasının aşınma dayanımı ve korozyon direncine etkilerini tespit edilip, en uygun anodik oksitleme parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda uygulanacak oksitleme işleminin sabit gerilim koşulunda, akım (A/dm^2), sıcaklık ($^{\circ}C$) ve süre (dk) parametrelerinin alaşımın aşınma ve korozyon dayanımına etkilerinin belirlenmesi planlanmıştır.

Ayrıca gerçekte tirilecek bu çalınma ile ülkemizde geli mekte olan savunma sanayi ve silah endüstrisinin bilgi birikimine katkı sağ lanması ikinci amaç olarak belirlenmiştir.

1.14. Literatür Özeti

Belirlenen amaç doğrultusunda yapılan literatür ara tırmasında; Cirik tarafından yapılmı bir çalınma mada, AA7075-T6 alüminyum alaşımına 6, 12 ve 23 μm kalınlıklarında anodik oksidasyon işlemi uygulanmı ve numuneler % 3,5 NaCl çözeltisinde 6, 48, 96, 240 saat korozyona maruz bırakılarak yorulma dayanımı incelenmiştir. Kaplamasız numunelerde oluşan oyuklanma (pitting) korozyonun yorulma dayanımı dü ürdü ü fakat anodik oksidasyon işleminin AA7075-T6 alüminyum alaşımının korozyona karşı direncini önemli ölçüde artırdı ve bu sebeple anodik oksidasyonun korozyonu önlemesi neticesinde yorulma dayanımının artırdı ı belirtilmiştir [7].

AA7075 alüminyum alaşımına mikro ark oksidasyon yöntemiyle numunelerin Al_2O_3 tabakası ile kaplandı ı bir çalınma mada kaplamanın tribolojik özelliklerinin belirlenebilmesi için farklı yüklerde kuru ve yağ lı artlarda sürtünme ve aşınma davranı ları incelenmiştir. Ya gönderilerek yapılan deneyler sonucunda kaplamalı numunelerin sürtünme katsayılarının kaplamasız numunelerden daha yüksek ve aşınma oranlarının daha düşük

oldu u belirtilmi tir. Kuru sürtünme ortamında yapılan deneylerde kaplamalı numunelerin sürtünme katsayılarının birbirine yakın oldu u ve a nma oranlarının kaplamasız numunelere göre daha dü ük oldu u tespit edilmi tir. Yapılan sertlik ölçümlerinde elde edilen alüminyum oksit tabakasının tüm numunelerde yüzey sertli ini artırdı ı belirtilmi tir [21].

AA7075 ala ımına uygulanan e itli ısıl i lem yöntemlerinin mekanik özelliklerine etkisi ve korozyon direncine etkisi incelendi i bir çalı mada, korozyon deneyi ASTM G34 standartına uygun olarak yapılmı tir. Korozyon deneyleri sonucunda T6 ısıl i lemi uygulanmı numunenin korozyon seviyesi ED olarak tespit edilmi , T73 ısıl i lemi uygulanmı numunenin korozyon seviyesi P olarak belirlenmi tir. RRA ısıl i lemi uygulanmı numunenin korozyon seviyesi EA olarak belirlenmi , U-RRA-L i lemi uygulanmı numunede korozyon seviyesi EB olarak belirlenmi tir. U-RRA-H i lemi uygulanmı numunenin korozyon seviyesi EA olarak derecelendirilmi tir. Yapılan farklı ısıl i lem yöntemlerinde en yüksek çekme dayanımı U-RRA-H ve T6 yöntemlerinde elde edilmi tir ve elde edilen de erler sırasıyla 793 ve 760 MPa olarak ölçülmü tür. En dü ük çekme dayanımı T73 ısıl i lem yöntemiyle elde edilmi olup, 676 MPa olarak ölçülmü tür [23].

AA6061 ve AA6082 ala ımlarına uygulanan sert anodik oksidasyon i leminin sıcaklık, akım yo unlu u ve süre parametrelerinin de i tirilerek elde edilen 35 ± 5 μm kaplama kalınlı ındaki yüzeylerin a nma dayanımının belirlenmesi için yapılan bir çalı mada, farklı parametrelerle elde edilen kaplamalarda en yüksek yüzey sertli i elde edilen kaplamalarda en yüksek a nma dayanımının elde edildi i tespit edilmi tir. Yapılan bu çalı mada kaplamalı ve kaplamasız numunelere aynı artlarda a nma deneyleri uygulanmı ve deney sonuçları kar ıla tırıldı ında sert anodik oksidasyonun a nma dayanımını kaplamasız numunelere oranla 25-30 kat artırdı ı bildirilmi tir [28].

Yapılan di er bir çalı mada, 2024, 6082 ve 7075 alüminyum ala ım numunelerine farklı voltaj de erlerinde anodik oksidasyon i lemi uygulanmı ve bu voltaj de erlerinin etkileri incelenmi tir. Anodik oksidasyon i lemi 12 - 22 V de erlerinde, 180 g/l sülfürik asit zltisi içerisinde ve 25 dk süreyle yapılmı tir. Her üç ala ım numunesinde en yüksek kaplama kalınlı ı 18V de erinde elde edildi i belirtilmi tir. 7075 ve 2024 ala ımlarının 6082 ala ımına kıyasla voltaja ba lı olarak kaplama kalınlı ı de i imi daha az oldu u gözlemlenmi tir. Optimum seviyenin üzerindeki voltaj de erlerinde kaplama kalınlı ının azaldı ı tespit edilmi tir. Elde edilen numuneler ve kaplamasız numuneler a nma

dayanımları değerlendirilmiştir, 18V de erinde elde edilen Al_2O_3 tabakasında en yüksek aşınma dayanımının elde edildiği tespit edilmiştir. Anodik oksidasyon ile leminin yüzey sertliğini artırdığı bildirilmiştir. Ayrıca yapılan korozyon deneylerinde anodik oksidasyon sonrası yapılan tespit ile leminin korozyon direncini artırdığı, bu ile lemin yapılmadığı numunelerde korozyon direncinin ana malzeme ile aynı olduğu tespit edilmiştir [34].

Yapılan bir çalışmada AA 1050 alaımının farklı üretim yöntemleriyle elde edilen numunelerinin anodik oksidasyon ile leminin uygulanabilmesi ve artan voltaj değerlerinin (10 - 16V) yüzey özelliklerinin etkileri incelenmiştir. Artan voltaj değerleri ile kaplama kalınlığının arttığı ve en yüksek kaplama kalınlığının 16V de erinde elde edildiği bildirilmiştir. Yapılan EDS analizlerinin sonucunda anodik oksit tabakasının Al, O ve S elementlerinden oluştuğu tespit edilmiştir. Anodik oksidasyon ile lemi sonucunda yüzey pürüzlülüğünün arttığı belirtilmiştir [35].

Yapılan bir çalışmada 7475 alüminyum alaımına uygulanan anodik oksidasyon ile leminin, farklı yüklerde (600, 800, 1000 gr) sürtünme ve aşınma davranışları incelenmiştir. Uygulanan oksidasyon ile lemi 180 gr/l sülfürik asit konsantrasyonunda, banyo Al^{+3} konsantrasyonu 5-10 g/l, 20°C sıcaklıkta, 1,5 A/dm² akım yoğunluğunda ve 45 dk sürede gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada aşınma yolları, yüzey sertlikleri ve yüzeydeki kalıntı gerilmeleri incelenmiştir, oluşan oksit tabakasının yüzey sertliğini artırması ile aşınma dayanımının arttığı tespit edilmiştir. Anodik oksidasyon sonrası sürtünme katsayısının düştüğü bununla beraber aşınma dayanımının iyileştiği tespit edilmiştir. Kaplamasız numune yüzeyinde yapılan aşınma deneyinde adhezif aşınma ve yüzeyden parça kopmaları neticesinde abrasif aşınma görülürken, anodik oksidasyon ile lemi uygulanmış numunede ise abrazyon aşınma tespit edilmiştir. Aşınma dayanımının artmasında yüzey sertliğinin en önemli unsur olduğu bildirilmiştir [52].

Yapılan bir çalışmada 7xxx serisi alaımlarda ara yüzey olgusu ve bunun anodik oksidasyon üzerindeki etkisi incelenmiştir. Anodik oksidasyon ara yüzeyde geliştiğinden 7xxx serisi alaımların metalürjisi incelenmiştir. Yapılan bu incelemeler ile oksidasyonun gelişmesini ve büyümesini etkileyen olgular belirtilmiştir. Ana malzeme ve ana malzeme ile metalürjik olarak bütünleşmiş oksit kaplama arasındaki kabarcıklanma ve katmanlara ayrılmanın anlaşılması için 7xxx serisi alaımların ana bileşen elementleri olan bakır ve özellikle çinkonun ara yüzey süreksizliklerinin dikkate alınması gerektiği bildirilmiştir. Çünkü bu alaım elementleri anodizasyon ile lemine karşı ara yüzey direncini artırmaktadırlar. Temel alaım elementlerinden olan magnezyumun oksidasyon potansiyeli

alüminyumdan dü üktür ve bu nedenle anodizasyon esnasında oksitlenmektedir. Bakır ise metalik iyon olarak sülfürik asit ve fosforik asidin korozif etkisine kar ı dirençlidir ve bu nedenle sülfürik asitle tepkime vermemektedir ve çinkodan daha küçük atom yarıçapı oldu undan oksit yapısı içinde daha hızlı yayınma göstermektedir. Çinko 7xxx serisi alüminyum ala ımlarının karakterize eden ala ım elementidir, kararsızlı ı yükseltmekte ve ara yüzeylerin katmanlara ayrılması riskini artırmaktadır. Çinko sülfürik asitle reaksiyona girer ve yüksek miktarda H₂ gazı aç ı a çıkmaktadır. Aç ı a çıkan bu gazlar kaplamanın çatlamasına, katmanlara ayrılmasına ve ara yüzey düzensizli ine neden olmaktadır. Bu sebeple yüksek çinko oranlı ve di er elementlerce dü ük ala ımların ara yüzey difüzyonu daha yüksektir ve bu yüksek difüzyonun ara yüzey hatalarına sebep oldu u tespit edilmi tir [54].

2xxx ve 7xxx serisi alüminyum ala ımlarının pullanma korozyon deneyi ASTM G34 standartlarında belirtildi i gibi yapılmaktadır. Bu test yöntemi 2xxx ve 7xxx serisi alüminyum ala ımları için hızlandırılm ı pullanarak dökülme (exfoliation) korozyon testi uygulaması amaçlıdır. Test için hazırlanan çözelti 25±3°C de 1 l saf suda, 4M NaCl, 0,5M KNO₃, 0,1M HNO₃ ün çözülmesi ile sa lanmaktadır. Hazırlanan numuneler çözeltiliye daldırılır ve 2xxx serisi ala ımlar 96 saat, 7xxx serisi ala ımlar 48 saat bekletilerek gerekli incelemeler yapılmaktadır. Test sonlandı nda herhangi bir i lem yapılmaksızın yüzeyler incelenir ve korozyon yoksa N, pitting korozyon varsa P, pul pul dökülme gözleniyorsa EA dan ED ye kadar belirtilen kodlar görsel derecelendirmelerde kullanılmaktadır. De erlendirmelerin sonrasında suyla yıkanan ve hava akımıyla kurutulan test numunelerinin yüzeylerinden korozyon kalıntıları uzakla tırılarak a ırlık kayıpları ölçülmektedir. 48 saatlik pullanma korozyon testine maruz bırakılm ı bir 7xxx serisi alüminyum ala ımı EA veya P kodlarıyla derecelendirildiyse deniz kıyısı atmosferinde 6 ile 9 yıl arasında yeni ba layan tipte pullanma korozyonuna maruz kalaca ı, EC ve ED kodu ile derecelendirilmi ise deniz kıyısı atmosferinde 1 yıl içerisinde iddetli pullanma korozyonuna maruz kalaca ı öngörülmektedir. Korozyona u rayan yüzeylerin detaylı olarak incelenmesi optik mikroskop veya SEM görüntülerinin alınmasıyla incelenmektedir [55].

Anodik oksidasyonun borik asit ve sülfürik asit kar ımında gerçekleştirildi i bir çalı mada 15 V sabit voltajda ve farklı sürelerde (10 - 120 dk) alüminyuma anodik oksidasyon i lemi uygulanm ıdır. Anodik oksidasyon i lemi sırasında elektrotların polarizasyon dirençleri ölçülüp kaplanmam ı alüminyumla kar ıla tırılm ıdır, en yüksek direnç 30 dk kaplama süresinde ölçülmü ve en uygun kaplama süresi olarak 30 dk oldu u

belirtildi. Aynı çalı mada anodik oksidasyon i lemi farklı sıcaklıklar altında (22, 30, 40 ve 50°C'de) uygulanmı , 30 dk süre için en iyi polarizasyon direncini 22°C' de elde edilen kaplamanın verdi i tespit edildi. Belirlenen en uygun i lem parametreleri elde edilen numuneler ile kaplamasız numunelerin korozyon davranı ları %3.5 NaCl çözeltisi içerisinde 30 gün boyunca incelenmi ve a ırlık kayıpları belirlenmi tir. Belirlenen parametrelerle alüminyum yüzeyinde elde edilen alüminyum oksit tabakasının kaplamasız numunelere kıyasla üstün korozyon dayanımı gösterdi i bildirildi [56].

Yapılan bir çalı mada birçok endüstride geni bir kullanım alanı bulan AA7075-T6 alüminyum ala ımının sert anodik oksidasyon i lemi do ru akım (DC), multistep do ru akım (MSDC) ve dalgalı akım (PC) ile gerçekleştirilip sonuçları kar ıla tırıldı. Anodik oksidasyon i leminde kullanılan parametreler; 190 g/l sülfürik asit banyosu, banyo Al³⁺ konsantrasyonu 5-8 g/l, 40V gerilim de erinde, -5, -2 ve 0°C sıcaklıklarında gerçekleştirildi. Akım yo unlu u olarak DC'de 24 mA/cm², MSDC'de 15 ve 18 mA/cm² final adımı olarak 24 mA/cm² de erleri kullanıldı ve 95, 97, 100, 104 ve 100 dk sürelerle kaplama i lemi yapıldı. Yapılan deneyler sonucunda, DC ve MSDC yöntemleriyle yapılan sert anodizasyonun benzer oldu u, yaklaşık 230 – 290 HV sertli inde 80-84µm kaplama kalınlı ı elde edildi. Bu kaplamalar incelendi inde bazı intermetalik fazlar içerdikleri ve yapı ma dirençlerinin dü ük oldu u tespit edildi. PC yöntemiyle yapılan anodizasyon sonucunda 79-83µm kaplama kalınlı ı ve 360-420 HV arasında sertlik de erleri elde edildi. Kaplama incelendi inde intermetalik faz içermeyen, yapı ma direnci yüksek ve yapı ma ara yüzeyi kusurlulu unun di er yöntemlere göre oldukça dü ük oldu u tespit edildi [57].

Yapılan bir çalı mada alüminyum ala ımlarında kaynak i lemiyle olu an korozyon hassasiyetini dü ürmek amacıyla do al ve suni ya landırma i lemleri uygulanmı numunelere ASTM-G34 standartlarında gerçekleştirilen korozyon deneyleri sonucunda ya landırma i leminin hem mekanik hem de korozyon direncini artırdı ı tespit edildi. Yapılan korozyon deneylerinde do al ya landırma sonrası ED ile derecelendirilen numuneler, suni ya landırma i lemi sonunda EA ile derecelendirilmi lerdir. Ya landırma i leminin 7xxx serisi ala ımlarda korozyon direncini artırdı ı bildirildi [58].

Yapılan literatür ara tırmaları ı ında hafif silah gövdesi üretiminde kullanılan AA7075-T6 ala ımlarında yüzey özelliklerini geli tirmek amacıyla optimum özelliklere sahip anodik oksidasyon parametreleri ara tırılarak, deneysel çalı maları yapılacak ve incelenen kaplama parametrelerinin özellikleri birbirleri ile kar ıla tırılacaktır.

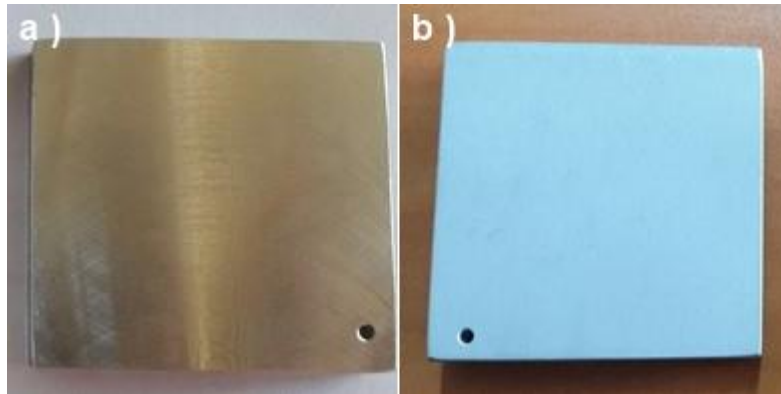
2. DENEYSEL ÇALI MALAR

Bu çalı mada silah gövdesi imalatında ve savunma sanayisinde geni kullanım alanı bulunan so uk dövülmü AA7075-T6 ala ımına uygulanan anodik oksidasyon i lem parametrelerinin oksit tabakasının a ınma ve korozyon direncini arttıracak en uygun kaplama parametreleri belirlenmeye çalı ılmı tır. Kapsama parametrelerinin kar ıla tırılmalı incelenebilmesi için Taguchi deney tasarım yöntemi kullanılarak, numunelerin belirlenen yöntem ile kaplama i lemleri ve inceleme çalı maları yapılmı tır.

2.1. Deney Malzemesi

Bu çalı mada ticari olarak silah gövde imalatı amaçlı üretilmi olan so uk dövülmü AA7075-T6 alüminyum ala ımı tedarik edilmi tır. Satın alma yoluyla tedarik edilen AA7075-T6 ala ımı anodik oksidasyon i lemi öncesi istenilen boyutlara (a ınma deneyi için 50x50x10 mm³ ve korozyon deneyi için 25x25x10 mm³) getirilerek deney numuneleri elde edilmi tır.

stenilen boyutlara getirilmi numuneler anodik oksidasyon i lemi öncesi numune yüzeyinin uygulamadaki artlarla e itlenmesini (aynı yüzey artlarının sa lanması) için zımparalanmı ve daha sonra parçacık büyüklü ü 120 µm olan Al₂O₃ parçalar ile kumlanmı tır. Söz konusu deney numunelerinin görünümü ekil 19'da verilmi tır.



ekil 19. Anodik oksidasyon öncesi hazırlanmı numuneler,
a) Zımparalanmı , b) Kumlanmı yüzey görüntüsü

2.2. Kaplama Parametrelerinin Belirlenmesi

Bu çalı mada kullanılan deney parametreleri yapılan literatür ara tırmaları ve ön deneyler neticesinde belirlenmi tir. Yapılan literatür ara tırmaları sonucunda, anodik oksidasyon i lemini etkileyen gerilim ve banyo konsantrasyonu de erlerinin oksit tabakasının fiziksel özelliklerine etkileri ayrıntılı bir ekilde incelenmi durumdadır [14,21,26-48]. Yapılan de erlendirmeler sonucunda, numunelerin anodik oksidasyon i lemi, gerilim (volt) ve banyo konsantrasyonu sabit tutulup akım, sıcaklık ve i lem süresi de i ken olarak belirlenmi tir. Yapılan ara tırmalar ve mevcut i lem parametrelerinin incelenmesi neticesinde, silah gövde malzemesi olarak kullanılan AA7075-T6 ala ımına uygulanan anodik oksidasyon proses parametrelerinin; 180g/l H₂SO₄ banyosunda, 22V gerilim de erinde, 1,2A/dm² akım yo unlu unda olmak üzere 0°C ile +2°C sıcaklık aralı ında sabit tutularak 180dk süre ile oksitlenerek uygulanmakta oldu u belirlenmi tir.

Bu çalı mada kullanılan AA7075-T6 ala ımlarının anodik oksidasyonu i lemi için belirlenen kaplama parametreleri Tablo 11’de verilmi tir.

Tablo 11. Anodik oksidasyon i lemi için belirlenen kaplama parametreleri

Deney Malzemesi	Proses Parametreleri	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
AA7075-T6	Akım	A/dm ²	0,9	1,1	1,3	1,5
	Sıcaklık	°C	-2	0	2	4
	Süre	dk	140	170	190	210

2.2.1. Kaplama lemleri için Deney Tasarımı

Bu çalı mada incelenen AA7075-T6 ala ımının uygulanan anodik oksidasyon i lemi ile elde edilecek kaplamaların mekanik özellikleri, i lem parametrelerine ba lı olarak incelenecektir. Bu parametreler; akım, sıcaklık ve oksidasyon süresidir. lem parametreleri anodik oksidasyon i lemi boyunca birbirleriyle etkile im halindedirler ve her bir parametrenin kaplama üzerinde kendine özgü bir etkisi bulunaca ı ön görülmektedir. Yapılacak deney tasarımında en iyi yüzey artlarını belirleyebilmek, toplam deney sayısını azaltmak ve parametrelerin etkinli inin e zamanlı olarak inceleyebilmek amaçlanmı tir.

Geleneksel deney tasarım yöntemleri yüksek maliyet, zaman ve kaynak gerektirmektedir. Örneğin 3 parametrelilik ve 4 seviyeli deneyde geleneksel yöntemle yapıldığında $4^3=64$ farklı deney yapılması gerekmektedir. Bu da çok fazla zaman kaybı ve maliyetin artması anlamına gelmektedir. Söz konusu süre, zaman ve sonuçların irdelenmesi açısından oluşan kayıplar ve yüksek maliyetler istatistiksel deney tasarım yöntemleri ile giderilebilmektedir. Taguchi deney tasarım yöntemi farklı parametrelerin farklı seviyeleri arasında bağlantı kurularak istenilen sonuçlara daha az sayıda deney ile erişilmesini mümkün kılmaktadır. Bu amaçla geliştirilmiş olan Taguchi deney tasarım yöntemiyle 3 parametrelilik ve 4 seviyeli bir çalışmanın 16 deney ile gerçekleştirilebilmesi mümkün olmaktadır. Tüm bu sebeplerle tasarlanan bu çalışmada gerçekleştirilecek deneyler Taguchi metodu kullanılarak planlanmıştır. Tablo 12’de ortogonal dizi seçim tablosu verilmiştir.

Tablo 12. Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu [59].

		Seviye Sayısı						
		2	3	4	5			
Parametre Sayısı	P = 2, S = 2	L4	P = 2, S = 3	L9	P = 2, S = 4	L'16	P = 2, S = 5	L25
	P = 3, S = 2		P = 3, S = 3		P = 3, S = 4		P = 3, S = 5	
	P = 4, S = 2	L8	P = 4, S = 3	L18	P = 4, S = 4	L'32	P = 4, S = 5	L50
	P = 5, S = 2		P = 5, S = 3		P = 5, S = 4		P = 5, S = 5	
	P = 6, S = 2	L11	P = 6, S = 3	L27	P = 6, S = 4	L'32	P = 6, S = 5	L50
	P = 7, S = 2		P = 7, S = 3		P = 7, S = 4		P = 7, S = 5	
	P = 8, S = 2	L16	P = 8, S = 3	L36	P = 8, S = 4	L'32	P = 8, S = 5	L50
	P = 9, S = 2		P = 9, S = 3		P = 9, S = 4		P = 9, S = 5	
	P = 10, S = 2	L11	P = 10, S = 3	L27	P = 10, S = 4	L'32	P = 10, S = 5	L50
	P = 11, S = 2		P = 11, S = 3				P = 11, S = 5	
	P = 12, S = 2	L16	P = 12, S = 3	L36		L'32	P = 12, S = 5	L50
	P = 13, S = 2		P = 13, S = 3					
	P = 14, S = 2	L32	P = 14, S = 3	L36		L'32		L50
	P = 15, S = 2		P = 15, S = 3					
	P = 16, S = 2	L32	P = 16, S = 3	L36		L'32		L50
	P = 17, S = 2		P = 17, S = 3					
	P = 18, S = 2	L32	P = 18, S = 3	L36		L'32		L50
	P = 19, S = 2		P = 19, S = 3					
	P = 20, S = 2	L32	P = 20, S = 3	L36		L'32		L50
	P = 21, S = 2		P = 21, S = 3					
	P = 22, S = 2	L32	P = 22, S = 3	L36		L'32		L50
	P = 23, S = 2		P = 23, S = 3					
	P = 24, S = 2	L32		L36		L'32		L50
	P = 25, S = 2							
	P = 26, S = 2	L32		L36		L'32		L50
	P = 27, S = 2							
	P = 28, S = 2	L32		L36		L'32		L50
	P = 29, S = 2							
	P = 30, S = 2	L32		L36		L'32		L50
	P = 31, S = 2							

Taguchi yöntemi, parametre tasarımı, sistem tasarımı ve tolerans tasarımı basamaklarından oluşmaktadır. Sistem tasarımında eldeki tüm veriler değerlendirilir ve en az maliyetle istenilen sonuçların elde edilmesi için sisteme uygulanabilirliği araştırılır. Parametre tasarımı da parametre ve seviyede uygun olan ortogonal diziler belirlenir. Bu da yapılacak deney sayısını belirlemede kullanılmaktadır. Tolerans tasarımı ise istenilen sonuçlara ulaşılmadığı takdirde ilave olarak yapılacak çalışmaların belirlenmesidir. Tablo 13’de L16 dizisi ve bu diziye uygun 4 farklı parametrenin 4 farklı seviyesinin yerleşim planı verilmiştir.

Tablo 13. L₁₆ Ortogonal dizi ve parametrelerin yerleşimi [60].

Kaplama Sırası	PARAMETRELER			
	A	B	C	D
N1	1	1	1	1
N2	1	2	2	2
N3	1	3	3	3
N4	1	4	4	4
N5	2	1	2	3
N6	2	2	1	4
N7	2	3	4	1
N8	2	4	3	2
N9	3	1	3	4
N10	3	2	4	3
N11	3	3	1	2
N12	3	4	2	1
N13	4	1	4	2
N14	4	2	3	1
N15	4	3	2	4
N16	4	4	1	3

2.2.1.1. Ortogonal Dizi ve Parametrelerin Seçilmesi

Anodik oksidasyon işleminde kaplamaya etki eden parametreler akım, sıcaklık, süre, gerilim, elektrolit konsantrasyonu, elektrolit türü ve ana malzemedir. Bu çalışmada da ilk olarak belirlenen akım, sıcaklık, süre parametrelerinin her biri için 4 farklı seviye belirlenmiştir. Tablo 14’ten bu çalışmada uygulanacak proses parametrelerinin tanımlanması görülebilir.

Tablo 14. Proses parametreleri ve tanımlanması

Malzeme	Sembol	Proses Parametreleri	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
AA7075-T6	A	Akım	A/dm ²	0,9	1,1	1,3	1,5
	B	Sıcaklık	°C	-2	0	2	4
	C	Süre	dk	140	170	190	210

Proses parametrelerinin de i imine uygun olarak ortogonal dizilerin seçiminde di er bir yöntem de serbestlik derecelerine göre uygun dizi belirlemedir. Serbestlik derecesi, hangi seviyenin daha do ru sonuç verece ini belirlemek amacıyla parametreler arasında yapılan bir kar ıla tırmadır. Her parametrenin serbestlik derecesi seviye sayısının bir eksi i olarak alınmaktadır [61]. Bu çalı mada serbestlik derecesine göre hesaplama yapılp, ortogonal dizi seçim tablosuyla da kar ıla tırılması yapılmı tır. Bu çalı ma için toplam serbestlik derecesi Tablo 15'deki gibi hesaplanmı tır.

Tablo 15. Toplam serbestlik derecesi

Faktör	Serbetlik Derecesi
A	$V_A = K_A - 1 = 4 - 1 = 3$
B	$V_B = K_B - 1 = 4 - 1 = 3$
C	$V_C = K_C - 1 = 4 - 1 = 3$
Toplam Serbestlik Derecesi = 9	

Bulunan toplam serbestlik derecesi, seçilecek ortogonal dizinin deney sayısının 1 adet eksi i olmalıdır. Bu durumda seçilecek en küçük ortogonal dizi L16 (4³) ortogonal dizisidir. Bulunan bu sonuç aynı zamanda Tablo 12'de verilen ortogonal dizi seçim tablosuyla da örtü mektedir [59-61].

Taguchi deney tasarımı basamaklarının sırası ile takip edilmesi amacıyla deneyler sırasında incelenecek parametre ve seviyeleri birlikte ortogonal dizi belirlendikten sonra yapılacak deneylerin planlaması a masına geçilmektedir.

2.2.1.2. Parametre ve Seviyelerinin Tabloya Yerle tirilmesi

On altı deneyli Taguchi L16 dizisi, bu çalı ma için belirlenen deney tasarımıdır. Tablo 16’de, Taguchi L16 deney tasarımı için kullanılacak parametre ve seviyelerinin planlaması verilmi tir.

Tablo 16. L₁₆ Ortogonal dizisi deneysel tasarım planı

Numune Kodu	Akım	Sıcaklık	Süre
N1	1	1	1
N2	1	2	2
N3	1	3	3
N4	1	4	4
N5	2	1	2
N6	2	2	1
N7	2	3	4
N8	2	4	3
N9	3	1	3
N10	3	2	4
N11	3	3	1
N12	3	4	2
N13	4	1	4
N14	4	2	3
N15	4	3	2
N16	4	4	1

Yapılan bu çalı mada 3 faktör ve 4 seviye oldu undan L16 dizisi kullanılmı tir. Geleneksel yöntem uygulanırsa 64 adet deney yapmak gerekmektedir. Taguchi ortagonal dizisi kullanılarak 16 adet deney ile kaplamalar gerçekte tirilmi tir. Bu da bize zaman ve maliyet açısından kazanç sa lamaktadır. Tablo 16’de deney parametrelerinin ve seviye de erlerinin L16 ortagonal dizisine yerle imi verilmi tir. Bu tabloya göre deney parametrelerinin yerle imi Tablo 17’de verilmi tir. Bu çalı mada kullanılan numunelere bu tabloya uygun olarak anodik oksidasyon i lemi gerçekte tirilmi tir.

Tablo 17. Deney parametrelerin L16 ortogonal dizisine yerleşimi

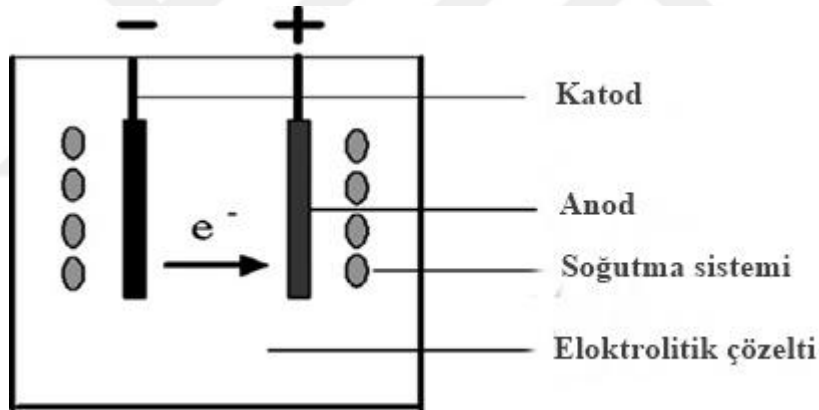
	Akım (A/dm ²)	Sıcaklık (°C)	Süre (dk)
Numune Kodu	A	B	C
N1	0,9	-2	140
N2	0,9	0	170
N3	0,9	2	190
N4	0,9	4	210
N5	1,1	-2	170
N6	1,1	0	140
N7	1,1	2	210
N8	1,1	4	190
N9	1,3	-2	190
N10	1,3	0	210
N11	1,3	2	140
N12	1,3	4	170
N13	1,5	-2	210
N14	1,5	0	190
N15	1,5	2	170
N16	1,5	4	140

2.2.1.3. Sonuçların Analizi

Taguchi deney tasarımı yöntemiyle elde edilen ortogonal diziye göre üretilen alüminyum oksit tabakaların mekanik özelliklerini belirlemek için yapılacak deneylerin ardından elde edilecek bulguların 11'inde işlem parametrelerinin etkileşimi ve performansını etkileyen faktörlerin bulunması için varyans analizi yapılmıştır [61]. Varyans analizi (Analysis of Variance: ANOVA) test edilen parça gruplarının performansları arasındaki farklılığı göstermektedir. Bu çalışmada yapılan anova analizleri Minitab 17 programı ile yapılmıştır.

2.3. Numunelerin Oksidasyon İlemi

Numuneler anodik oksidasyon işlemi öncesi yağ alma, de lama ve nötralizasyon işlemlerinden geçirilerek yüzeyleri kir-oksit gibi artıklardan temizlenir. Yağ alma işleminde su esaslı eriyikler ile hazırlanan 60-70°C sıcaklığındaki banyoda 10 dk işlem süresinde yüzeylerinde kalan yağlar giderilip, durulama işlemi yapılır. Bunun ardından 40-50°C sıcaklığındaki % 4 NaOH (sodyum hidroksit) banyosunda 4 dk işlem süresinde de lama ve sonrasında durulama işlemi yapılır. Daha sonra numuneler yüzeylerinde de lama sonucu oluşan siyah lekeler ve çözünmeden kalan oksit kalıntılarının giderilmesi için 5 dk işlem süresinde %20 nitrik asit (HNO₃) banyosunda nötralizasyon (temizleme) işlemine tabi tutularak tekrar durulama işlemi yapılır. Yapılan bu ön işlemler ile numuneler kaplamaya hazır hale getirilir ve ekil 20’de matik görünümü verilen anodik oksidasyon işlemi ile gerçekleştirilir.



ekil 20. Anodik oksidasyon işlemi matik görünümü [57].

Hazırlanan numunelere sabit gerilim altında Tablo 17’de belirtilen artlarda anodik oksidasyon işlemi uygulanır. Anodik oksidasyon işleminin ardından numunelere hafif silah gövdelerinde istenilen siyah renk ile renklendirme işlemi 15 dk işlem süresinde uygulanır. Anodik oksidasyon işleminde ilk olarak oluşan bariyer oksit tabaka maksimum kalınlığı ulaştıktan sonra ısı ve elektrolit etkisiyle zayıf olan bölgelerinden aşınmaya başlamaktadır. Aşınan bölge etrafında artan kalınlık ile birlikte kanallar ve boşluklar oluşmaktadır. Bu bölgelerden elektrik akımının geçmesiyle birlikte iyonlar bu boşluklardan hareket ederek gözenekli yapıyı oluşturmakta ve poröz oksit tabakası bu boşlukların etrafında büyümektedir [29,34,35]. Numunelerin yüzeylerinde oluşan bu gözenekler anodik oksit tabakanın ve ana

malzemenin korozif etkilere maruz kalmasına ve korozyon etkisinin kaplamanın altına i lemesine sebep olmaktadır. Bu sebeple olu an bu gözeneklerin (porların) kapatılması ve bu sayede korozyon direncinin artırılması amacıyla 96°C deki deiyonize suya daldırılıp 10-15 dk süre bekletilerek tespit i lemi uygulanır. Yapılan bu i lemler ile alüminyum oksit tabakası elde edilmiştir. ekil 21'de anodik oksidasyon i leminin gerçekleştirildi i banyoların genel görünümü verilmiştir.



ekil 21. Anodik oksidasyon i lemi banyoları genel görünümü

2.4. Numunelerin Mikroyapı ncelemeleri

Kaplama öncesi ana malzemenin metalografik olarak incelenmesi için numunelerden alınan parçaların bakalite alınıp, metalografik ön hazırlık i lemlerinin yapılması ve yüzeyin da lanması sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu çalı mada kullanılan da layıcı bile im oranları; 2 ml HF + 2 ml HCl + 5 ml HNO₃ + 190 ml H₂O eklindedir. Da lanan numuneler optik mikroskopta farklı büyütme oranlarında incelenmiştir. Anodik oksidasyon i lemi uygulanmış numunelerin yüzey morfolojisi ve mikroyapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Kaplamalı ve kaplamasız numunelerin pürüzlülük de erleri ise optik profilometre ile belirlenmiştir.

2.5. Kaplama Kalınlı ı Ölçümü

Anodik oksidasyon i leminde her bir parametrenin kaplama kalınlı ı üzerinde etkisi farklıdır. Anodik oksidasyon süresinin artması ile daha yüksek kaplama kalınlıkları, artan akım yo unlu u ile artan kaplama kalınlı ı etkileri görülmektedir. Fakat bazı uygulamalarda

yüzeyden çözünen Al^{+3} iyon miktarı olan oksit tabakasından daha fazla ise kaplama kalınlıklarında azalma görülmektedir. Bu sebeple her bir kaplama kalınlığı uygulanan artılara göre farklılık göstermektedir. Taguchi deney tasarımı ile belirlenen anodik oksidasyon artılarında elde edilen kaplamaların kalınlıklarının ölçümü her numuneden kesit alınıp, alınan kesitlerin bakelite alınması ve metalografik hazırlanması işlemlerinin ardından optik mikroskopta 200X büyütme koşullarında gerçekleştirilmiştir. Kaplama kalınlığı ölçümü her numune üzerinden 3 farklı bölgeden ölçüm yapıp, bu 3 ölçümün ortalaması alınarak belirlenmiştir.

AA1050 alaşımına anodik oksidasyon işlemi uygulanabilirliği ve uygulanan farklı voltaj değerlerinin kaplama üzerindeki etkisinin incelenmesi yapılan çalışmada, farklı voltaj değerlerinde yapılan anodik oksidasyon işlemi sonucu elde edilen farklı kaplama kalınlıkları hem optik mikroskop hem de taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Yapılan incelemeler neticesinde her iki mikroskop görüntülerine göre kaplama kalınlıklarının birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir [35].

2.6. Sertlik Ölçümü

Kaplamasız numunelerin ve anodik oksidasyon işlemi uygulanmış numunelerin ortalama mikro sertlik değerleri, kesit yüzeylerinin 25 g yük altında 10 s bekleme süresinde 5 adet ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiştir. Kaplamaların sertlikleri bu 5 değerlerin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Kaplamanın sertliğinin artması aşınma davranışını da geliştirdiği bilindiğinden, sertlik ölçümleri aşınma deneyleri ile paralel olarak yürütülmüştür.

2.7. Aşınma Deneyi

Anodik oksidasyon işlemi uygulanmış ve ana malzeme numunelerinin tribolojik özelliklerini belirlemek amacıyla, ekil 22'de genel görünümü ve ekil 23'de ayrıntılı görünümü verilen DUCOM marka bilgisayar kontrollü ball-on disk aşınma test cihazı kullanılmıştır. Aşınma deney parametreleri belirlenirken literatür araştırmaları ve hafif silah gövdesinin çalışmaları göz önünde bulundurulmuştur. Deney yükü hafif silah gövdesi üzerine gelen ve ortalama 500 g ağırlığındaki kapak kompleksi ağırlığını temsil edecek şekilde ünlü 5N değerindeki noktasal yük (Hertz yüzey basıncı $P_{max} \sim 632$ MPa), çevrim sayısı ise silahın ihale satın alma şartnamelerinde aranan 5.000 atım mukavemet testlerinde

istenilen tekrarın iki katı fazla çevrimde elde edilebilmesi adına 10.000 çevrim sayısı olarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan parametreler Tablo 18’de verilmiştir. Deney sonrasında aşınma hacim kayıpları optik profilometre kullanılarak elde edilmiştir.

Aşınma deneyleri sonucunda numunelerin aşınma yüzeylerinde meydana gelen değişimler ve oluşan aşınma mekanizmaları taramalı elektron mikroskopunda (SEM) alınan görüntüler ile belirlenmiştir.



Resim 22. Ball-on-disk tipi sürtünme ve aşınma deney düzeni



Resim 23. Sürtünme aşınma deney düzeninin ayrıntılı görünümü

Tablo 18. A ınma deney parametreleri

Parametreler	
A ınma z Çapı	19 mm
Uygulanan Yük	5 N
A ındırıcı Bilye	Al ₂ O ₃
A ındırıcı Bilye Çapı	6,35 mm
Çevrim Hızı	300 devir/dakika
Çevrim Sayısı	10000 çevrim
Alınan Yol	597 metre
Test Ortamı	Atmosfer
Ortamın Ba ıl Nemi	%55-65
Ortamın Sıcaklı ı	20-24 °C

2.8. Korozyon Deneyi

Korozyon deneyi ASTM G34-01 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem 2xxx ve 7xxx serisi alüminyum alaşımlarının hazırlanan çözelti içinde belirlenen sürelerde bekletilmesinin ardından numune yüzeyinde oluşan oyuk-çukur (pitting) korozyonu ve pullanma (exfoliation) korozyonu etkileri belirlenmektedir.

Kaplamasız ve anodik oksidasyon işlemi uygulanmış numuneler aralarında herhangi bir fark veya etkileşim olmaması için tek seferde hazırlanmış çözelti içine, ayrı kaplarda eşit miktarda ve konsantrasyondaki (25 ml/cm²) çözeltiye daldırılmıştır. Çözelti, 4 M NaCl, 0,5 M KNO₃, 0,1 M HNO₃ bileşiminden oluşmaktadır. Çözeltinin seyreltilmesi için saf su kullanılmıştır ve deney 25±3°C'de sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. 234 gram NaCl ve 50 gram KNO₃ saf suda çözündürülmüş, içine 6,3 ml HNO₃ ilave edilmiştir. Daha sonra bu karışım 1 litre hacme saf suyla seyreltilmiştir.

ASTM G34-01 standardında ifade edildiği gibi 7xxx serisi alüminyum alaşımları için 48 saat olarak belirtilen deney süresi boyunca hazırlanan numuneler çözeltide bekletilmiş ve deney süresi boyunca periyodik olarak kontrol edilmiştir. Test öncesi ve test sonrası numuneler hassas terazi ile tartılıp ağırlık kayıpları hesaplanmıştır. Numunelerdeki korozyon iddetinin belirlenmesi amacıyla numuneleri çözeltiden çıkarıp kurutma veya temizleme işlemi yapılmadan direk olarak değerlendirilmiştir. Ağırlık kaybının

ölçülmesi için numunelerin yüzeylerinden, son tartım öncesi kısa tüylü sert plastik bir fırça yardımı ile yüzeye yapı ık korozyon ürünleri uzakla tırılmı tır. Daha sonra numune alkolle yıkanıp havayla kurutularak tartılmı tır.

ASTM G34-01 standardında ifade edildi i gibi, korozyon deneyi sonucunda malzemede korozyon etkisi yoksa N, pitting korozyon etkisi küçük çukurcuklar veya kabarmalar varsa P, pullanma korozyon etkisi kabarmalar, derin çukurlar, aynı yönlü eritlenmeler gözleniyorsa en dü ük seviyede derecesi olan EA' dan ba layıp sırasıyla EB, EC ve ED' ye kadar belirtilen kodlar görsel derecelendirmeler kullanılmaktadır. 48 saatlik pullanma korozyon testine maruz bırakılmı bir deney numunesi EA veya P kodlarıyla derecelendirildiyse deniz kıyısı atmosferinde 6 ile 9 yıl arasında yeni ba layan tipte pullanma korozyonuna maruz kalaca ı, ED kodu ile derecelendirilmi ise deniz kıyısı atmosferinde 1 yıl içerisinde iddetli pullanma korozyonuna maruz kalaca ı öngörülmektedir [55].

Korozyona deneyleri sonunda numunelerin yüzeylerinde meydana gelen de i imler taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmi tır.

3. BULGULAR VE RDELEME

3.1. Ana Malzemenin Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi

Silah gövdesi üretiminde kullanılan dövme yöntemiyle üretilmiş AA7075-T6 alaımının tedarik edildiği firmadan elde edilen spektral analiz sonuçları ve sertlik ölçümleri Tablo 19’da verilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan ana malzemenin kimyasal analiz ve sertlik değerleri tedarikçi firmanın sağladığı değerlerin kontrolü amacıyla tekrar gerekli ölçümler G R-SAN Hafif Silah Sanayi Kalite Kontrol Laboratuvarında bulunan kalibre edilmiş cihazlar kullanılarak tekrar edilmiştir. Gerçekleştirilen analiz ölçümlerinden, AA7075-T6 alaımından alınan numunenin farklı bölgesine spektral analiz yöntemi uygulanıp, elde edilen sonuçların ortalama değerleri belirlenmiştir. Alaımın kimyasal bileşen analizi Tablo 20’de verilmiştir. Gerçekleştirilen karışılma tırılmada elde edilmiş olan analiz değerlerinin birbirleriyle uyumlu oldukları görülmüştür. Ayrıca AA7075 alüminyum alaımının kimyasal analizinin yapılan literatür araştırmaları neticesinde standartlara uygun olduğu tespit edilmiştir [5,6,17,23].

Sertlik ölçümü numunenin farklı bölgesinden yapılmış ve yapılan sertlik ölçümleri neticesinde alaımın ortalama sertlik değerinin $159 \pm 2HV0,025/10$ olarak belirlenmiştir. Alaımdan ölçülen sertlik değerinin tedarikçi firmanın beyan ettiği $160-165 HV$ sertlik değerine göre kabul edilebilir değerde olduğu belirlenmiştir.

AA7075-T6 alaımlarının mikro yapısına ilişkin sıcaklık etkisinin incelendiği bir çalışmada kullanılan alaımın ham sertlik değerinin $150-155 HV$ aralığında belirlenmiş olduğu ve belirlenen bu değerlerin bu çalışmada kullanılan alaımda tespit edilen sertlik değerileri ile kabul edilebilir değerde olduğu belirtilmiştir [20].

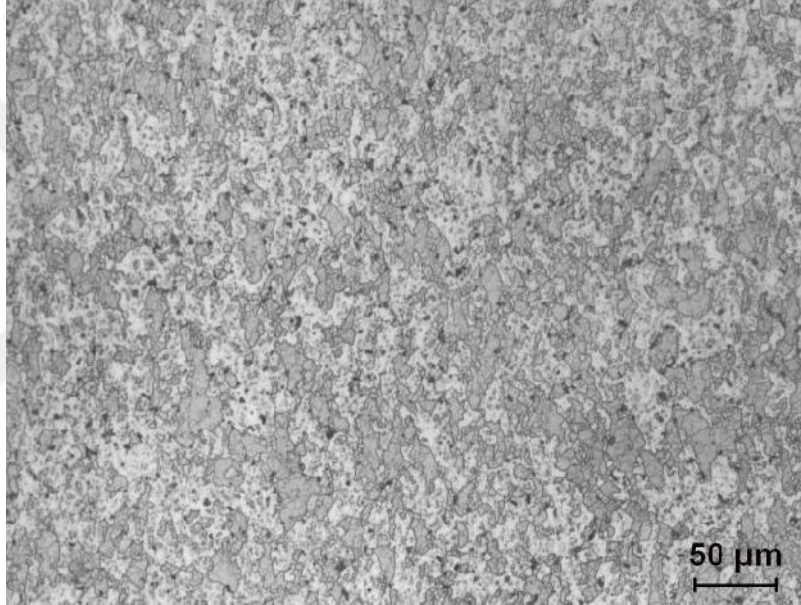
Tablo 19. Tedarikçi firmanın spektral analiz sonucu

	Element	Al	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Cr	Ti
AA7075-T6	Teorik D.	% kalan	5,1-6,1	2,1-2,9	1,2-2,0	max. 0,5	max. 0,4	0,18-0,28	max. 0,2
	% A .	90,084	5,59	2,21	1,3	0,251	0,311	0,212	0,042

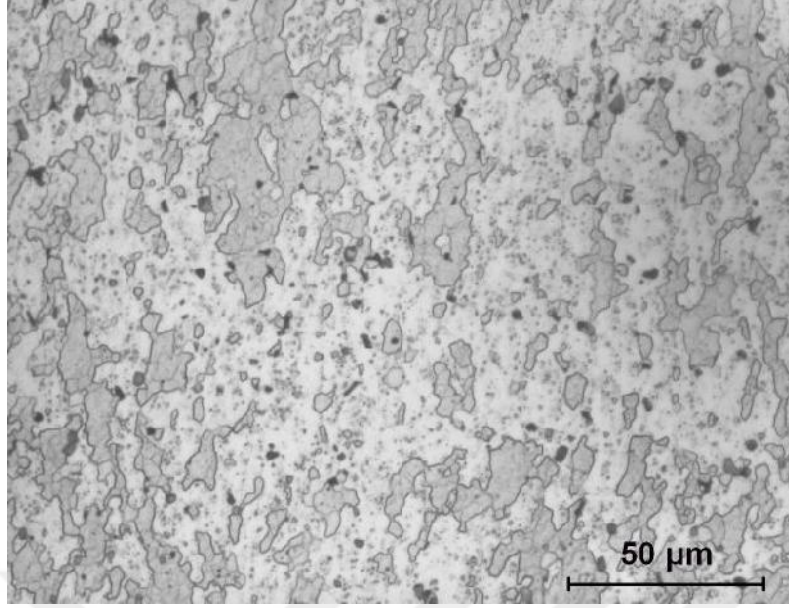
Tablo 20. AA7075-T6 alüminyum alaımının kimyasal bileim analiz sonuçları

Alaım Elementi	Al	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Di er
% A .	90,49	5,01	2,26	1,43	0,12	0,24	0,09	0,19	0,015	0,043	0,102

AA7075-T6 alaımının içyapısının incelenmesi amacıyla hazırlanan numune da landıktan sonra optik mikroskopta incelenmi tir. Deneylerde kullanılan ana malzemenin mikro yapısına ait optik mikroskop görüntüleri ekil 24-25’de verilmi tir.



ekil 24. AA7075-T6 alaımı optik mikroskop görüntüsü 200X büyütme



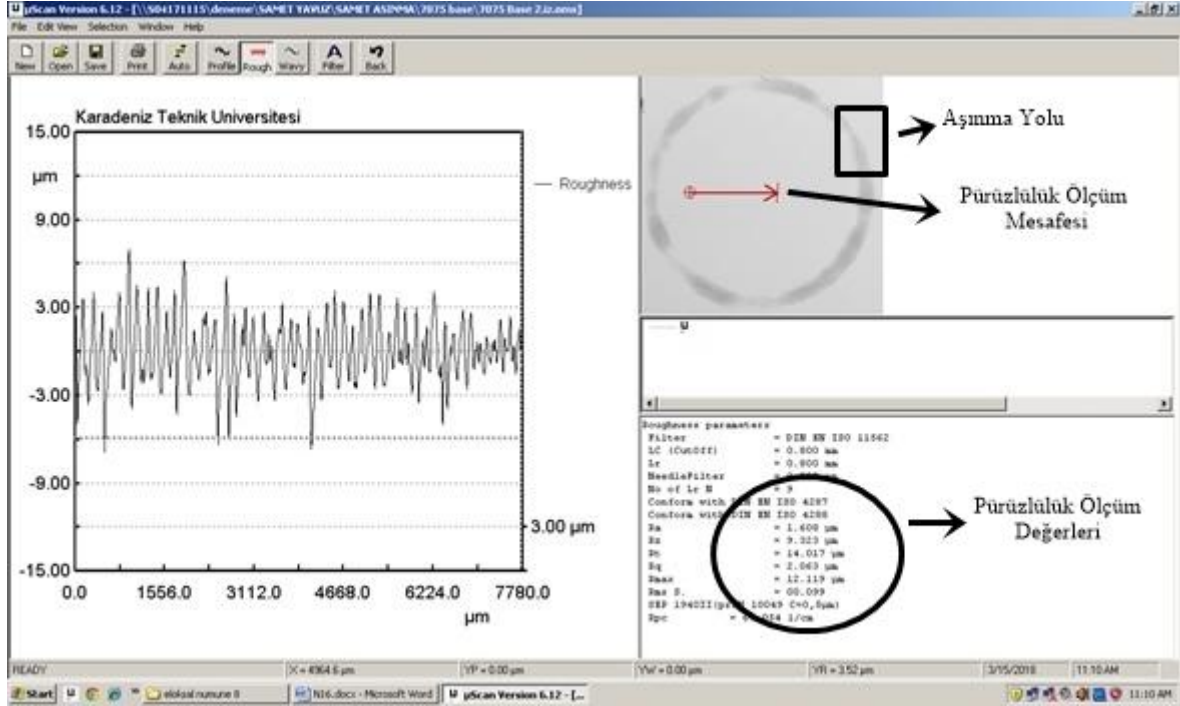
ekil 25. AA7075-T6 ala ımı optik mikroskop görüntüsü 500X büyütme

ekil 24-25’de verilen ana malzemenin mikroyapı görüntüleri incelendi inde, koyu renkli tanelerin çökeltme i lemi ile elde edilen yeniden kristalle en tanelere oldu u, açık renkli tanelerin ise yeniden kristalle meyden taneler oldu u tespit edilmi tir. Yeniden kristalle en taneler dövme i lemi nedeniyle da ınık eritlenme göstermekte ve bu taneler ince uzun veya geni lemi ekillerde görülmektedir. Yeniden kristalle meyden bölgeler herhangi bir ekillenme göstermemektedirler. Benzer olarak, aynı malzemeyi kullanarak Hatch tarafından yapılmı olan bir çalı mada 7075-T6 ala ımının da landıktan sonra mikro yapısının incelenmi , yeniden kristalle en tanelerin koyu renkli, yeniden kristalle meyden tanelerin açık renkli olarak görüldü ü rapor edilmi tir [11].

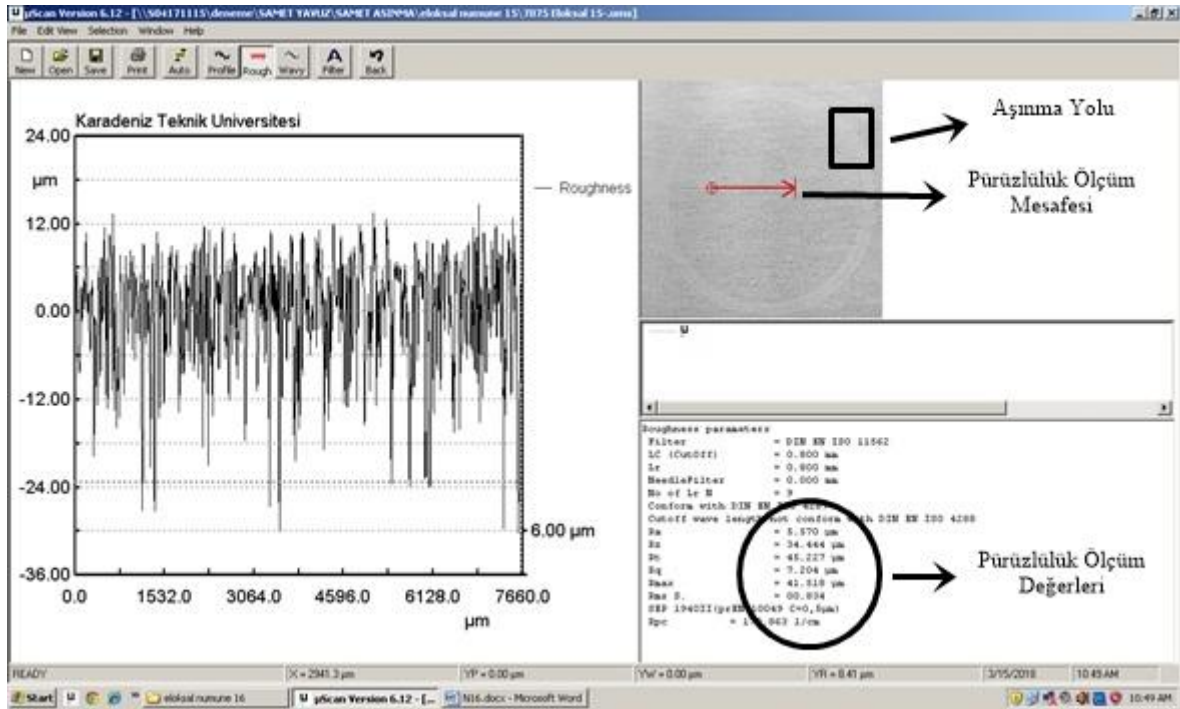
3.2. Kaplamaların Yüzey Özelliklerinin Analizi

Çalı mada kullanılmakta olan anodik oksidasyon i lemi uygulanmı numunelerin ve i lem görmemi durumdaki ana malzemenin yüzey özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, yüzey pürüzlülük de erleri optik profilometre ile belirlenmi tir. Yapılan ölçümleri görsel olarak ifade etmesi amacıyla, ana malzeme ve N15 numunesinin yüzey pürüzlülü ü ölçümüne ait optik profilometre görüntüleri ekil 26-27’de verilmi tir. Numunelerin yüzey pürüzlülüklerinin tümü ise kar ıla tırılma amacıyla Tablo 21’de verilmi tir. Bu pürüzlülük

de erlerinden anla ııaca 1 gibi anodik oksidasyon i lemi sonrası elde edilen poröz oksit tabaka malzeme yüzeylerinin yüzey pürüzlülüklerini önemli ölçüde arttırmaktadır.



ekil 26. Ana malzemenin yüzey pürüzlülü ü ölçümü optik profilometre görüntüsü



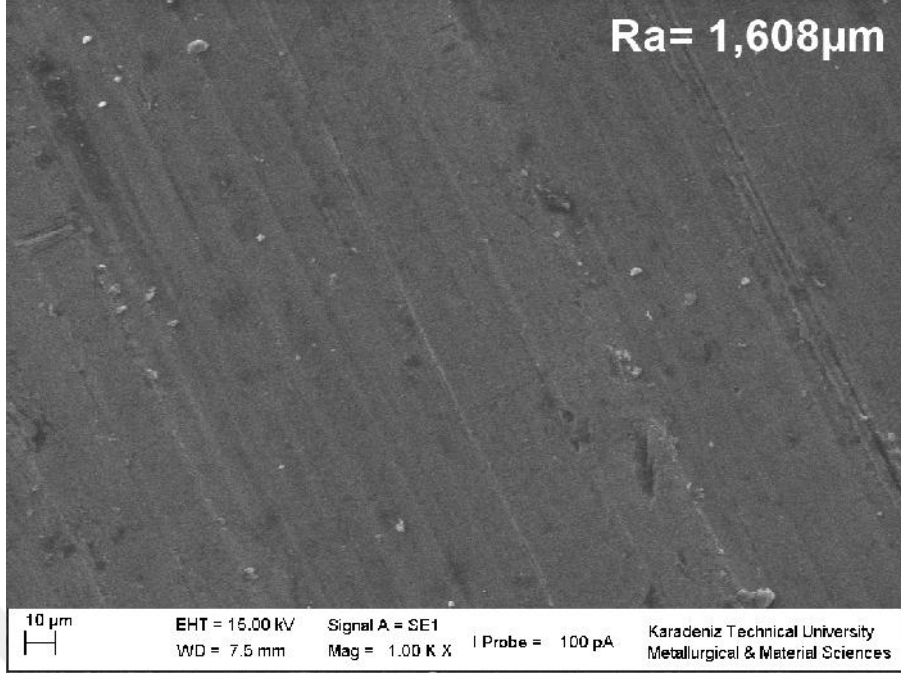
ekil 27. N15 numunesinin yüzey pürüzlülü ü ölçümü optik profilometre görüntüsü

Tablo 21. Numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri

Yüzey Pürüzlülüğü Ra (μm)							
N1	3,779	N5	3,418	N9	3,498	N13	3,187
N2	4,287	N6	4,399	N10	4,659	N14	3,663
N3	3,316	N7	3,829	N11	5,511	N15	5,570
N4	4,461	N8	4,804	N12	5,383	N16	3,154
Ana Malzeme Yüzey Pürüzlülüğü Ra = 1,608 μm							

Karlılık olarak çalınan parçalarda yüzey pürüzlülüğü malzemelerin sürtünme ve aşınma davranışlarını etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Bu sebeple etkilemiş halde olan hareketli parçalarda, sürtünme katsayısının düşük olarak elde edilebilmesi için, yüzeylerinin veya yüzey tabakalarının pürüzlülük değerlerinin düşük olması gerekmektedir. Bu görüşü Li ve arkadaşları tarafından yapılan çalınmada da anodik oksidasyon işlemi sonrası sürtünme katsayısının arttığı fakat kaplamalı numuneler arasında yapılan karlı tırmalarda yüzey pürüzlülük değerlerinin düşük olduğu numunelerin daha yüksek aşınma dayanımı gösterdiği şeklinde ifade edilmiştir [67]. Anodik oksidasyon işleminde oluşan yüzey tabakası poröz bir yapıda gelişmekte olup, bu gelişimin poröz yapıda olması yukarıda da belirtilmiş olduğu gibi oksidasyon sırasında malzeme yüzeyine alüminyum ve alüminyum oksit yapısının ayrışması nedeniyle meydana gelmektedir. Benzer olarak Lim ek tarafından yapılan bir çalınmada malzemelerin anodizasyon öncesi ve sonrası yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde oluşan alüminyum oksit tabakasının ana malzemeye göre yüzey pürüzlülüğünü artırdığı belirtilmiştir [21]. Limanoğlu tarafından yapılmış olan diğer bir çalınmada ise anodik oksidasyon işlemi ile elde edilen yüzeylerin pürüzlülüğünün arttığı, 12-22V olarak belirlenmiş gerilim değerlerinde gerilim arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı rapor edilmiştir [34]. Diğer bir çalınmada ise sabit gerilim altında sıcaklığın artması ile akım yoğunluğunun artacağı bunun sonucunda yüzeyden oksit tabakasının çözülmesinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün artacağı bildirilmiştir [44].

Anodik oksidasyon işlemi öncesi ve sonrasında AA7075 malzeme numunelerin yüzeyinde farklı parametreler ile elde edilen Al_2O_3 tabakasının yüzey incelemeleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ekil 28'de ana malzemenin anodik oksidasyon işlemi öncesi yüzeyinden alınan SEM görüntüsü verilmiştir.



ekil 28. Ana malzemenin anodik oksidasyon i lemi öncesi yüzey görünümü

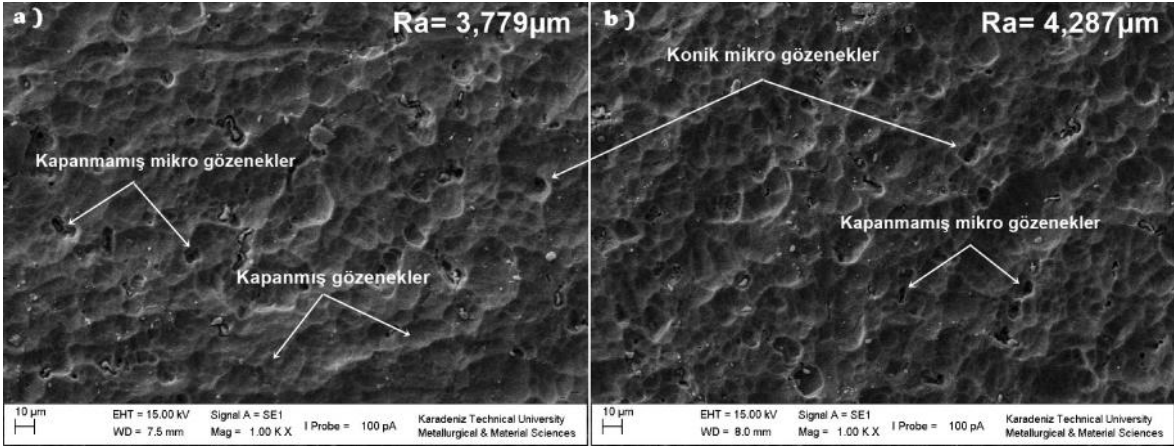
ekil 28’de görüldü ü gibi ana malzeme yüzeyinde yapılan incelemeler yüzey kalitesinin silah üretiminde kullanılan ham malzemenin yüzey kalitesi ile aynı seviyededir. Yapılan bu inceleme neticesinde anodik oksidasyon öncesi hazırlanan yüzeyin dü ük yüzey pürüzlülü üne ($Ra=1,608 \mu m$) sahip oldu u tespit edilmi tir. Ayrıca incelenen bu yüzey özelliklerinin anodizasyon i lemi için yapılmı önceki çalı malarla benzer yüzey kalitesinde oldu u belirlenmi tir. Benzer olarak yapılan bir çalı mada oksidasyon öncesi ana malzeme yüzey morfolojisinin belirlenmesi amacıyla alınan SEM görüntülerinde mekanik ön i lemler neticesinde yüzeyde i leme izlerinin görüldü ü ve olu an bu yüzeylerin anodik oksidasyon i lemi öncesi yeterli oranda temiz ve pürüzsüz bir yüzey olarak tanımlandı ı belirtilmi tir [35]. Gerçekle tirilmek istenilen bu çalı ma için hazırlanmı olan numune yüzeylerinin yüzey pürüzlülük de erlerinin yakla ık $Ra=1,608 \mu m$ mertebesinde olması sa lanmı tir.

Anodik oksidasyon i lemi sonrası elde edilen yüzeylerin incelemelerinde i lem sonrası elde edilen poröz oksit tabaka ve bu tabaka üzerinde yapılan tespiti i lemi sonrası kapanmı mikro gözenekler, olu an çukurla malar ve az sayıda açık mikro gözeneklerin bulundu u gözlemlenmi tir. Bu durum tespiti i lemi sonrasında tüm gözeneklerin kapanmamasından kaynaklanmaktadır. Anodik oksidasyon i leminin ba lamasıyla ilk olarak ince ve gözeneksiz bariyer oksit tabaka meydana gelir. İlk 4-5 saniye sonunda en büyük kalınlı a ula an bu bariyer oksit tabakası sabit gerilim etkisi altında sıcaklık ve elektrolitin etkisiyle ince

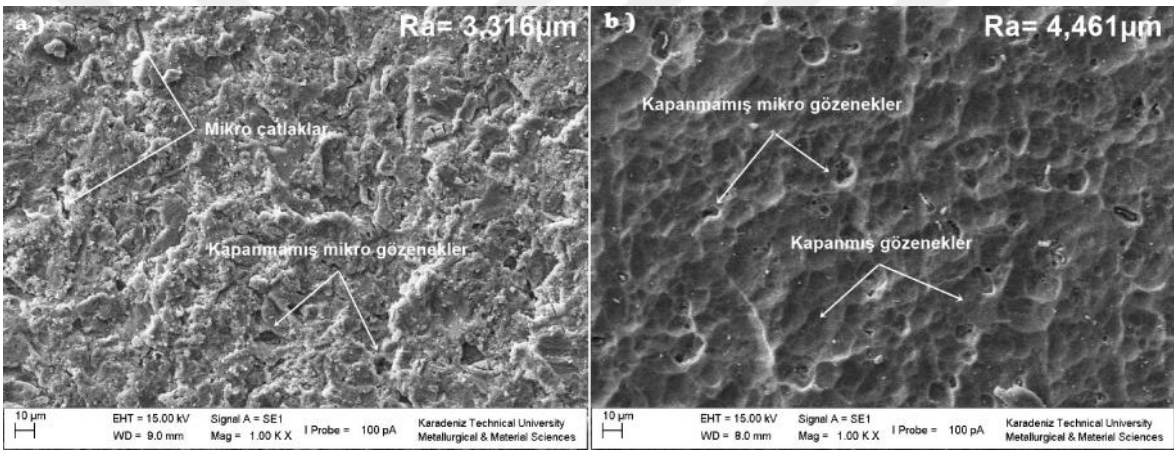
kalınlıktaki ve hatalı bölgelerden yararlanılarak alınmaya başlanmaktadır [12,34,35]. Alınan bölgelerin etrafında gelişen oksit tabakası kalınlığının artmasıyla birlikte kanallar ve gözenekler içinde oluşan bozukluklar hegzagonal yapıda poröz oksit tabakasını meydana getirmektedir. Oluşan bu kanal ve bozukluklar, parça üzerinden akmaya zorlanan elektrik akımının geçmesini sağlayan bölgeleri oluşturur, bunun neticesinde iyonlar bu bölgelerden hareket ederek gözenekli yapıyı meydana getirirler. Elde edilen bu gözenekli yapı, özellikle korozif ortamlarda, hem ana malzemenin hem de oksit tabakası arayüzünün korozyon ataklarına maruz kalmasına yol açmaktadır. Bu durumun önlenmesi malzemenin kaynama derecesindeki deiyonize su içerisinde belirli bir süre bekletilmesiyle oksit tabakasının su ile reaksiyonu sonucunda genellikle daha büyük hacimli bohemit-alümina yapısına dönüşmesiyle bozukluklar dolultusunda genellikle kapanmalarını sağlar. Bu hacim genellikle sayesinde gözenekler büyük oranda kapanmakta ve malzeme yüzeyinin korozyona karşı dayanımını artırıcı etki yapmaktadır [29,35].

İncelenen numunelerin yüzey görünüşleri ekil 29-36'da verilmiştir. Yüzey incelemelerinde anodik oksidasyon işlemi ile kaplama öncesine oranla oldukça pürüzlü ve gözenekli bir yüzey oluştuğu tespit edilmiştir. Oluşan bu porozlu yapı sülfürik asit çözeltisinde gerçekleştirilen anodik oksidasyon işlemi ile elde edilen oksit tabakasının karakteristik bir sonucudur. Malzemenin korozyon dayanımını artırmak amacıyla yapılan tespit işlemi ile gözeneklerin büyük ölçüde kapatıldığı fakat yine de gözeneklerin tam olarak kapanmadıkları ve yapıda mikro çatlakların bulunduğu tespit edilmiştir. Ek olarak yüzey incelemelerinde numunelerin yüzeylerinde yer yer çukurluklu bölgeler tespit edilmiştir.

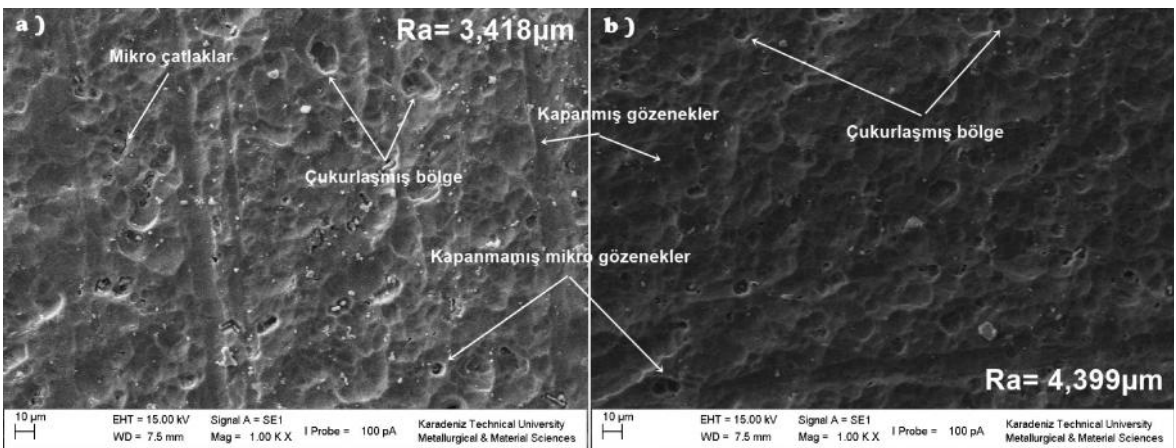
Krishna ve arkadaşlarının yaptığı oldukları bir çalışmada, sert anodik oksidasyon işlemi ile elde edilen alüminyum oksit tabakasının yüzey morfolojisini incelemiştir. Anodik oksidasyon ve tespit işlemi uygulayarak kapatılmı olduğu düşünülen yüzeylerin SEM ile yapılan incelemelerinde yüzeylerde önemli miktarda açık gözeneklerin bulunduğu, kaplama yüzeylerinde yer yer çukurlukların olduğu ve mikro çatlakların bulunduğu rapor edilmiştir [48].



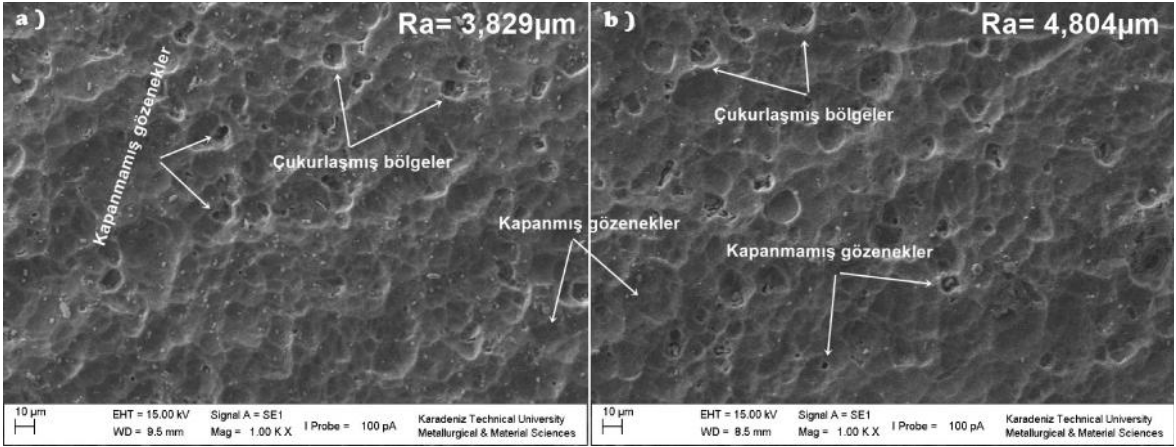
ekil 29. Anodik oksidasyon sonrası numune yüzeylerinin SEM görüntüsü a) N1, b) N2



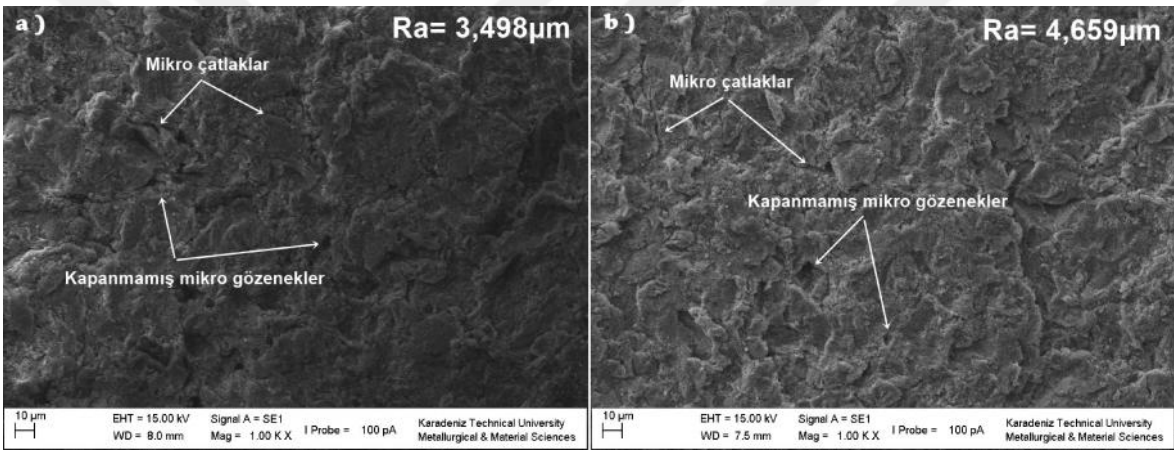
ekil 30. Anodik oksidasyon sonrası numune yüzeylerinin SEM görüntüsü a) N3, b) N4



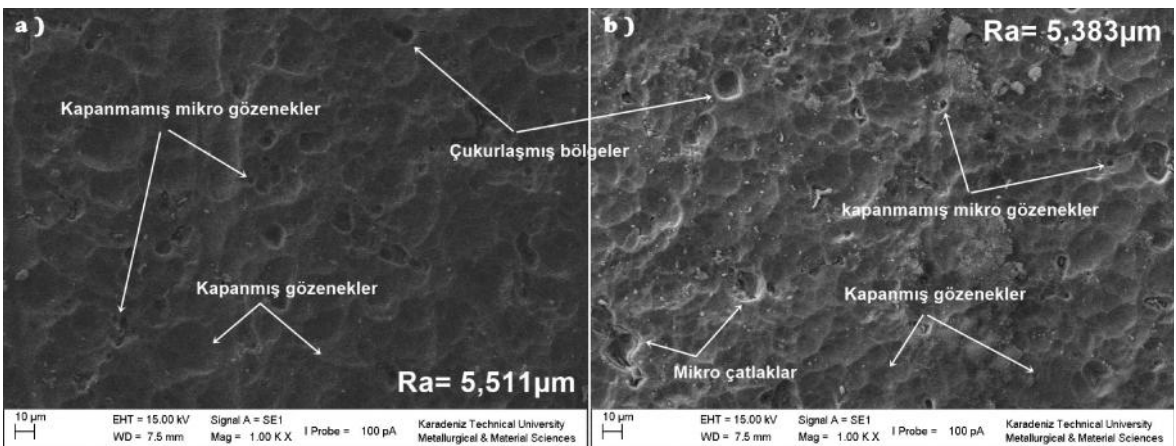
ekil 31. Anodik oksidasyon sonrası numune yüzeylerinin SEM görüntüsü a) N5, b) N6



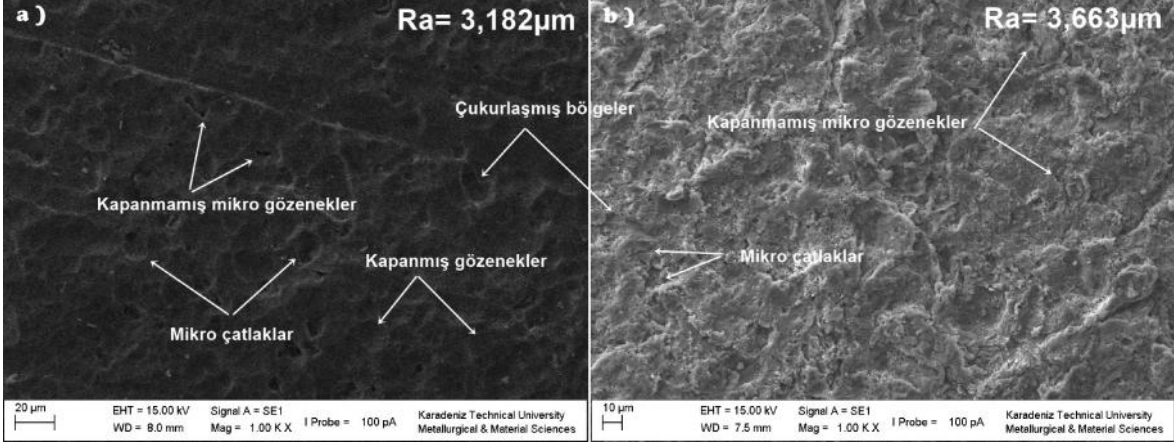
ekil 32. Anodik oksidasyon sonrası numune yüzeylerinin SEM görüntüsü a) N7, b) N8



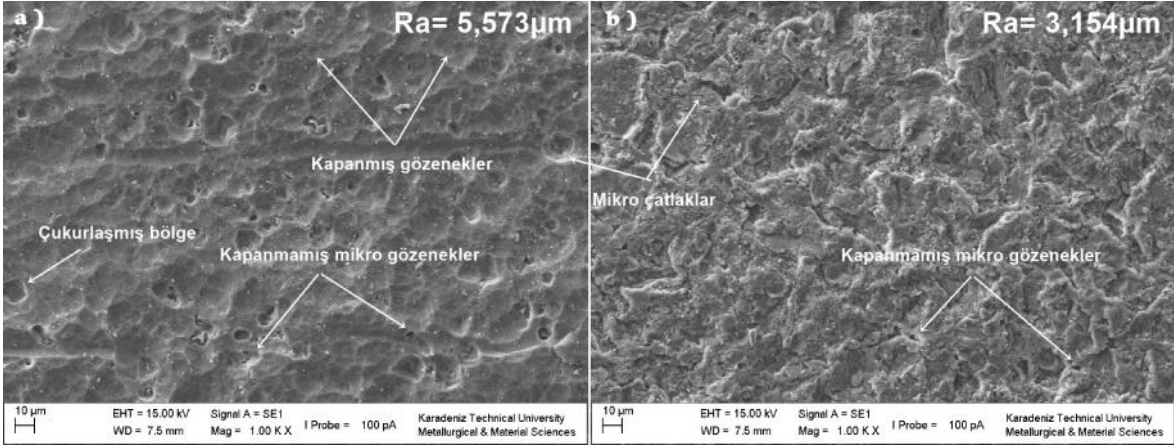
ekil 33. Anodik oksidasyon sonrası numune yüzeylerinin SEM görüntüsü a) N9, b) N10



ekil 34. Anodik oksidasyon sonrası numune yüzeylerinin SEM görüntüsü a) N11, b) N12



ekil 35. Anodik oksidasyon sonrası numune yüzeylerinin SEM görüntüsü a) N13, b) N14



ekil 36. Anodik oksidasyon sonrası numune yüzeylerinin SEM görüntüsü a) N15, b) N16

Yapılan yüzey incelemeleri sonucunda, anodik oksidasyon işlemi ile kaplama öncesine oranla oldukça pürüzlü ve gözenekli bir yüzey olduğu tespit edilmiştir. Malzemenin korozyon dayanımını artırmak amacıyla yapılan tespit işlemi ile gözeneklerin büyük ölçüde kapandı ancak yer yer kapanmamış gözeneklerin olduğu ayrıca yapıda mikro çatlaklar ile çukurlaşmış bölgelerin bulunduğu tespit edilmiştir.

3.3. Kaplama Kalınlıklarının Analizi

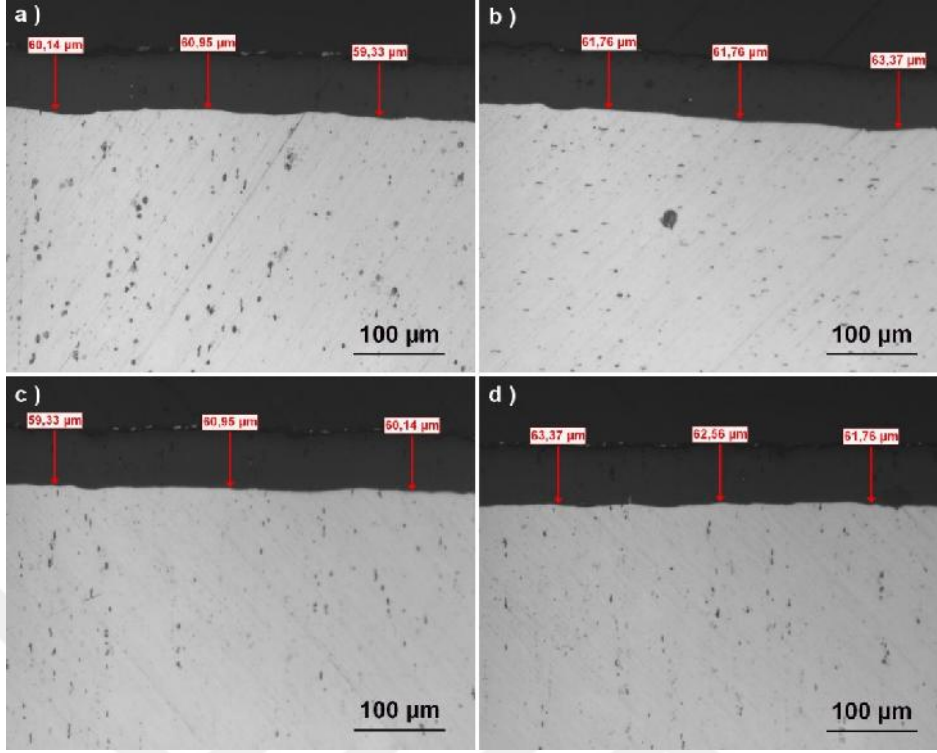
Farklı anodik oksidasyon parametreleri ile elde edilen numunelerin kaplama kalınlıkları (hem bariyer oksit tabaka hem de poröz oksit tabakanın toplam kalınlıkları), numunelerden alınan kesitlerin bakalıte alınarak optik mikroskopta incelenmesi ile elde edilmiştir. Anodik oksidasyon işleminde elde edilecek kaplama kalınlıkları sürenin artması

ile artma eğilimi göstermekteyken sıcaklığın artması ile kaplama kalınlıkları azalma eğilimi göstermektedirler.

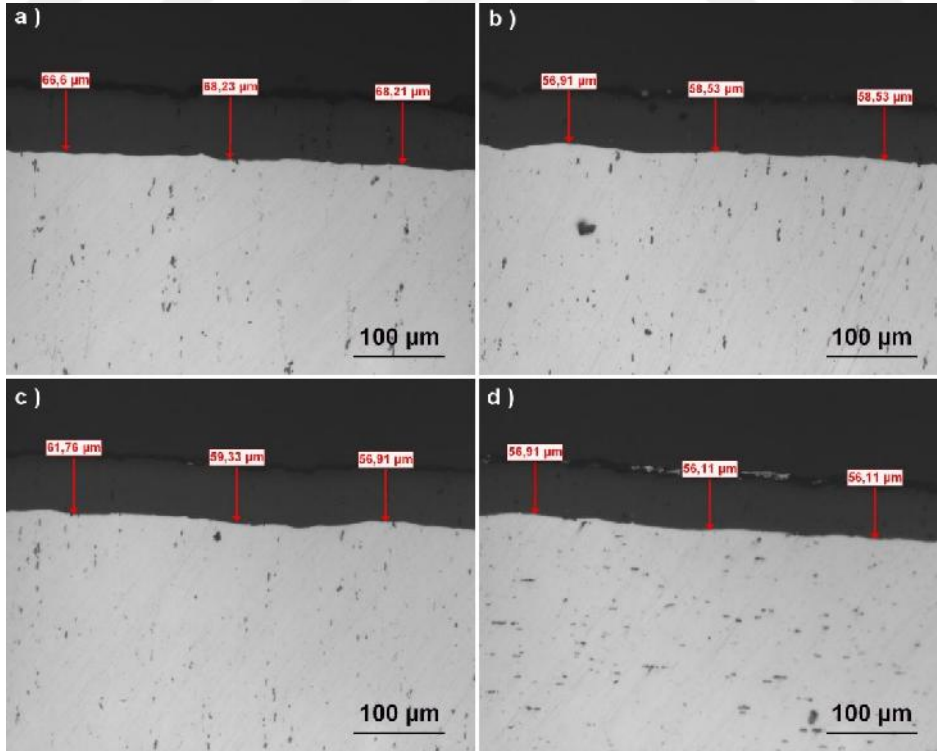
Anodik oksidasyon işlemi için daha önce yapılan çalışmalarda poröz oksit tabakanın oluşumu esnasında bariyer oksit tabakasının zayıf olduğu bölgelerde artan akım yoğunluğu ve kimyasal reaksiyonlar ile alüminyum iyonlarının ayrışması ve çözeltiye karışması bildirilmiştir. Aynı an alüminyum iyonları malzeme yüzeyinde anodik reaksiyonlar neticesinde oksijenle birleşerek alüminyum oksit yapısını oluşturumaktadırlar. Fakat uygulanan oksidasyon akımı yoğunluğunun artırılması durumunda yüzeyden oksit çözümleri oluşmaktadır ve oluşan bu oksit çözümlerinin miktarı oksit oluşumu miktarının üstünde oluşması durumunda, mevcut oksit tabakası kalınlığında incelme olacaktır [29,34,35].

Anodik oksidasyon tabakalarının kalınlıkları ZEISS marka optik mikroskop ile 200X büyütmede incelenmiştir. Kaplama kalınlıklarının optik mikroskop ile belirlenen ölçümlerinin görüntüleri ekil 37-40'da verilmiştir.

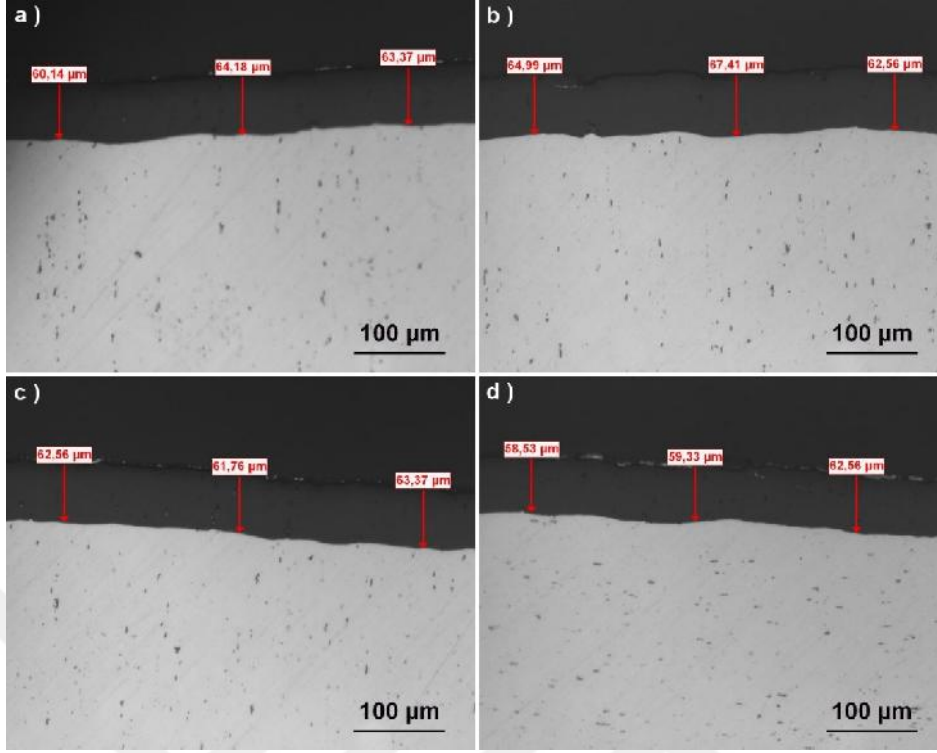
Yapılan ölçümler sonucunda numunelerin belirlenen kaplama kalınlıkları Tablo 22'de verilmiştir. ekil 37-41'de kaplama kalınlığı görüntüleri ve kalınlık değişim grafiği verilmiştir. Gerçekleştirilen ölçümler, her bir numunenin üç farklı yerinden alınan ölçümlerinin ortalaması şeklinde belirlenmiştir. Malzeme yüzeyinde oluşan oksit tabakasının genel olarak üniform bir yapıda oluştuğu bu ekilerden görülebilmektedir.



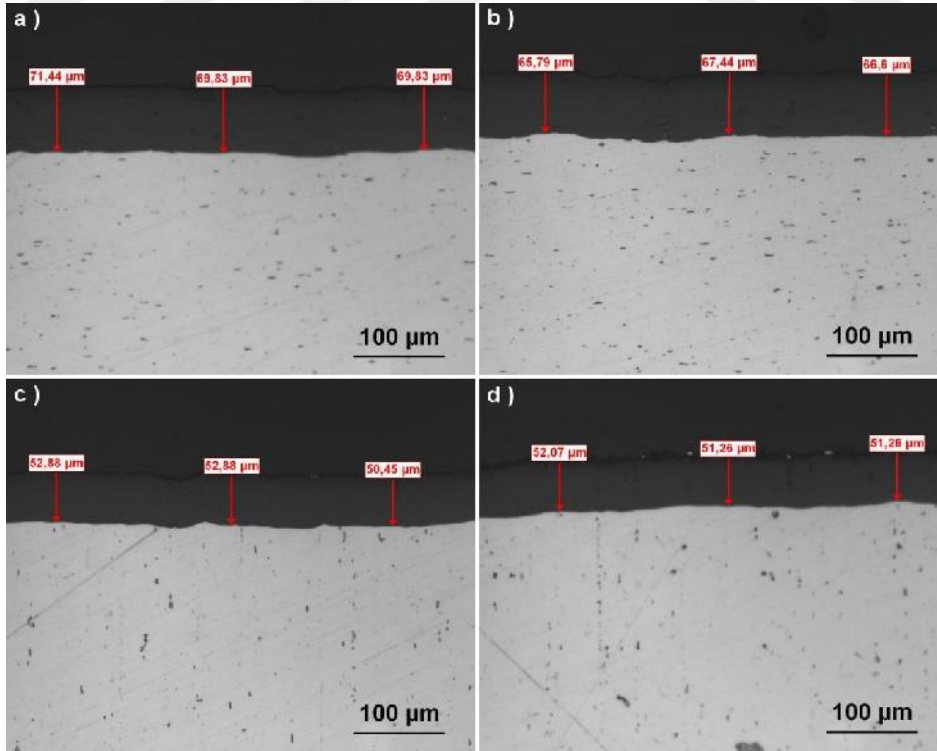
ekil 37. a) N1 b) N2 c) N3 d) N4 kodlu numunelerin optik mikroskopta yapılan kaplama kalınlı ı ölçüm görüntüleri



ekil 38. a) N5 b) N6 c) N7 d) N8 kodlu numunelerin optik mikroskopta yapılan kaplama kalınlı ı ölçüm görüntüleri



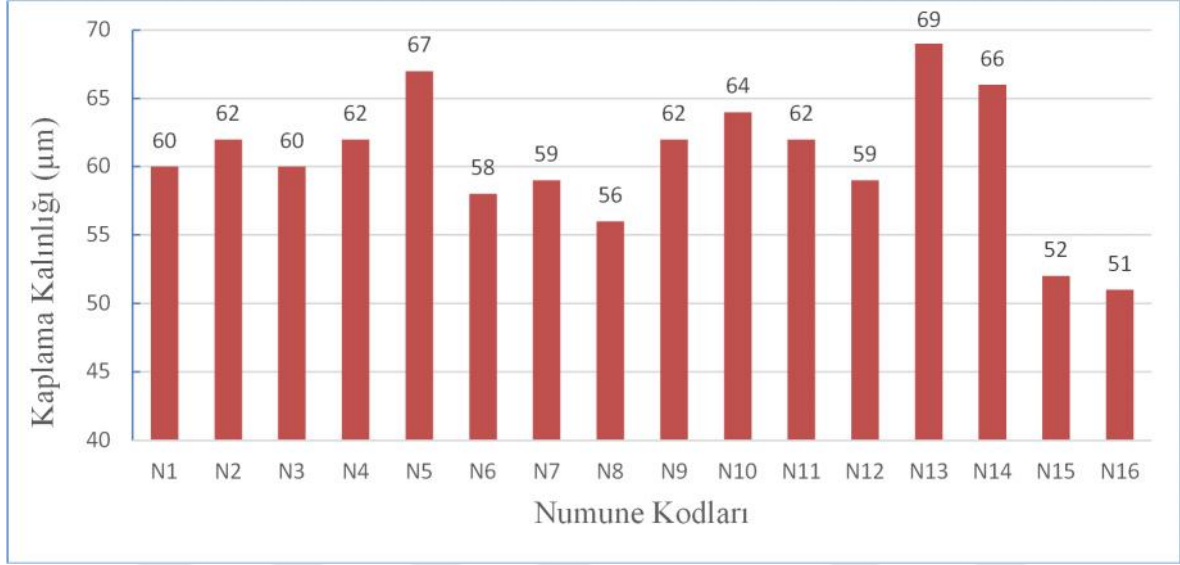
ekil 39. a) N9 b) N10 c) N11 d) N12 kodlu numunelerin optik mikroskopta yapılan kaplama kalınlığı ölçüm görüntüleri



ekil 40. a) N13 b) N14 c) N15 d) N16 kodlu numunelerin optik mikroskopta yapılan kaplama kalınlığı ölçüm görüntüleri

Tablo 22. Numunelerin kaplama kalınlıkları

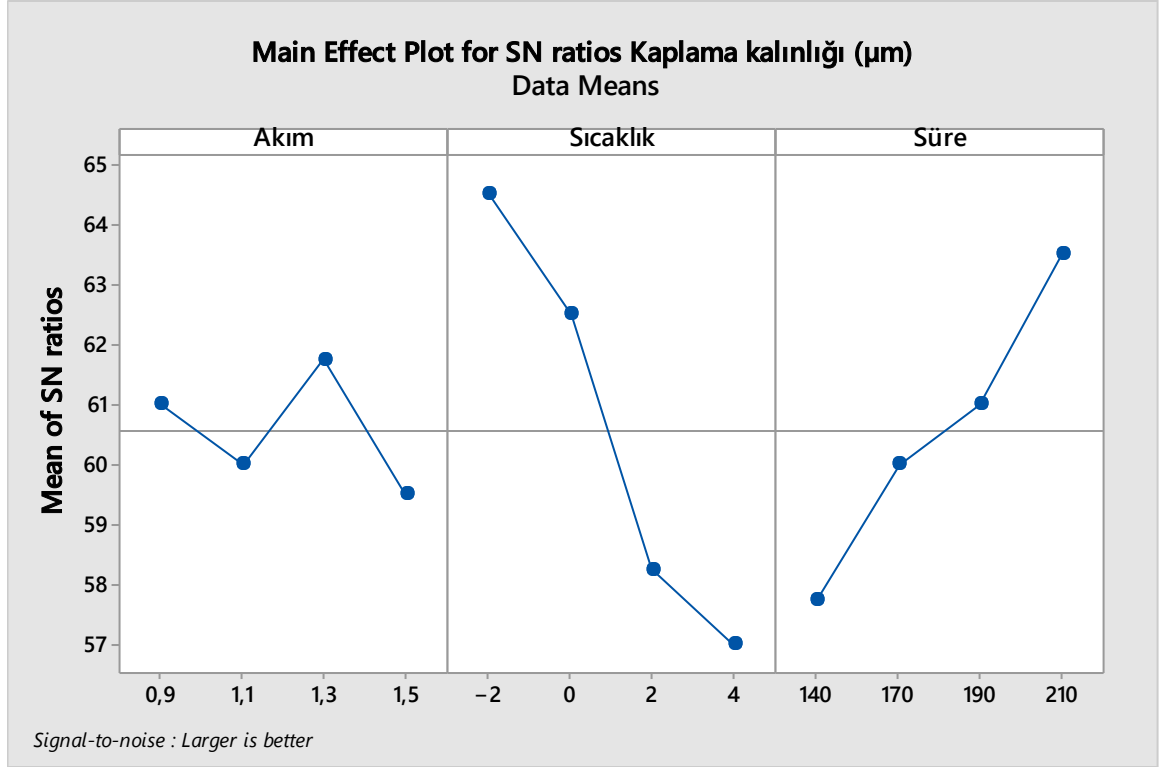
Kaplama Kalınlıkları (μm)							
N1	60 \pm 2	N5	67 \pm 1	N9	62 \pm 2	N13	69 \pm 1
N2	62 \pm 1	N6	58 \pm 2	N10	64 \pm 3	N14	66 \pm 1
N3	60 \pm 1	N7	59 \pm 2	N11	62 \pm 2	N15	52 \pm 1
N4	62 \pm 1	N8	56 \pm 1	N12	59 \pm 2	N16	51 \pm 1



ekil 41. Kaplama kalınlığı değişim grafiği

Tablo 22 ve ekil 41 incelendiğinde farklı proses parametreleri ile farklı kaplama kalınlıkları elde edildiği görülmektedir. En düşük kaplama kalınlığı N16 ($1,5\text{A}/\text{dm}^2$, 4°C ve 140dk) kodlu numunede 51 ± 1 μm olarak ölçülmüştür, en yüksek kaplama kalınlığı ise N13 ($1,5\text{A}/\text{dm}^2$, -2°C ve 210dk) kodlu numunede 69 ± 1 μm olarak ölçülmüştür. Proses parametrelerinin kaplama kalınlığına etkisini belirlemek amacıyla elde edilen verilerin ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir ve bu analiz sinyal gürültü oranı (S/N) kullanılarak belirlenmiştir. Kaplama kalınlıklarının S/N oranları Minitab programı ile daha yüksek daha iyi (larger is better) kriterine göre belirlenmiştir. Yapılan istatistiksel incelemeler sonucunda S/N oranı grafikleri ekil 42'de verilmiştir. Kaplama kalınlığına etki eden kaplama parametrelerinin her seviyesi için S/N oranları ve delta istatistikleri Tablo 23'de verilmiştir.

ekil 42 ve Tablo 23 incelendiğinde kaplama kalınlığına birinci derecede ve en fazla etki eden parametrenin sıcaklık olduğu, ikinci derece etkili olan parametrenin süre olduğu ve akımın üçüncü derecede ve en az etkili parametre olduğu belirlenmiştir.



ekil 42. Kaplama parametrelerinin kaplama kalınlığına etkisi

Tablo 23. Kaplama kalınlığına etki eden kaplama parametrelerinin her seviyesi için S/N oranları ve delta istatistiği

Parametreler	Kaplama Kalınlığı				Delta (max-min)	Etki Derecesi
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4		
Akım	61	60	61,75	59,5	2,25	3
Sıcaklık	64,5	62,5	58,25	57	7,5	1
Süre	57,75	60	61	63,5	5,75	2

Gerçekle tirilen ANOVA analizinden elde edilen sonuçlar Tablo 24'de verilmi tir. ANOVA analiz tablosu incelendi inde kalınlık üzerinde en etkili olan anodik oksidasyon sıcaklığı nın kaplama kalınlığına katkısı %41,45, anodik oksidasyon süresinin kaplama kalınlığına katkısının %18,94 ve anodik oksidasyon akımının kaplama kalınlığına katkısının %3,38 oldu u belirlenmi tir. Benzer do rultuda Tsangaraki-Kaplano lu ve arkada ları tarafından yapılan bir çalı mada sabit gerilim altında sıcaklığı n artırılması sonucunda yüzeyden alüminyum oksit tabakasının çözünmesinin hızlanmasının etkisiyle kaplama kalınlığı nın azalmasına yol açtı rı rapor edilmi tir [44].

Tablo 24. Parametrelerin kaplama kalınlıklarına etkisi için ANOVA analizi

Parametreler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kareler	F De eri	P De eri	Katkı Yüzdesi (%)
Akım	3	12,19	4,062	0,19	0,902	3,38
Sıcaklık	3	149,19	49,729	2,29	0,178	41,45
Süre	3	68,19	22,729	1,05	0,438	18,94
Residual Error	6	130,37	21,729			
Toplam	15	359,94				

ekil 42 ve Tablo 23-24 incelendi inde anodik oksidasyon akım yo unlu unun kaplama kalınlı na etkisinin ihmal edilebilir seviyede oldu u tespit edilmi tir. Her bir akım yo unlu u grubu kendi içinde de erlendirildi inde 1,5 A/dm² akım yo unlu u grubunda en yüksek N13 kodlu numune ve en dü ük N16 kodlu numunede kaplama kalınlıkları ölçülmü tür. Anodizasyon i lemi için belirlenen -2°C sıcaklık de erinde, 0,9 - 1,5 A/dm² akım yo unluklarında elde edilen oksit tabakalarının kalınlıkları kar ıla tırıldı nda 1,5 A/dm² akım yo unlu u ile yapılan oksidasyon i leminde en yüksek kaplama kalınlı ı elde edilmi tir. Konu hakkında yapılmı bir çalı mada sabit sıcaklıkta artan akım yo unlu u ile oksitlenme yo unlu unun artmasıyla kaplama kalınlı ının artmakta oldu u rapor edilmi tir [44].

ekil 42 ve Tablo 23-24 incelendi inde artan sıcaklık de erleri ile kaplama kalınlı ının azaldı ı tespit edilmi tir. Her bir sıcaklık grubu kendi içinde de erlendirildi inde -2°C sıcaklık grubunda en yüksek kaplama kalınlı ı N13 kodlu numunede ölçülmü tür. En dü ük kaplama kalınlı ı 4°C sıcaklık de erinde N16 kodlu numunede ölçülmü tür.

ekil 42 ve Tablo 23-24 incelendi inde artan süre de erleri ile kaplama kalınlı ının arttı ı tespit edilmi tir. Her bir süre grubu kendi içinde de erlendirildi inde 140 dk süre grubunda en dü ük kaplama kalınlı ı N16 kodlu numunede ölçülmü tür. En yüksek kaplama kalınlı ı 210 dk süre grubunda N13 kodlu numunede ölçülmü tür. Yapılan anova analizleri ile bulunan sonuçların literatür ara tırmaları ile aynı do rultuda oldu u görülmü tür. Li ve arkadaş larının Al-Si ala ımlarına uygulanan anodik oksidasyon i lemlerinin korozyon direncine etkisini inceledikleri bir çalı mada aynı akım yo unlu u ve sürede yapılan oksitleme i lemleri neticesinde yüksek sıcaklıkta yapılan anodik oksidasyon i leminde daha dü ük kaplama kalınlı ı elde edildi ini bildirmi lerdir [39]. Kaplano lu ve arkadaş ları

alüminyumun anodik oksidasyon prosesine ala ım tiplerinin etkilerini incelendikleri bir çalı mada oksidasyon i lem süresinin artmasının beklenildi i gibi kaplama kalınlı mı artırdı mı belirtmi tir [44]. Bozza ve arkadaş larının farklı akım yo unlu unun etkisini incelendikleri bir çalı mada ise sabit süre ve akım yo unlu unda gerçekleştirilen anodik oksidasyon i lemleri sonucunda artan i lem sıcaklı mın kaplama kalınlı mı azalmasına yol açtı mı tespit etmi lerdir [57].

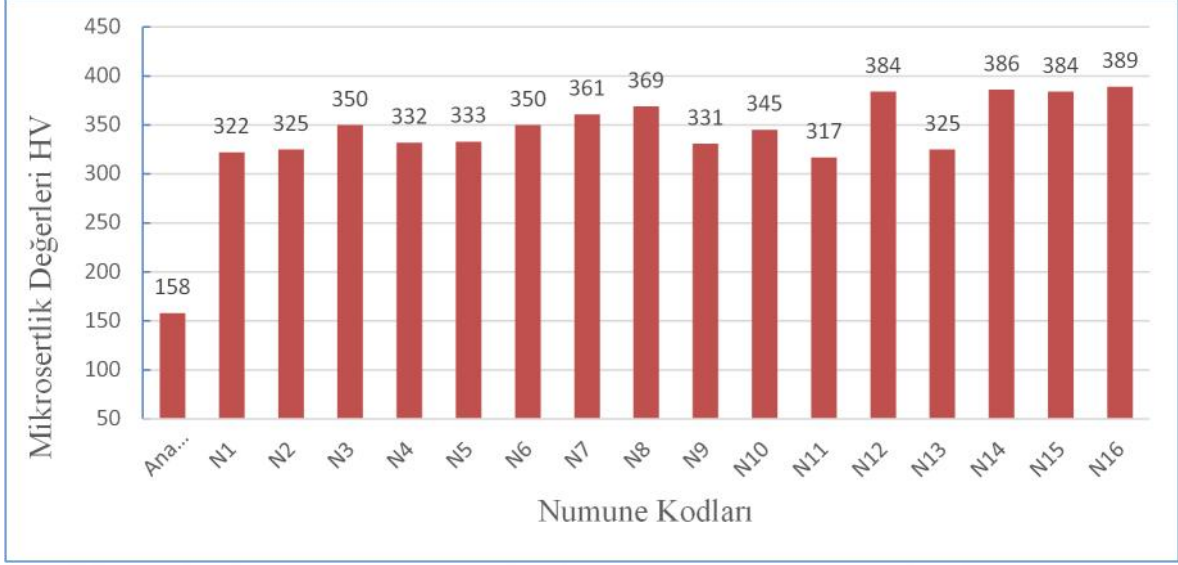
Yapılan kaplama kalınlı ı ölçümleri ve ANOVA analizi sonucunda anodik oksidasyon i leminin AA7075 malzemeye uygulandı ında malzemenin yüzeyinde istenilen kalınlıklarda ve üniform olarak da ılım gösteren Al₂O₃ tabakasının elde edilebilece i tespit edilmi tir.

3.4. Mikrosertlik Analizi

Numunelerden alınan kesitlerin metalografik olarak hazırlanmasının ardından mikrosertlik ölçme cihazında her bir numune için 5 farklı ölçüm yapılip ortalamaları alınmı tir. Anodik oksidasyon i leminde artan akım yo unlu u ve i lem sıcaklı ı ile sertlikte artı görülmektedir. Ek olarak i lem süresinin sertlik de erleri üzerinde etkisi oldukça dü üktür. Farklı parametreler kullanılarak üretilen kaplamalı numunelerin sertlik ölçümleri sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 25’de verilmi tir. ekil 43’de numunelerin sertlik de erleri grafik olarak gösterilmi tir.

Tablo 25. Numunelerin mikro sertlik de erleri

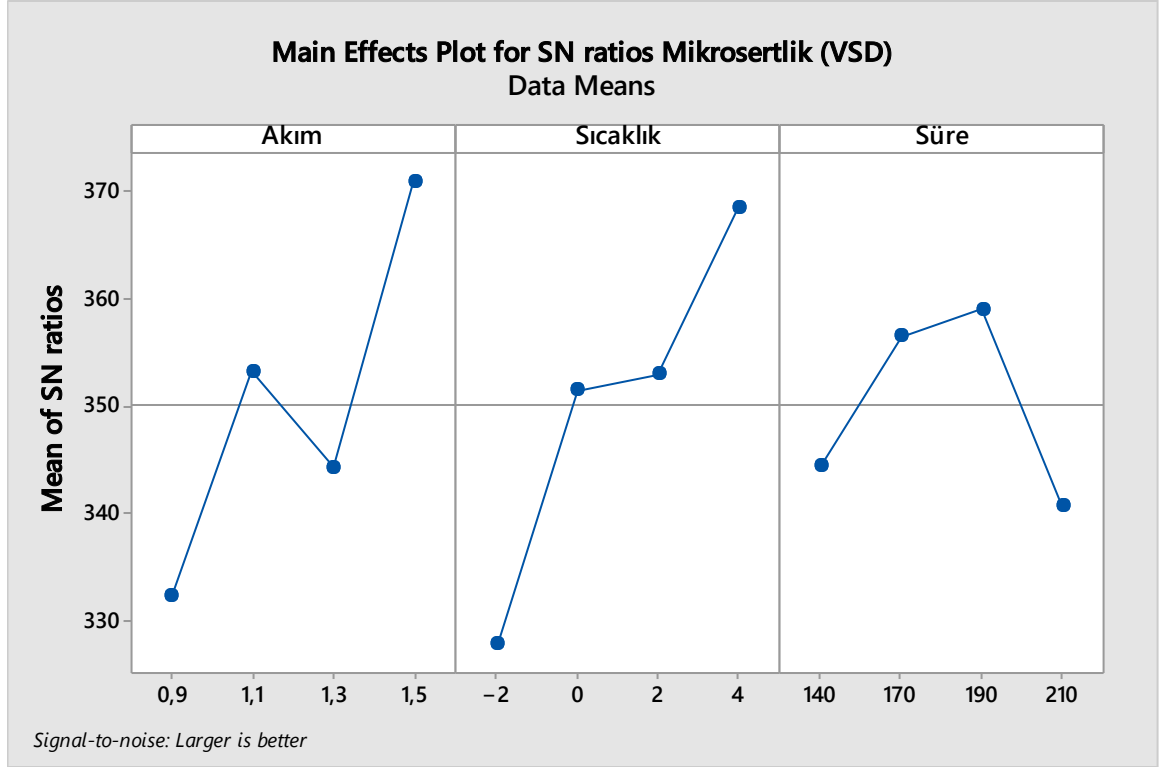
Mikrosertlik HV0,025							
N1	322±2	N5	333±2	N9	331±2	N13	325±2
N2	325±2	N6	350±2	N10	345±2	N14	386±2
N3	350±2	N7	361±2	N11	317±2	N15	384±2
N4	332±2	N8	369±2	N12	384±2	N16	389±2



ekil 43. Numunelerin sertlik de i im grafi i

ekil 43'de görüldü ü gibi anodik oksidasyon i lemi yüzey sertli ini artırmaktadır. Ana malzeme sertlik de eri 159 ± 2 HV iken anodik oksidasyon i lemiyle elde edilen kaplama sertlik de erleri en dü ük N11 ($1,3 \text{ A/dm}^2$, 2°C ve 140 dk) kodlu numunede 317 ± 2 HV ölçülmü ve en yüksek sertlik ise N16 ($1,5 \text{ A/dm}^2$, 4°C ve 140 dk) kodlu numunede 389 ± 2 HV olarak ölçülmü tür. Elde edilen bulgular neticesinde anodik oksidasyon i lemi ile kaplamasız numunelerden 2-3 kat daha yüksek sertlik elde etmek mümkün olmaktadır.

Proses parametrelerinin yüzey sertli ine etkileri elde edilen verilerin ANOVA analizleri, sinyal gürültü oranı (S/N) kullanılarak belirlenmi tir. Yüzey sertli inin S/N oranları Minitab programı ile daha yüksek daha iyi (larger is better) kriterine göre belirlenmi tir. Yapılan istatistiksel incelemeler sonucunda S/N oranı grafikleri ekil 44'de verilmi tir. Yüzey sertli ine etki eden parametrelerinin her seviyesi için S/N oranları ve delta istatisti i Tablo 26'da verilmi tir. ekil 44 ve Tablo 26 incelendi inde mikrosertlik de erine birinci derecede etki eden parametrenin sıcaklık oldu u, ikinci derece etkili olan parametrenin akım oldu u belirlenmi tir. Burada akım ve sıcaklı ın delta istatistikleri birbirine yakın de erlerde oldu u görülmektedir. Sürenin üçüncü derecede ve di erlerine göre en az etkili parametre oldu u belirlenmi tir.



ekil 44. Kaplama parametrelerinin mikrosertlik e etkisi

Tablo 26. Mikrosertlik e etki eden kaplama parametrelerinin her seviyesi için S/N oranları ve delta istatisti i

Parametreler	Mikrosertlik				Delta (max-min)	Etki Derecesi
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4		
Akım	332,25	353,25	344,25	371	38,75	2
Sıcaklık	327,75	351,5	353	368,5	40,75	1
Süre	344,5	356,5	359	340,75	14,5	3

Gerçekle tirilen ANOVA analizinden elde edilen sonuçlar Tablo 27’de verilmi tir. ANOVA analiz tablosu incelendi inde sertlik üzerinde en etkili olan anodik oksidasyon sıcaklı ının sertlik de erindeki artı a katkısı %34,87, anodik oksidasyon akımının sertlik de erindeki artı a katkısının %32,86 ve anodik oksidasyon süresinin sertlik de erindeki artı a katkısının %9,82 oldu u belirlenmi tir.

Tablo 27. Parametrelerin sertlik e etkisi için ANOVA analizi

Parametreler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kareler	F De eri	P De eri	Katkı Yüzdesi (%)
Akım	3	3198,2	1066,1	2,93	0,122	32,86
Sıcaklık	3	3393,7	1131,2	3,11	0,11	34,87
Süre	3	955,7	318,6	0,87	0,505	9,82
Residual Error	6	2184,9	364,1			
Toplam	15	9732,4				

ekil 43-44 ve Tablo 26-27'de yapılan ANOVA analizleri ve mikrosertlik ölçüm sonuçlarının verildi i Tablo 25 incelendi inde akım yo unlu u ve i lem sıcaklı ı arttıkça sertlik de erinin arttı ı görülmektedir. En yüksek sertlik de erinin (389 HV) ölçüldü ü N16 (1,5 A/dm², 4°C ve 140dk) kodlu numunede en yüksek sıcaklık de eri ile anodizasyon i lemi yapılmı tır ve bulunan bu sonuçta yapılan ANOVA analiziyle örtü mektedir. En dü ük sertlik ise N1 (0,9A/dm², -2°C ve 140dk) kodlu numune (322 HV) ve N11 (1,3A/dm², 2°C ve 140dk) kodlu numunede (317 HV) ölçülmü tür. Anodik oksidasyon süresinin ise mikrosertlik de eri üzerindeki etkisinin ihmal edilebilir seviyede dü ük oldu u belirlenmi tir. Bu çalı ma kapsamında uygulanan anodik oksidasyon parametrelerinin etkileri, literatürde anodik oksidasyon i lemi ve i lem parametrelerinin mikrosertlik üzerindeki etkilerinin incelendi i çalı malarda bulunan sonuçlarla paralel do rultudur. Literatürde sert anodizasyon i lemi olarak tanımlanan ve genellikle -5, +5°C sıcaklıklarında yapılan anodik oksidasyon i lemlerinde +22°C de gerçekte tirilen ve normal anodizasyon olarak adlandırılan uygulamalara göre daha sert, yo un, a ınma ve korozyona kar ı oldukça dayanıklı oksit tabakaları elde edilmektedir. Dü ük sıcaklıklarda gerçekte tirilen proseslerde elektrolitin so utma etkisiyle akım geçi inde olu an yüksek ısının etkisi ortadan kaldırılmaktadır. Dü ük sıcaklıklarda yüksek akım yo unlu u elde etmek için uygulanan yüksek voltaj de erleri küçük boyutlu, yo un poröz mikroyapı ve üniform bir oksit tabakası sa lamakta bunun sonucunda da daha sert ve a ınmaya dayanıklı kaplamalar elde edilmektedir [29-31]. Gök ahin yapımı oldu u çalı mada AA6061 ve AA6082 ala ımlarının sert anodik oksidasyon i lemi sonrası a ınma davranı larının incelemi , anodik oksidasyon i lemi öncesi ana malzemelerin 120-140 HV sertlik de eri ölçüldü ü bildirilmi , anodik oksidasyon i lemi sonrası yapılan sertlik ölçümlerinde 380-480 HV sertlik de erlerinin ölçüldü ü belirtilmi tir. Ayrıca farklı akım yo unluklarında yapılan ölçümler sonucu

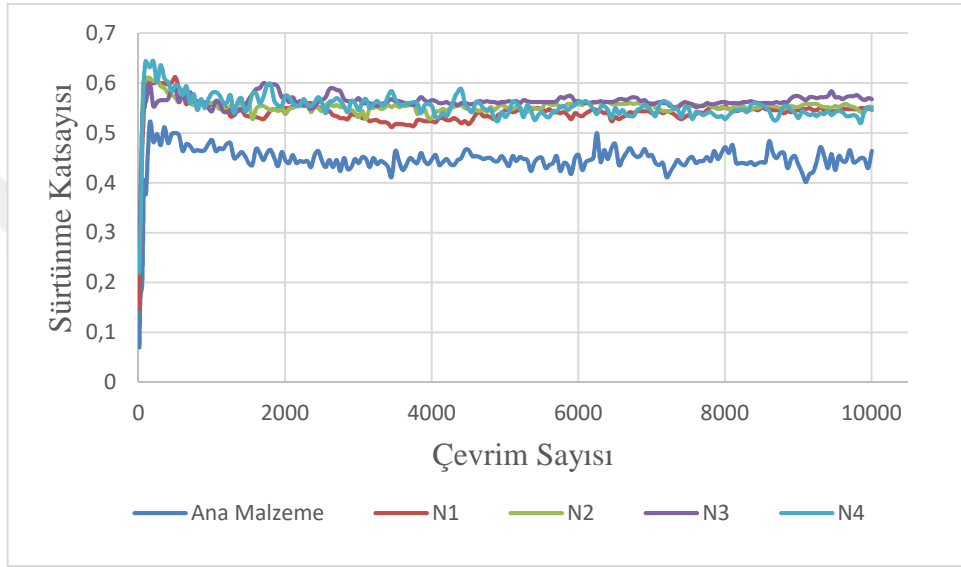
kullanılan en yüksek akım de erinde en yüksek yüzey sertli inin ölçüldü ü rapor edilmi tir [28]. Li ve arkadaş ları, Al-Si ala ımlarının korozyon dayanımı artırmak amacıyla farklı parametrelerde anodik oksidasyon, sert anodik oksidasyon ve dekoratif anodik oksidasyon i lemlerinin uygulandı ı bir çalı ma gerçekle tirmi lerdir. Yaptıkları çalı mada, kaplama sertliklerinin 399-460HV de erleri aralı ında olduklarını belirtmi lerdir. Bu oksit tabakalarında artan akım yo unlu unun oksit tabakasının yüzey sertli ini artırdı ı ve sert anodik oksidasyon i leminin uygulandı ı -4,0°C sıcaklıkta, 22°C sıcaklı a göre daha yüksek sertlik de erlerinin ölçüldü ünü rapor edilmi lerdir [39]. Dejun ve arkadaş ları da AA7475 alüminyum ala ımının anodik oksidasyon i lemi sonrası sürtünme ve a ınma davranı ının incelenmesi amacıyla yaptıkları çalı mada anodik oksidasyon i lemi sonrası yüzey sertli inin arttı ı ve elde edilen yüksek sertlik neticesinde a ınma dayanımının arttı ını bildirmi lerdir [52]. Bozza ve arkadaş ları ise AA7075-T6 ala ımına uyguladıkları sert anodik oksidasyon i leminde farklı akım yo unlu u uygulamalarının etkisini inceledikleri ve anodik oksidasyon i lemi sonrası yapılan sertlik ölçümlerinde 200-310 HV elde ettiklerini ve artan sıcaklıkla birlikte sertlik de erlerinin artı ının azaldı ını bildirilmi lerdir [57].

Yapılan sertlik ölçümleri ve ANOVA analizi sonucunda anodik oksidasyon i lemi ile ana malzeme olarak kullanılan AA7075 malzemenin yüzey sertli ini artıran yüksek dayanımlı Al₂O₃ tabakasının elde edilebilece i ve oksidasyon parametreleri kullanılarak hedeflenen sertlik de erine eri ile bilinece i görülmü tür. Yapılan de erlendirmelerde, 1,5 A/dm², 4°C ve 140dk parametreleri kullanılarak oksitleme yapılmı olan numunenin en yüksek sertlik de erine eri mi oldu u belirlenmi tir. Ana malzemeye kıyasla oksitlenmi numunelerin tümünde elde edilen yüksek yüzey sertli i, malzemelerin a ınma dayanımını büyük ölçüde arttırması beklenilmekte olup, kullanılacak malzemelere anodik oksidasyon i lemi uygulanarak imal edilecek olan silahların kullanım ömründe önemli miktarda artı sa lanımı olunaca ı tahmin edilmektedir.

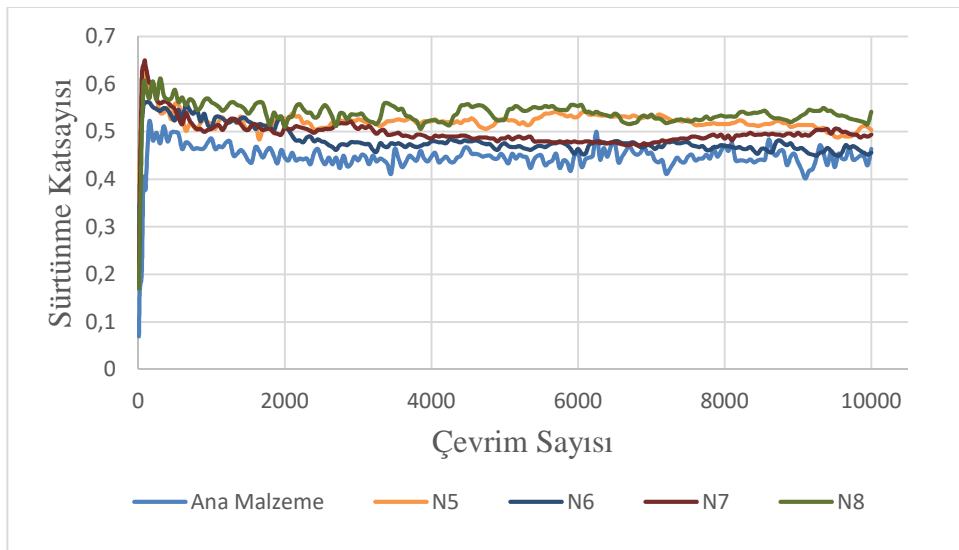
3.5. A ınma Deneyi Analizi

AA7075-T6 ala ımının a ınma dayanımının artırılması için uygulanan anodik oksidasyon i leminin farklı parametrelerin etkisinin incelenmesi amacıyla Taguchi deney tasarımı ile Tablo 17’de belirtilen artlarda üretilen numunelerin a ınma deneyleri ball-on-disk a ınma deney cihazı ile Al₂O₃ a ındırıcı uç kullanılarak yapılmı tir. Yapılan deneylerde her bir numuneye 5N yük uygulanarak, 300 dev/dk devir sayısında (v=0,3 m/s çevresel

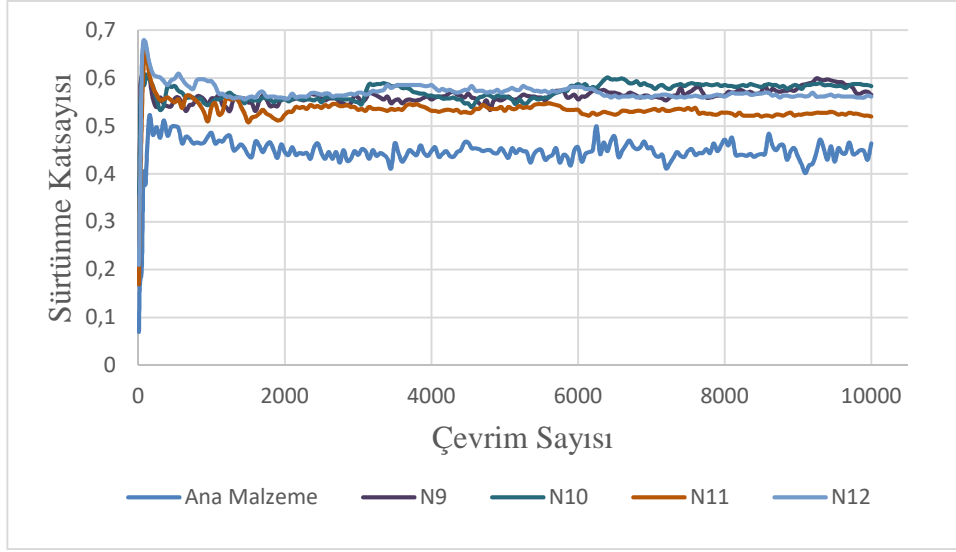
hızda), 10.000 çevrim sayısında ve 19 mm iz çapında gerçekleştirilmiştir. Anodik oksidasyon işlemi sonrasında elde edilmiş olan numunelerin sürtünme katsayısında ana malzemeye oranla artış görülmüştür. Yapılan aşınma deneyleri sonrasında elde edilmiş olan sürtünme katsayılarının ana malzeme ile karşılaştırıldığı grafikler ekil 45-48'de verilmiştir. Tablo 28 ve ekil 49'de yapılan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen sürtünme katsayıları verilmiştir.



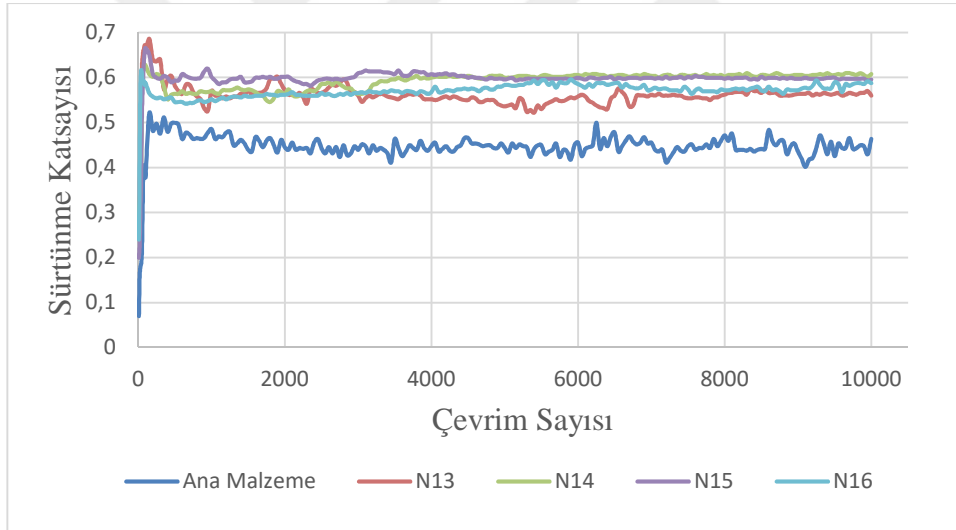
ekil 45. Ana Malzeme, N1, N2, N3, N4 numunelerinin 5N yükte ve 10000 çevrimde elde edilen sürtünme katsayısı eğrileri



ekil 46. Ana Malzeme, N5, N6, N7, N8 numunelerinin 5N yükte ve 10000 çevrimde elde edilen sürtünme katsayısı eğrileri



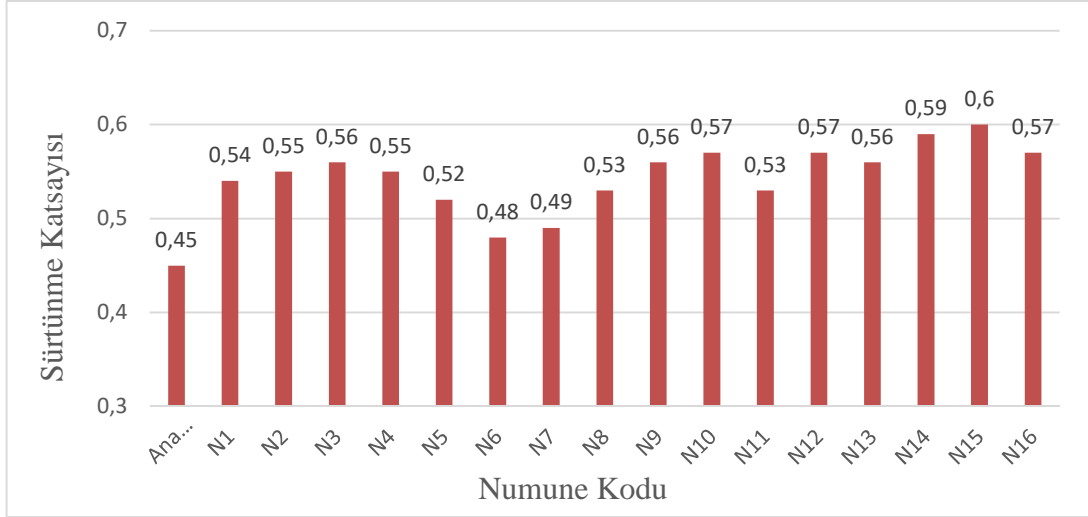
ekil 47. Ana Malzeme, N9, N10, N11, N12 numunelerinin 5N yükte ve 10000 çevrimde elde edilen sürtünme katsayısı e rileri



ekil 48. Ana Malzeme, N13, N14, N15, N16 numunelerinin 5N yükte ve 10000 çevrimde elde edilen sürtünme katsayısı e rileri

Tablo 28. 5N yük ve 10000 çevrim sayısında yapılan a nma deneyleri sonucu elde edilen sürtünme katsayıları

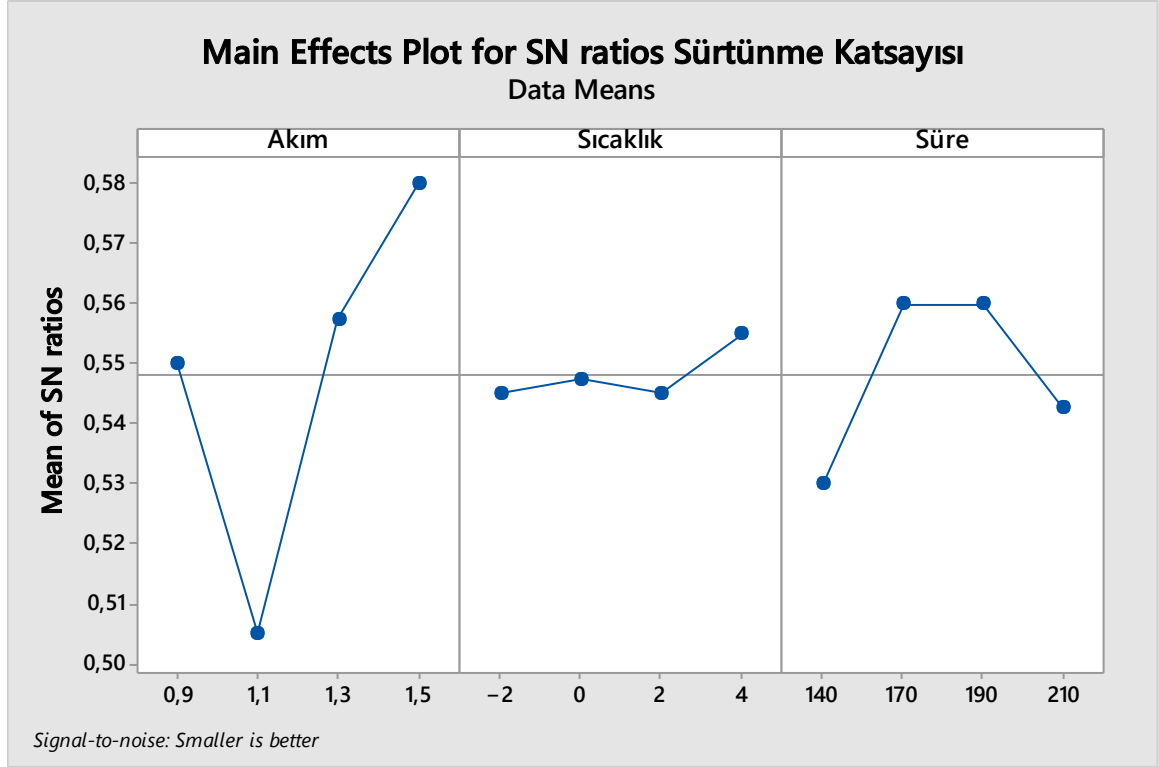
Sürtünme Katsayısı (μ)							
N1	0,54	N5	0,52	N9	0,56	N13	0,56
N2	0,55	N6	0,48	N10	0,57	N14	0,59
N3	0,56	N7	0,49	N11	0,53	N15	0,6
N4	0,55	N8	0,53	N12	0,57	N16	0,57
Ana Malzeme Sürtünme Katsayısı= 0,45							



ekil 49. Numunelerin sürtünme katsayısı de i im grafi i

Sürtünme katsayılarının verildi i Tablo 28 ve ekil 45-49 incelendi inde ana malzemenin sürtünme katsayısı 0,45 olarak ölçülmü tür. Anodik oksidasyon i lemi sonrası numunelerin sürtünme katsayılarının arttı ı ve N6 (1,1 A/dm², 0°C ve 140dk) kodlu numunede en dü ük de er 0,48 ve N15 (1,5 A/dm², 2°C ve 170dk) kodlu numunede en yüksek de er olan 0,6 olarak ölçülmü tür. Benzer bir çalı mada Kim ve arkadaş ları alüminyumun anodik oksidasyon i lemi ile farklı boyutlarda elde edilen porların sürtünme davranı nın incelemi , anodik oksidasyon i lemi sonucunda kaplamasız numuneye göre daha pürüzlü yüzey elde edilen kaplamalı numunelerde sürtünme katsayısının daha yüksek oldu u belirtilmi tir [62].

Proses parametrelerinin sürtünme katsayısına etkisi elde edilen verilerin ANOVA analizi ile gerçekte tirilmi ve bu analiz sinyal gürültü oranı (S/N) kullanılarak belirlenmi tir. Sürtünme katsayısının S/N oranları Minitab programı ile daha dü ük daha iyi (smaller is better) kriterine göre belirlenmi tir. Yapılan istatistiksel incelemeler sonucunda S/N oranı grafikleri ekil 50’de verilmi tir. Sürtünme katsayısına etki eden parametrelerinin her seviyesi için S/N oranları ve delta istatisti i Tablo 29’da verilmi tir. ekil 50 ve Tablo 29 incelendi inde sürtünme katsayısına birinci derecede etki eden parametrenin akım oldu u, ikinci derece etkili olan parametrenin süre oldu u belirlenmi tir. Sıcaklık de erlerinin üçüncü derecede ve di erlerine göre en az etkili parametre oldu u belirlenmi tir.



ekil 50. Kaplama parametrelerinin sürtünme katsayısına etkisi

Tablo 29. Sürtünme katsayısına etki eden kaplama parametrelerinin her seviyesi için S/N oranları ve delta istatisti i

Parametreler	Sürtünme Katsayısı				Delta (max-min)	Etki Derecesi
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4		
Akım	0,55	0,505	0,5575	0,58	0,075	1
Sıcaklık	0,545	0,5475	0,545	0,555	0,01	3
Süre	0,53	0,56	0,56	0,5425	0,03	2

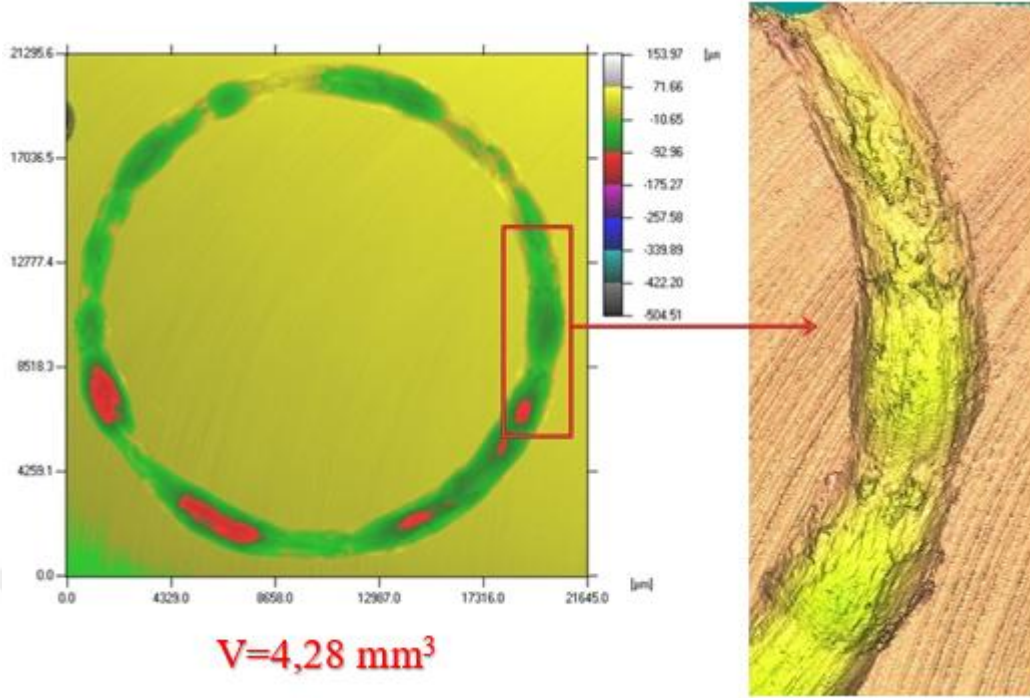
Gerçekle tirilen ANOVA analizinden elde edilen sonuçlar Tablo 30'da verilmi tir. ANOVA analiz tablosu incelendi inde sürtünme katsayısı üzerinde en etkili olan anodik oksidasyon akımının sürtünme katsayısındaki artı a katkısı %74,91, anodik oksidasyon süresinin sürtünme katsayısındaki artı a katkısının %16,21 ve anodik oksidasyon sıcaklı mın sürtünme katsayısındaki artı a katkısının %1,7 oldu u belirlenmi tir.

Tablo 30. Parametrelerin sürtünme katsayısına etkisi için ANOVA analizi

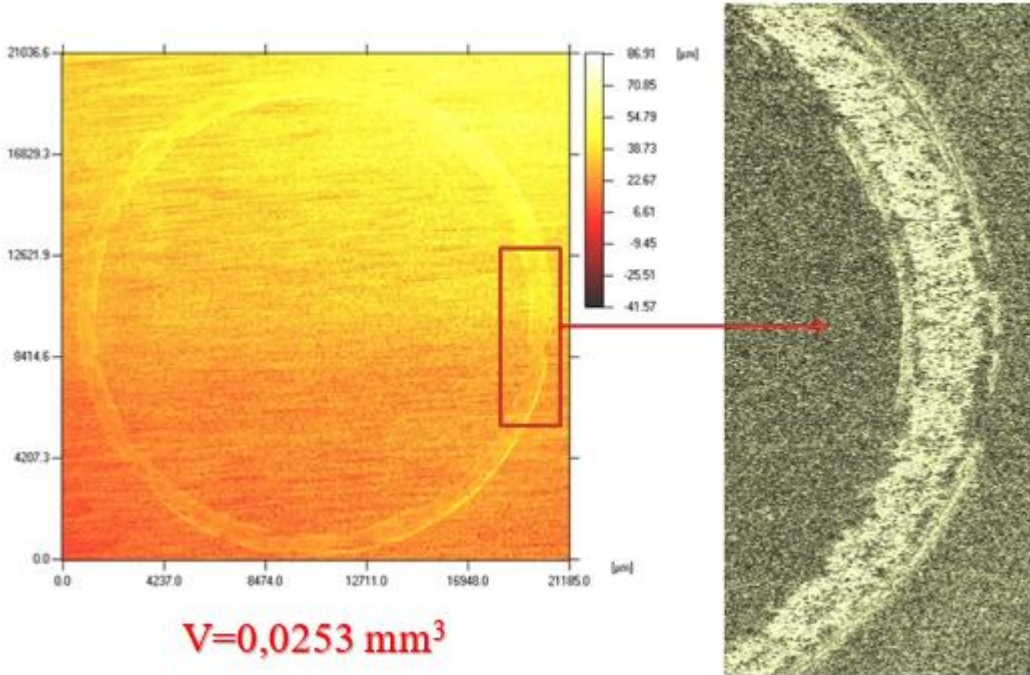
Parametreler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kareler	F De eri	P De eri	Katkı Yüzdesi (%)
Akım	3	0,011869	0,003956	20,87	0,001	74,91
Sıcaklık	3	0,000269	0,00009	0,47	0,713	1,7
Süre	3	0,002569	0,000856	4,52	0,055	16,21
Residual Error	6	0,001137	0,00019			
Toplam	15	0,015844				

ekil 50 ve Tablo 29-30 incelendi inde artan akım yo unlu u ile sürtünme katsayısı artmaktadır. Her bir akım yo unlu u grubu incelendi inde N15 (1,5A/dm², 2°C ve 170 dk) kodlu numunede en yüksek sürtünme katsayısı, N6 (1,1A/dm², 0°C ve 140 dk) kodlu numunede ise en dü ük sürtünme katsayısı bulunmu tur. Ek olarak artan süre ve sıcaklık de erleri ile de sürtünme katsayısının artı e ilimi göstermekte oldu u tespit edilmi tir. Yapılan incelemeler neticesinde bulunan sonuçlar ANOVA analizi ile ba da maktadır. Bu konuda yapılan bir çalı mada farklı gerilim uygulanarak elde edilen kaplamalarda birbirine yakın de erlerde sürtünme katsayısı elde edilmesine kar ın, yüksek voltaj de erleri ve anodik akım yo unluklarında yüzey pürüzlülü ünün azaldı ı ve bu sebeple a ınma dayanımının arttı ı belirtilmi tir [67].

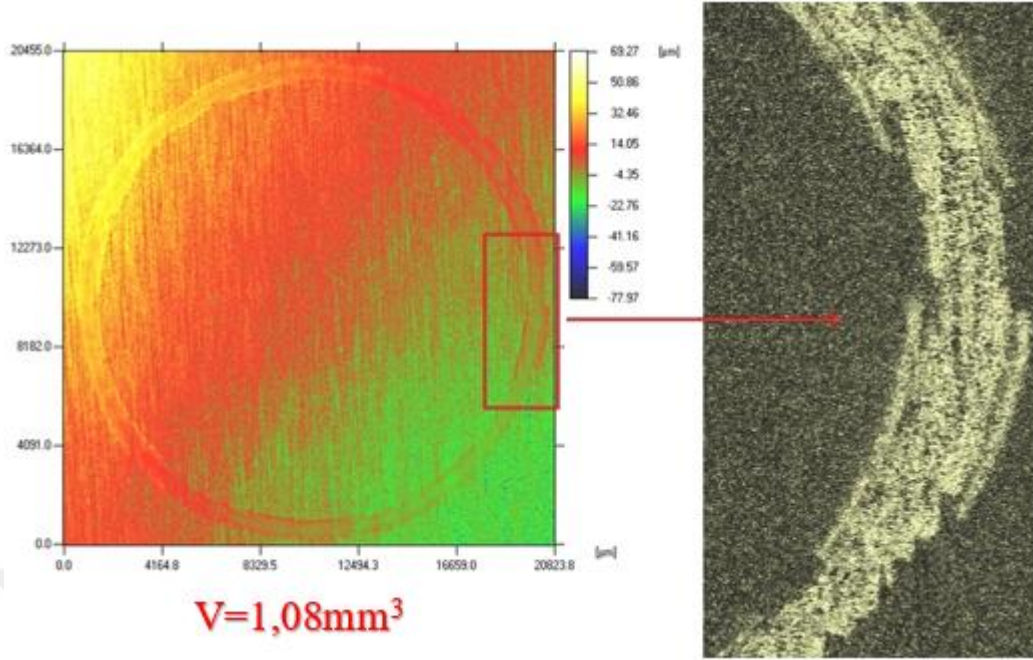
z çapı 19 mm, yük 5N ve 10.000 çevrim sayısı ile aynı ko ullar altında gerçekte tirilen a ınma deneylerinden elde edilen a ınma yüzeylerinin optik profilometre görüntüleri ekil 51-67'de verilmi tir. Bu ekillerden görülebildi i gibi uygulanan a ınma deneyleri sonucunda, oksidasyon i lemi uygulanmamı durumdaki ana numunede 4,28 mm³ hacminde a ınma elde edilirken, oksidasyon i lemi uygulanmı olan numunelerde bu de erin çok altında a ınmalar elde edilmi tir. Ana malzemenin a ınma yolu görüntüleri incelendi inde yüzeyden parça kopmaları, çizikler ve kopan parçaların tekrar yüzeye yapı tı ı, anodik oksidasyon numunelerinde ise abrazif çizikler, parça kopmaları, mikro çatlaklar ve çöküntüler tespit edilmi tir.



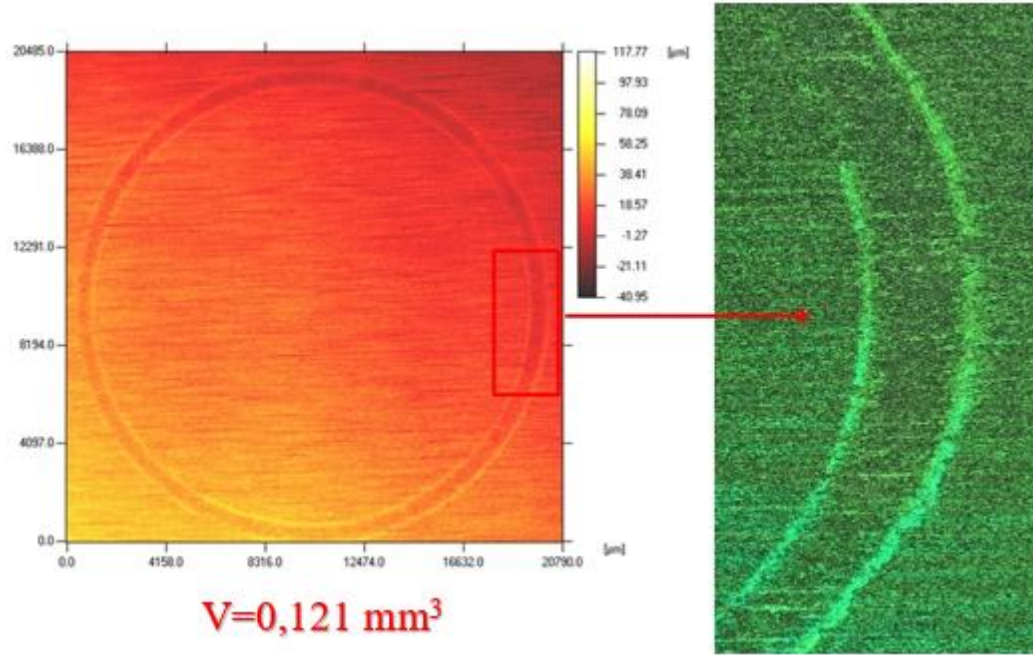
ekil 51. Ana malzemenin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü



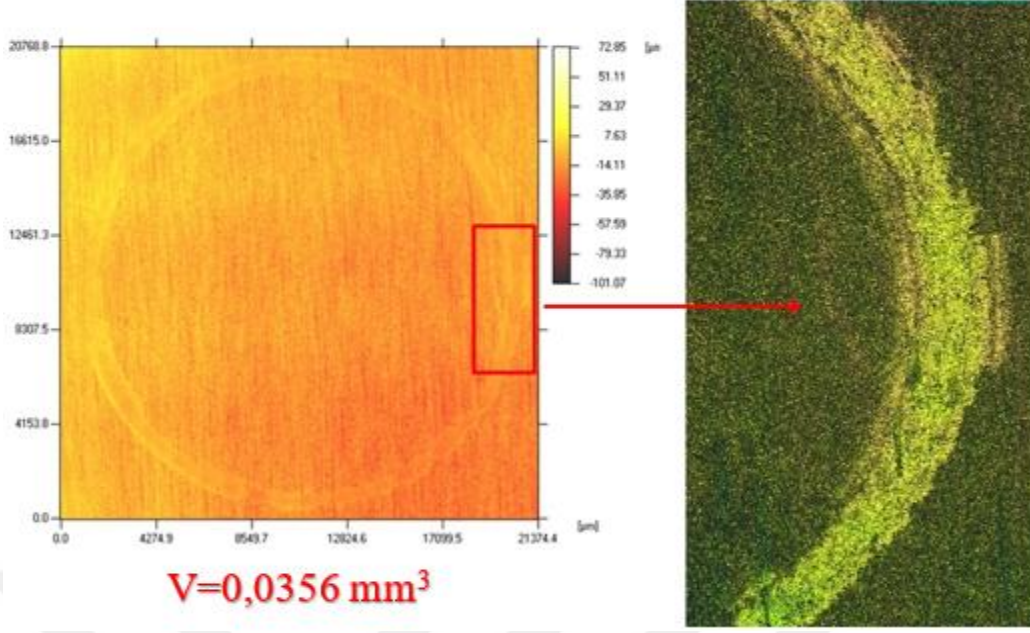
ekil 52. N1 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü



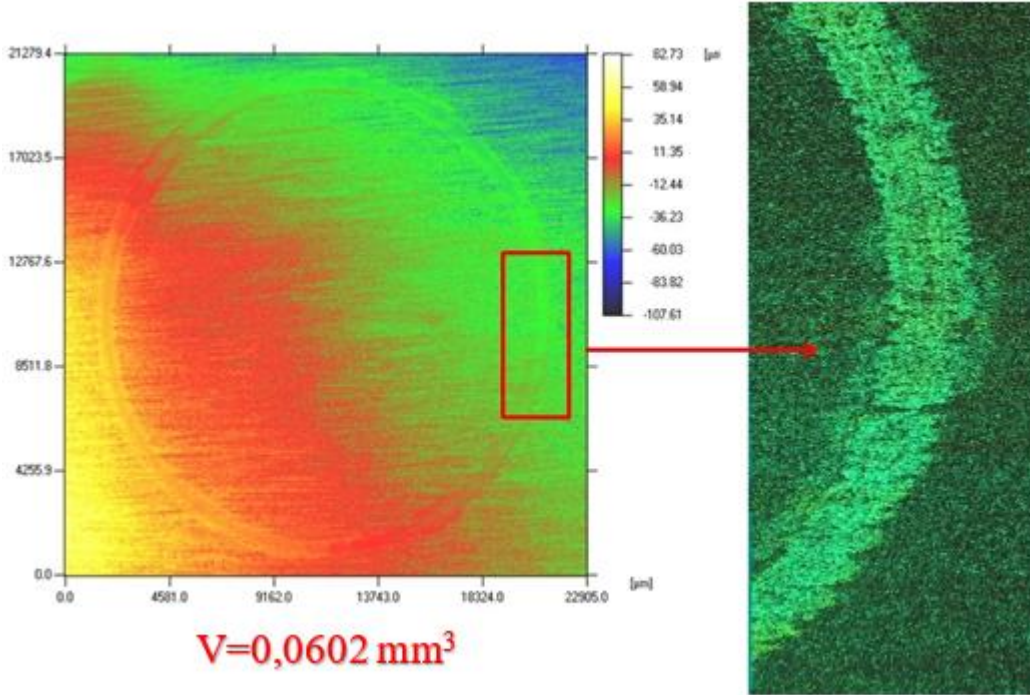
ekil 53. N2 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü



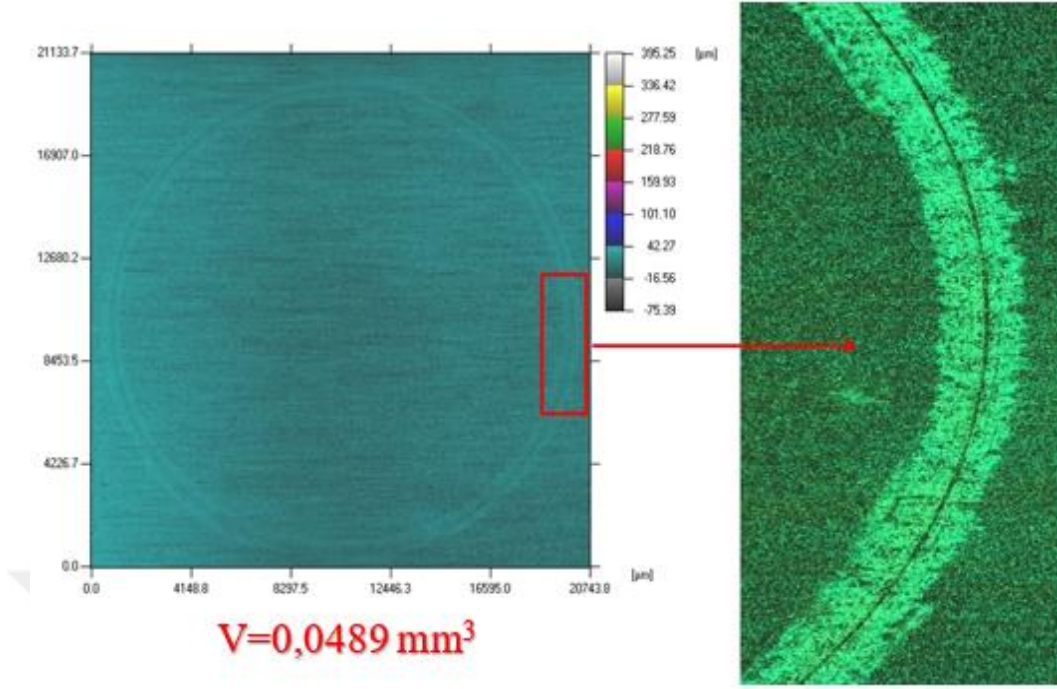
ekil 54. N3 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü



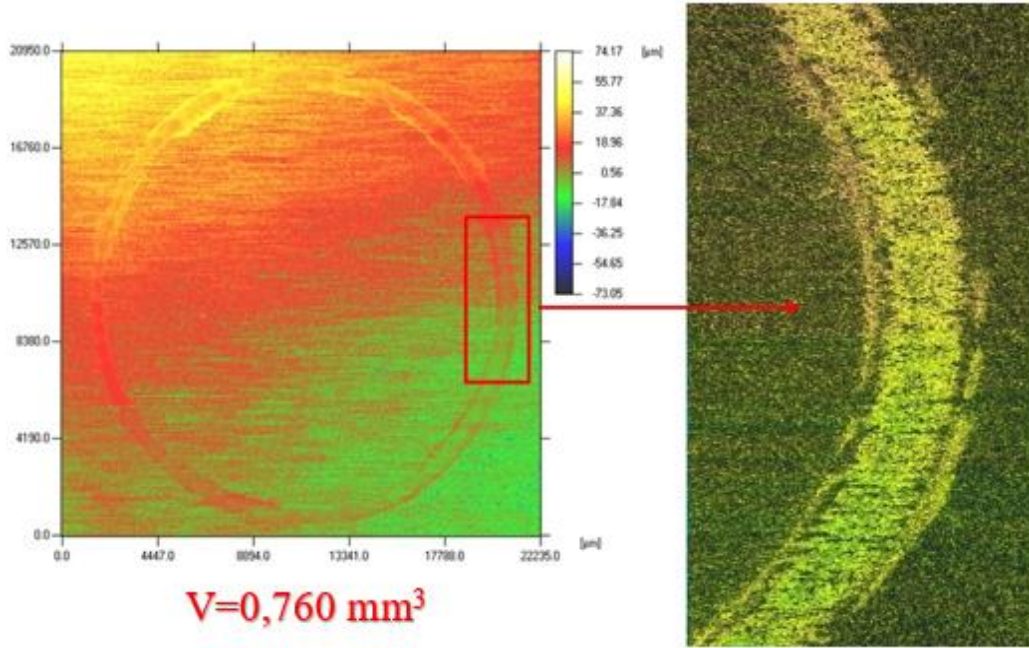
ekil 55. N4 numunesinin a inma yüzeyi optik profilometre görüntüsü



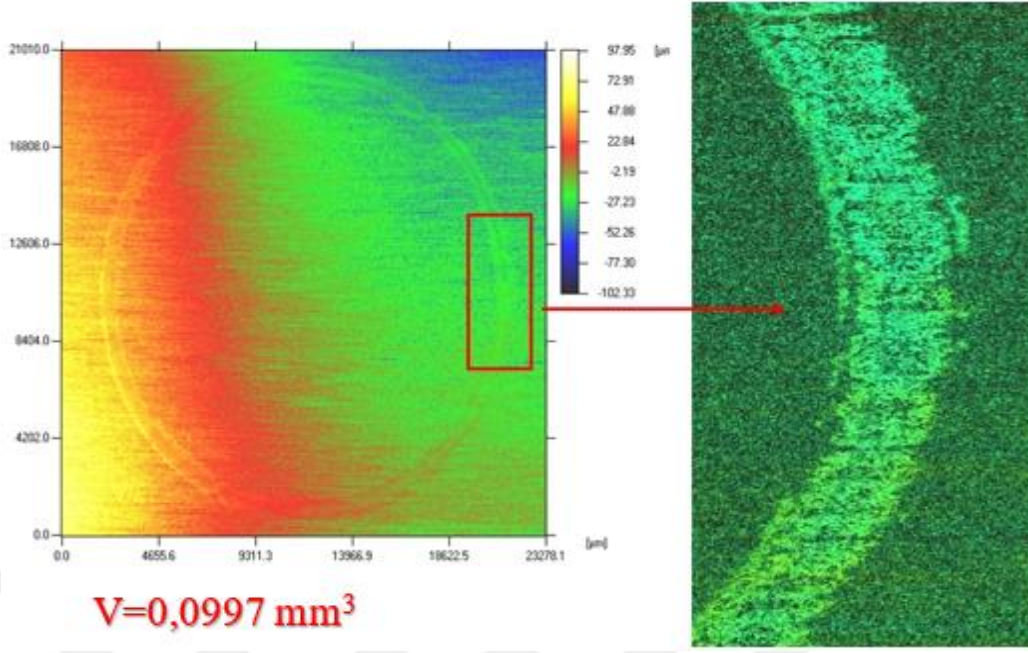
ekil 56. N5 numunesinin a inma yüzeyi optik profilometre görüntüsü



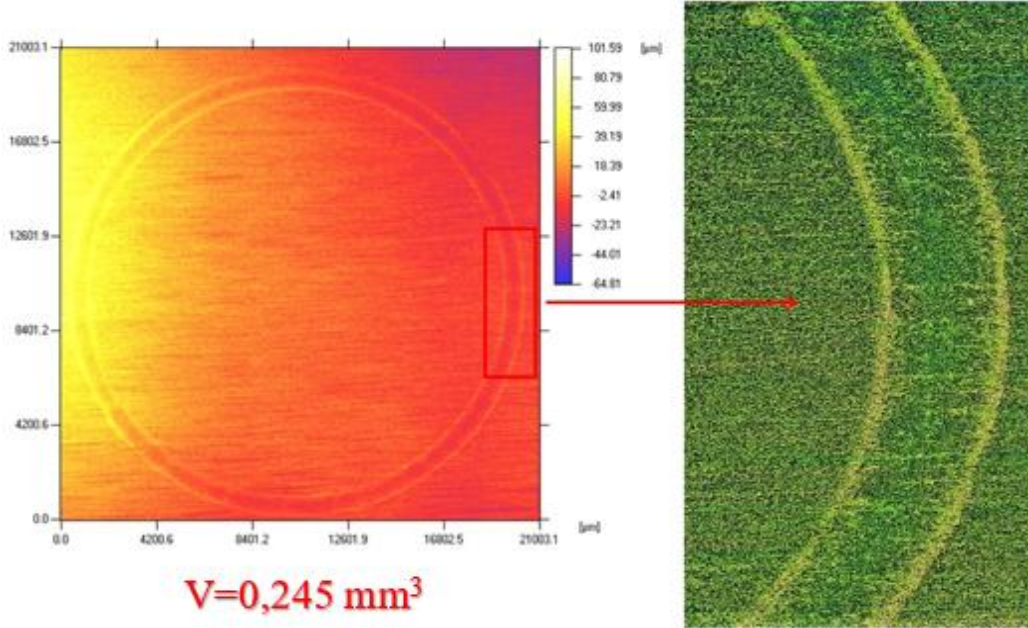
ekil 57. N6 numunesinin a inna yüzeyi optik profilometre görüntüsü



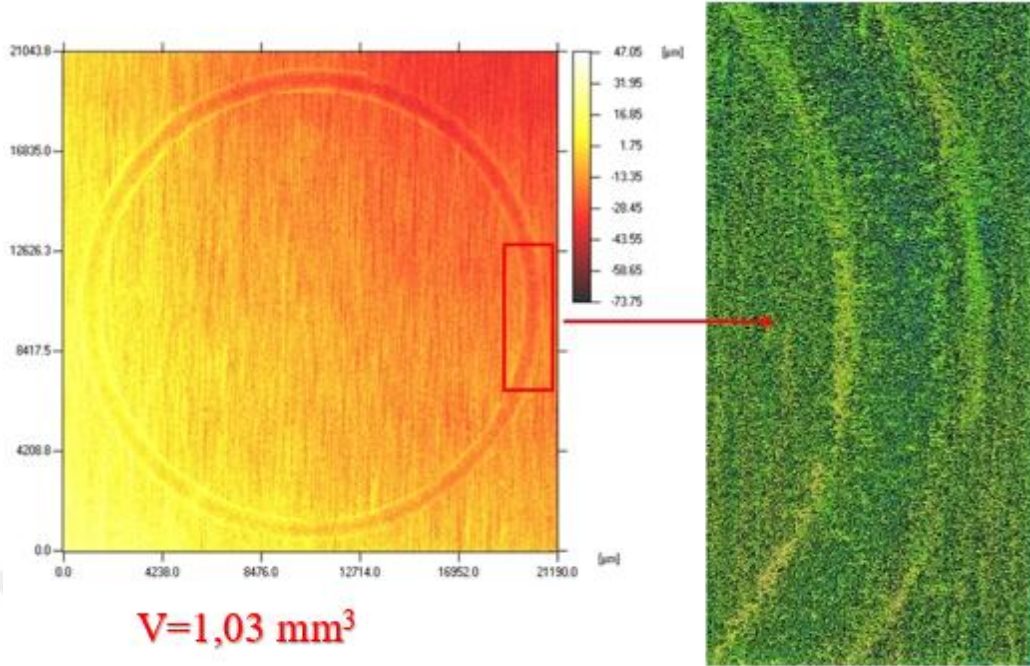
ekil 58. N7 numunesinin a inna yüzeyi optik profilometre görüntüsü



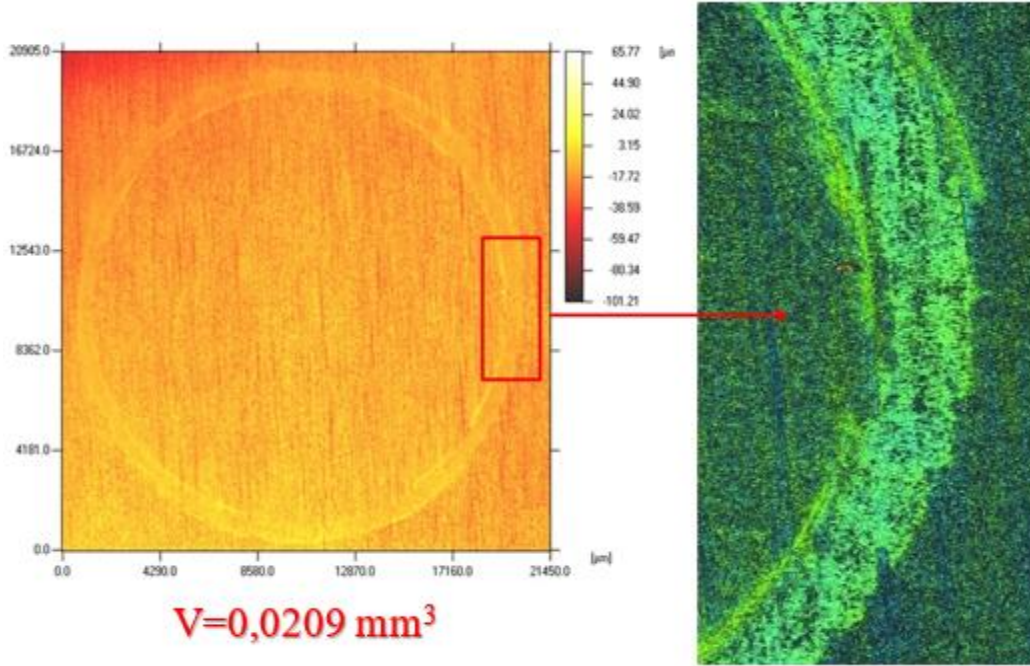
ekil 59. N8 numunesinin a inma yüzeyi optik profilometre görüntüsü



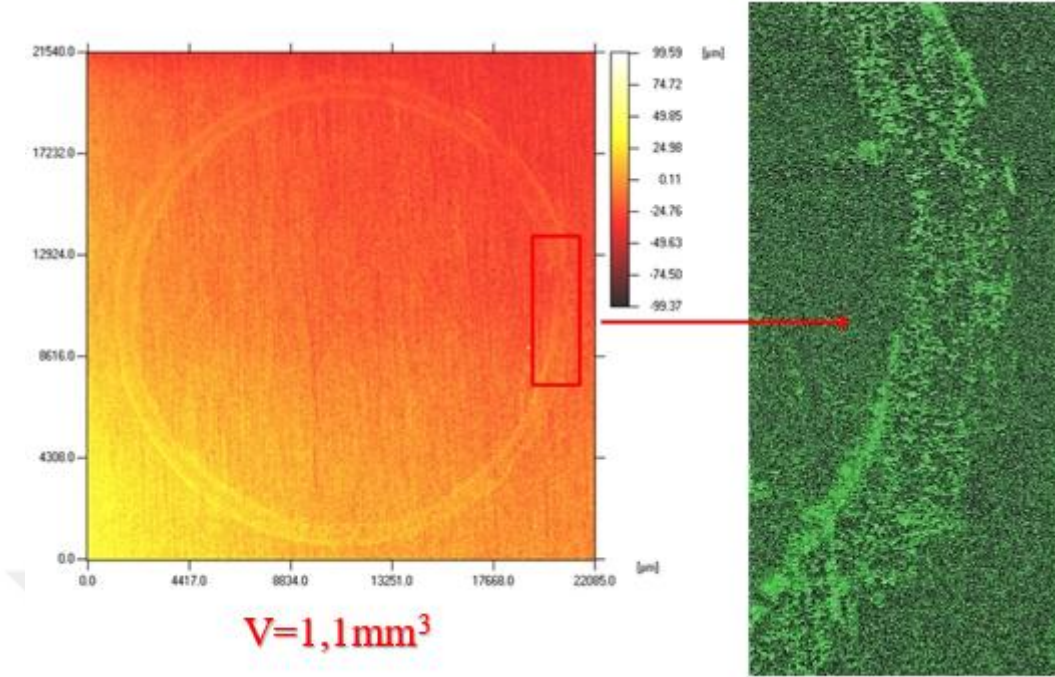
ekil 60. N9 numunesinin a inma yüzeyi optik profilometre görüntüsü



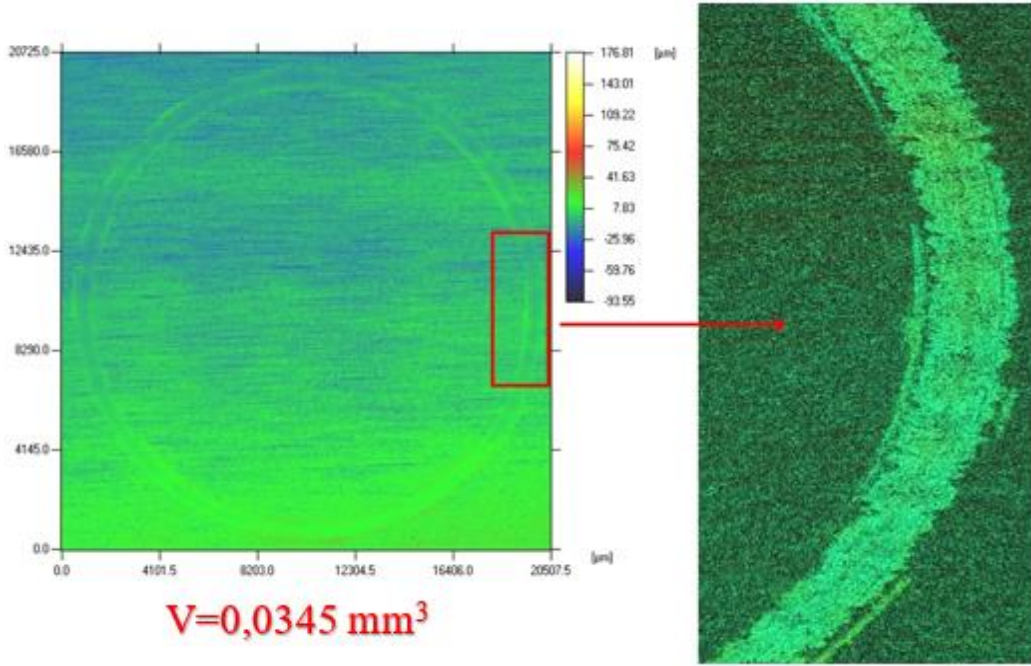
ekil 61. N10 numunesinin a-1 yüzeyi optik profilometre görüntüsü



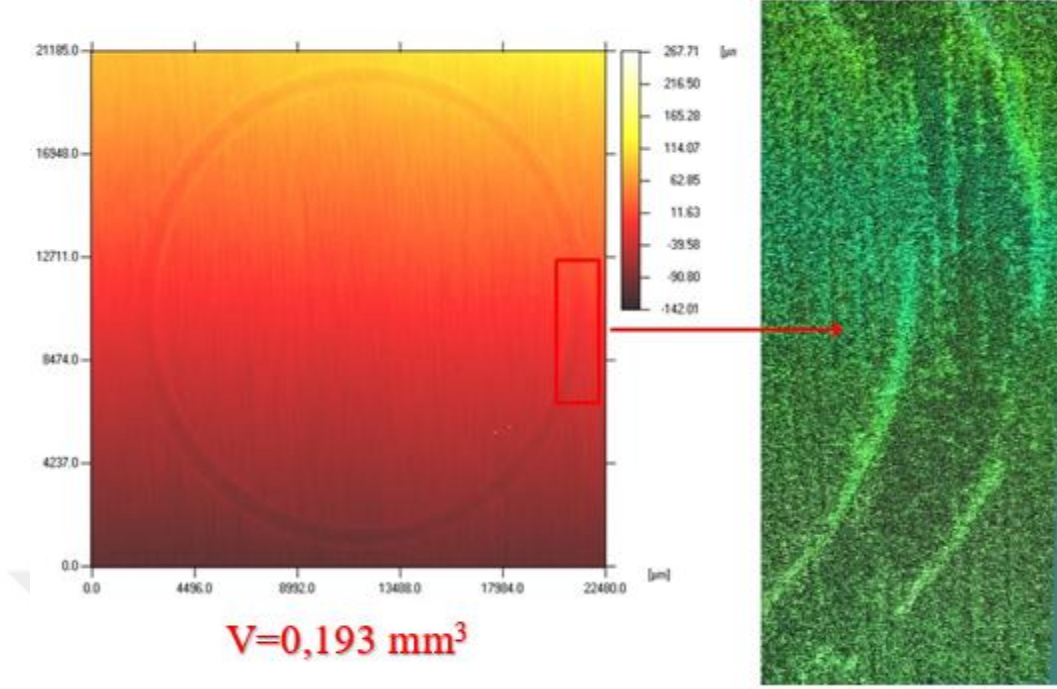
ekil 62. N11 numunesinin a-1 yüzeyi optik profilometre görüntüsü



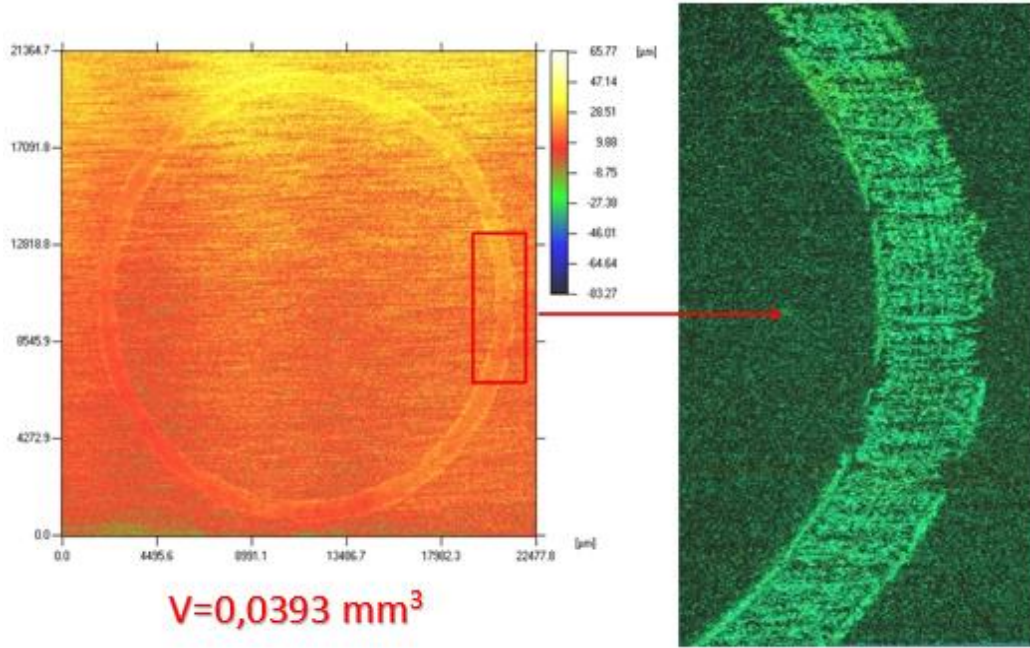
ekil 63. N12 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü



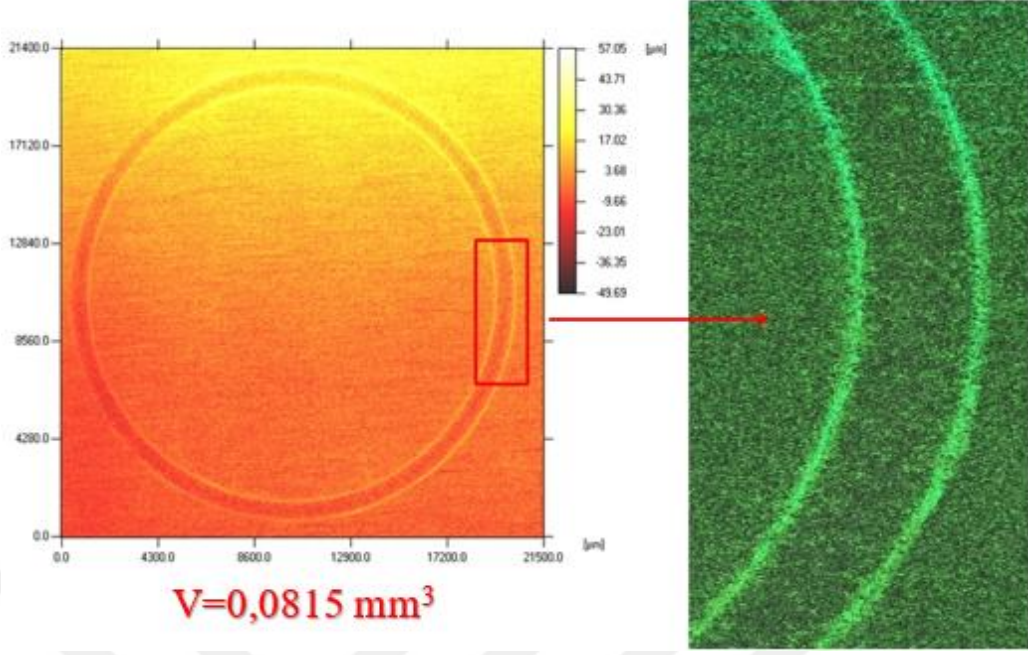
ekil 64. N13 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü



ekil 65. N14 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü



ekil 66. N15 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü

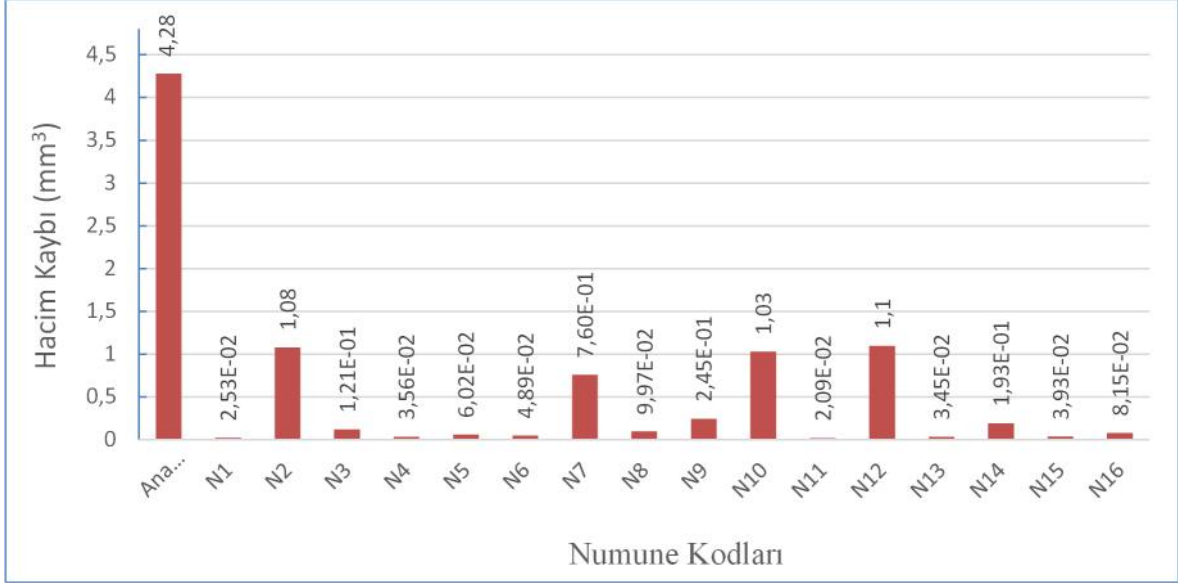


ekil 67. N16 numunesinin a ınma yüzeyi optik profilometre görüntüsü

A ınma deneyleri sonrası optik profilometre görüntülerinden elde edilen hacim kayıpları Tablo 31 ve ekil 68’de verilmi tir.

Tablo 31. A ınma deneyi sonrası numunelerin hacimsel kayıpları

Hacim Kaybı (mm ³)							
N1	0,0253	N5	0,0602	N9	0,245	N13	0,0345
N2	1,08	N6	0,0489	N10	1,03	N14	0,193
N3	0,121	N7	0,76	N11	0,0209	N15	0,0393
N4	0,0356	N8	0,0997	N12	1,1	N16	0,0815
Ana Malzeme Hacim Kaybı: 4,28 mm ³							

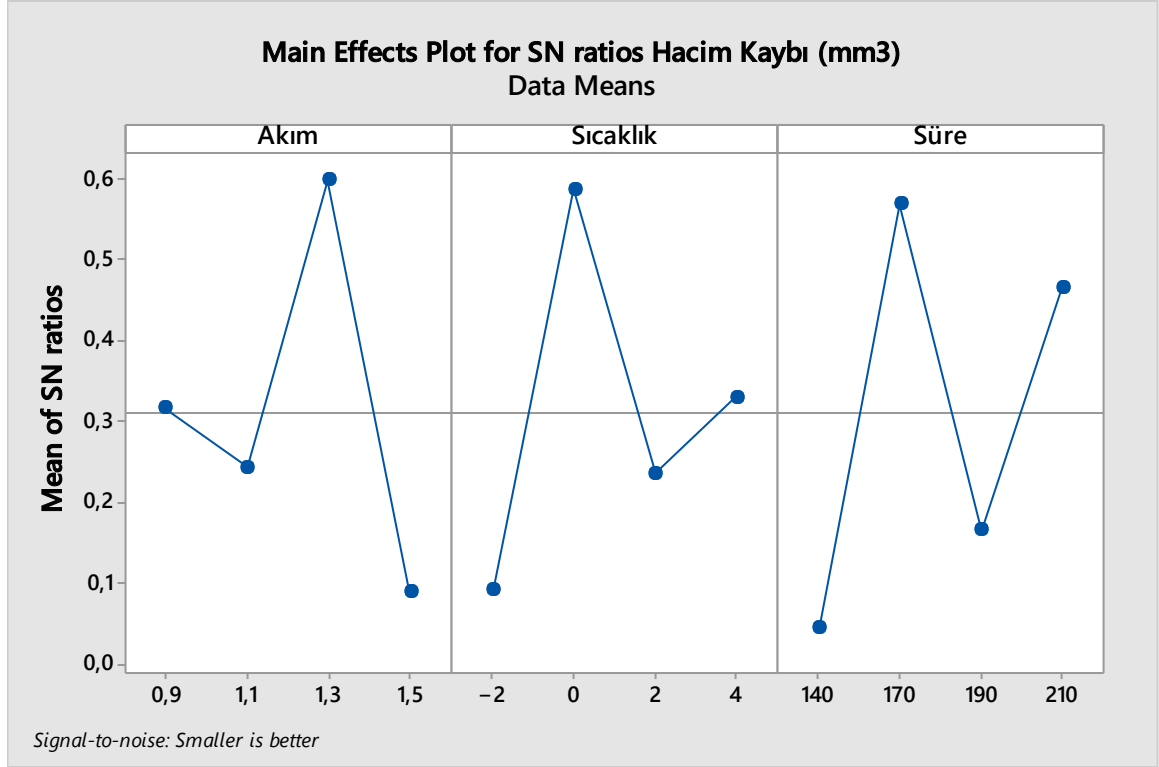


ekil 68. Numunelerin hacim kaybı de i im grafi i

A ınma deneyi sonrası olu an hacim kayıpları incelendi inde ana malzemede $4,8 \text{ mm}^3$ olarak tespit edilen hacimsel kayıp, kaplamalı numunelerde en yüksek N12 kodlu numunede $1,1 \text{ mm}^3$, en dü ük hacimsel kayıp N11 kodlu numunede $2,09\text{E-}02 \text{ mm}^3$ olarak ölçülmü tür. Elde edilen bulgular göstermektedir ki anodik oksidasyon i lemi AA7075 malzemenin a ınma dayanımını yüksek oranda artırmaktadır.

Proses parametrelerinin a ınma deneyi sonrası olu an hacimsel kayba etkisi elde edilen verilerin ANOVA analizi ile gerçekleştirilmi ve bu analiz sinyal gürültü oranı (S/N) kullanılarak belirlenmi tir. Hacim kaybının S/N oranları Minitab programı ile daha küçük daha iyi (smaller is better) kriterine göre belirlenmi tir. Yapılan istatistiksel incelemeler sonucunda S/N oranı grafikleri ekil 69'da verilmi tir. Hacim kaybına etki eden parametrelerinin her seviyesi için S/N oranları ve delta istatisti i Tablo 32'de verilmi tir.

ekil 69 ve Tablo 32 incelendi inde hacim kaybına birinci derecede etki eden parametrenin süre oldu u, ikinci derece etkili olan parametrenin akım oldu u belirlenmi tir. Sıcaklık de erlerinin üçüncü derecede ve tüm parametrelerin etki derecelerinin birbirine yakın oldu u görülmü tür.



ekil 69. Kaplama parametrelerinin a nma deneyi sonrası olu an hacim kaybına etkisi

Tablo 32. Hacim kaybına etki eden kaplama parametrelerinin her seviyesi için S/N oranları ve delta istatisti i

Parametreler	Hacim Kaybı				Delta (max-min)	Etki Derecesi
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4		
Akım	0,315475	0,2422	0,598975	0,087075	0,5119	2
Sıcaklık	0,09125	0,587975	0,2353	0,3292	0,496725	3
Süre	0,04415	0,569875	0,164675	0,465025	0,525725	1

Gerçekle tirilen ANOVA analizinden elde edilen sonuçlar Tablo 33'de verilmi tir. ANOVA analiz tablosu incelendi inde hacim kaybı üzerinde birinci derecede etkili olan anodik oksidasyon süresinin sürütünme hacimsel kayba katkısı %28,12, anodik oksidasyon akımının hacim kaybına katkısının %21,14 ve anodik oksidasyon sıcaklı ının hacim kaybına katkısının %20,11 oldu u belirlenmi tir.

Tablo 33. Parametrelerin hacim kaybına etkisi için ANOVA analizi

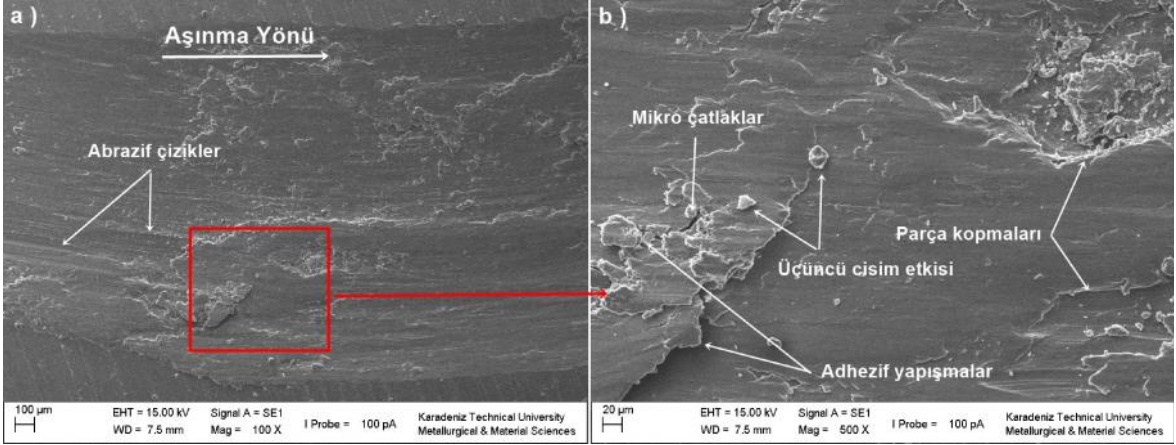
Parametreler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kareler	F De eri	P De eri	Katkı Yüzdesi (%)
Akım	3	0,5513	0,1838	1,38	0,336	21,14
Sıcaklık	3	0,5243	0,1748	1,31	0,354	20,11
Süre	3	0,7334	0,2445	1,84	0,241	28,12
Residual Error	6	0,7986	0,1331			
Toplam	15	2,6076				

ekil 51-69 ve Tablo 31-33 incelendi inde artan akım yo unlu u ile hacimsel kaybın azaldı ı tespit edilmi tir. Her bir akım yo unlu u grubu kendi içerisinde incelendi inde N11 (1,3A/dm², 2°C ve 140dk) kodlu numunede en dü ük hacimsel kayıp oldu u ve en yüksek hacimsel kaybın ise N12 (1,3A/dm², 4°C ve 170dk) kodlu numunede oldu u görülmü tür. 1,5A/dm² ile anodik oksidasyon i lemi uygulanmı N13, N14, N15, N16 kodlu numunelerde hacim kaybının di er akım parametrelerinde elde edilen sonuçlarla kar ıla tırıldı nda daha dü ük oldu u yapılan ANOVA analizi sonucunda görülmektedir. Bunun sebebi ise 1,5A/dm²’lik akım yo unlu u grubunun dü ük akım yo unlu u de erlerine göre yüzey sertli inin daha yüksek olması, oksit tabakasının daha az yüzeysel hata (çukurla malar, konik yapılı gözenekler vb.) içermesi ve aynı zamanda yüzey pürüzlülük de erinin de daha dü ük olarak elde edilmi olmasındır [48,52,62,67].

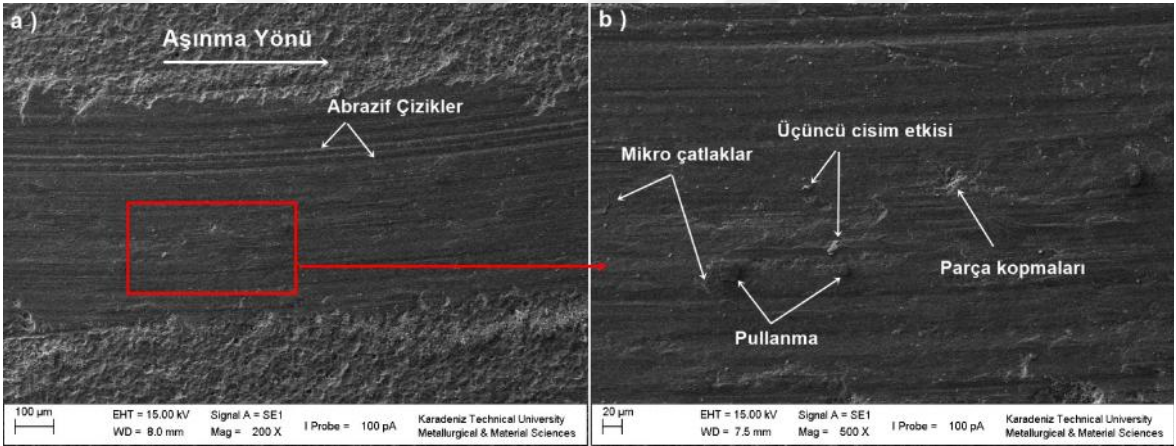
Anodizasyon i leminin en kısa süreli (140dk) olarak uygulandı ı numunelerde hacim kaybının daha az oldu u yapılan ANOVA analizleri sonucunda belirlenmi tir. Bu gruba dâhil olan N1 (0,9A/dm², -2°C ve 140dk) ve N11 (1,3A/dm², 2°C ve 140dk) kodlu numunelerde en dü ük hacimsel kayıp ölçülmü , ek olarak en yüksek mikrosertlik ölçümü yapılmı olan N16 (1,5A/dm², 4°C ve 140dk) kodlu numunesinde aynı i lem süresinde anodizasyon i lemi uygulanmı tir. Bu bulgular ı ında a ınma hacim kaybının yüksek akım ve dü ük sürelerde elde edilen kaplamalarda daha az olaca ı anlaşılmı tir. A ınma deneylerinden elde edilen bu bulgular incelenen literatür ile de örtü mektedir. Krishna ve arkadaşlarının AA6061-T6 ala ımının anodik oksidasyon i lemi sonrasında a ınma davranı larının inceledi i çalı mada anodik oksidasyon i leminin ana malzemeye göre yüzey sertli ini artırdı ı ve a ınma deneyi sonrası hacimsel kaybın artan yüzey sertli iyle önemli oranda azalmakta oldu unu bildirilmilerdir [48]. Benzer ekilde, Dejun ve arkadaşlarının AA7475 alüminyum ala ımının anodik oksidasyon sonrası sürtünme ve

anma davranı larının inceledi i çalı mada anodik oksidasyon i lemi ile elde edilen yüksek yüzey sertliklerinin anma dayanımını artırdı nı rapor etmi lerdir [52]. Li ve arkada larının anodik oksidasyon i leminde uygulanan voltaj de erlerinin oksit tabakasının yapısı ve anma davranı na etkisini inceledikleri çalı mada ise artan voltaj de erleri ile yüksek akım yo unlu u de erlerinin elde edildi ini ve dü ük i lem sürelerinde anma dayanımın daha yüksek oldu unu rapor etmi lerdir [67].

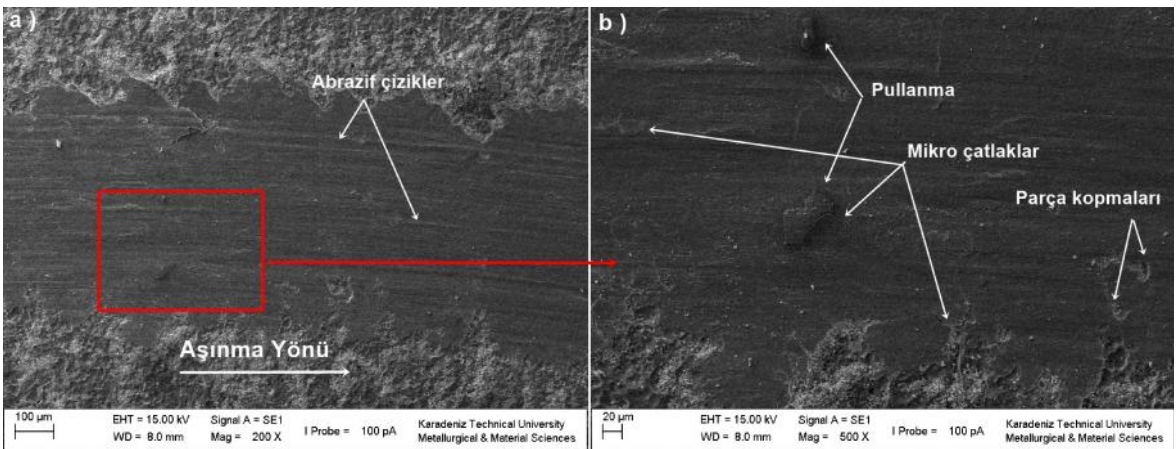
z çapı 19 mm, yük 5N ve 10.000 çevrim sayısı ile gerçekleştirilen anma deneylerinden elde edilen anma yollarının taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri ekil 70-86'da verilmi tir. Elde edilen bu görüntülerde ana malzemede kopan parçaların yer yer anma yolu yüzeyine tekrar sıvama ekinde yapı maktadı ve bu yapıya ek olarak abrazyon anma etkileri görülmektedir. Anodik oksidasyon i lemi uygulanmı numunelerde ise abrazyon anma izlerine ek olarak mikro çatlaklar ve üçüncü cisim etkilerinin belirgin bir ekinde öne çıktı ı görülmektedir. Bu durum, anodik oksidasyon i leminin ardından farklı yükler altında hem ana malzeme hem de kaplanmı numunelerin sürtünme ve anma davranı larının incelendi i Dejun ve arkada ları tarafından yapılmı bir çalı mada ana malzemede kopan parçaların yüzeye yapı tı ı ve yüzeyde çiziklerin olu tu u ve bu sebeple anma mekanizmasının adhezif anma oldu u, kaplanmı numunelerde ise yüzeylerde çizikler ve parça kopmalarının olu tu u ve bu sebeple anma mekanizmasının abrazyon anma olarak tespit edildi i bildirilmi tir [52]. Kim ve arkada ları tarafından yapılmı di er bir çalı mada alüminyum ala ımlarına kaplanan nano gözenekli oksit kaplamaların tribolojik davranı ları incelenmi ve yapılan incelemelerde oksit tabakasının yüzeyine indirici bilyadan kopan parçacıkların yapı tı ı, yüzeyler de abrazyon çiziklerin olu tu u ve anodik oksit tabakasından parça kopmaların oldu u belirtilmi tir [62].



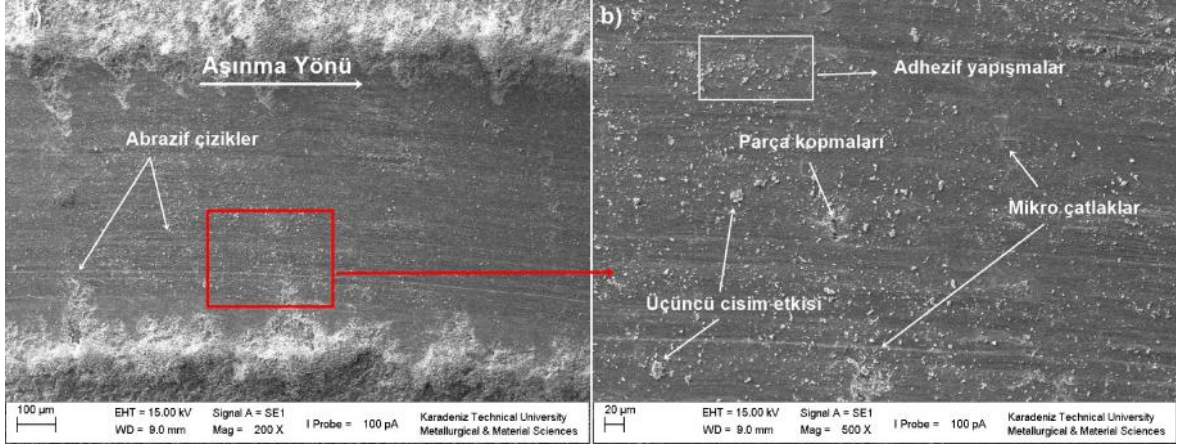
ekil 70. Ana malzemenin a) 200X büyütmeye, b) 500X büyütmeye



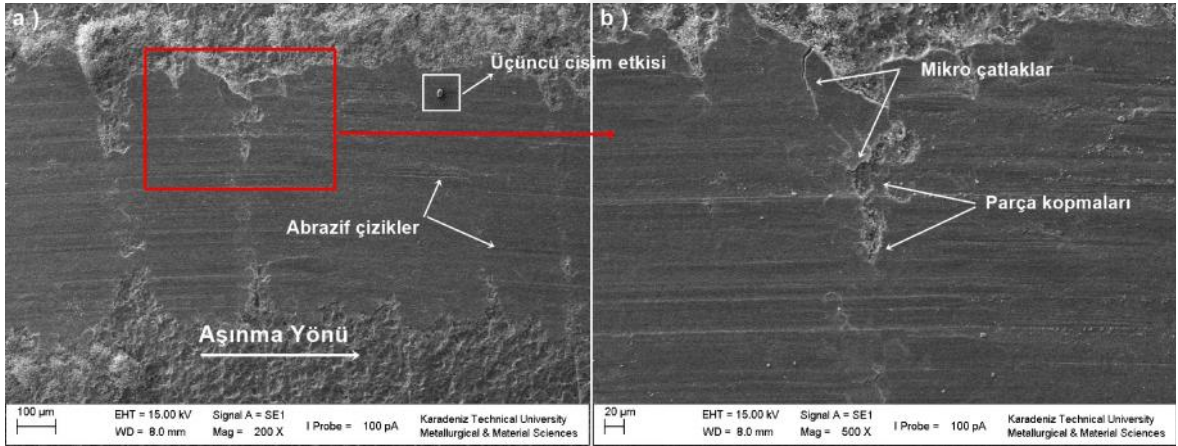
ekil 71. N1 numunesinin a) 200X büyütmeye, b) 500X büyütmeye



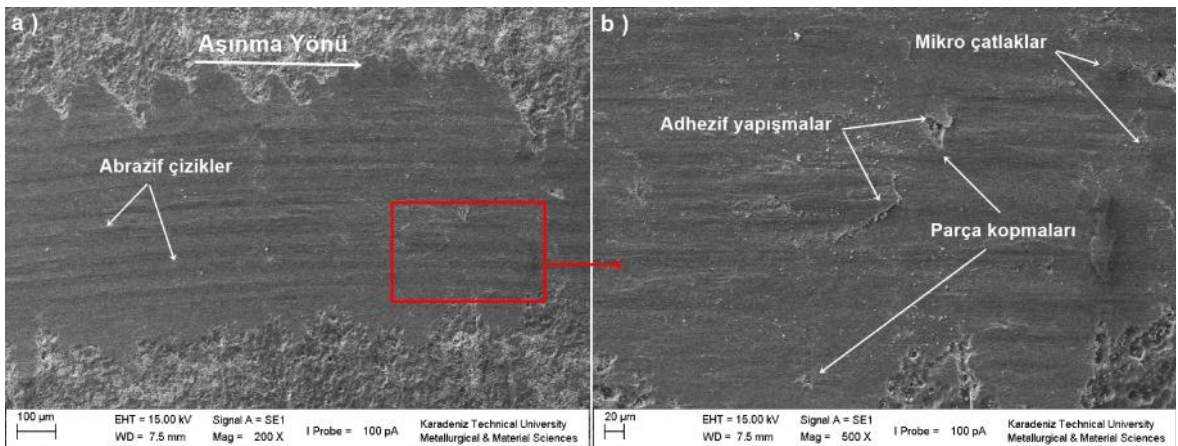
ekil 72. N2 numunesinin a) 200X büyütmeye, b) 500X büyütmeye



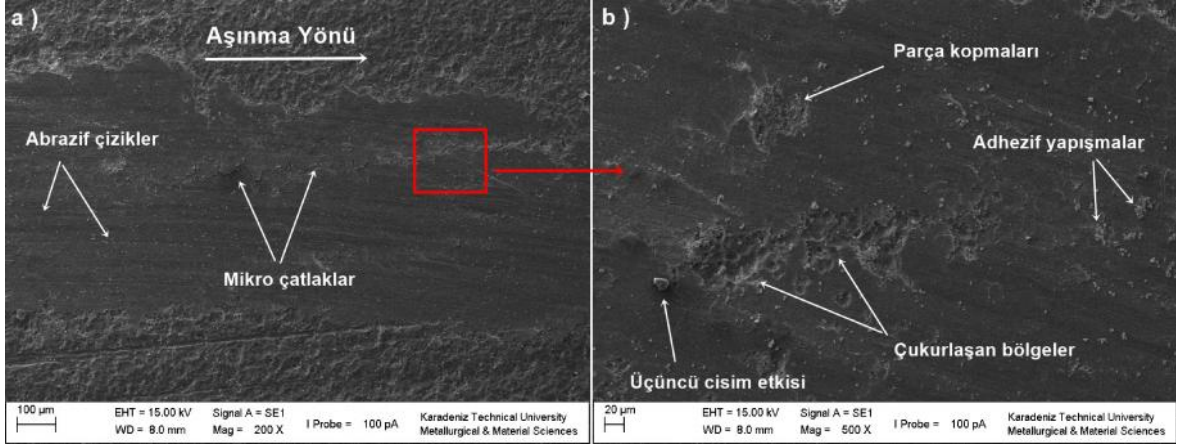
ekil 73. N3 numunesinin a) inme yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme



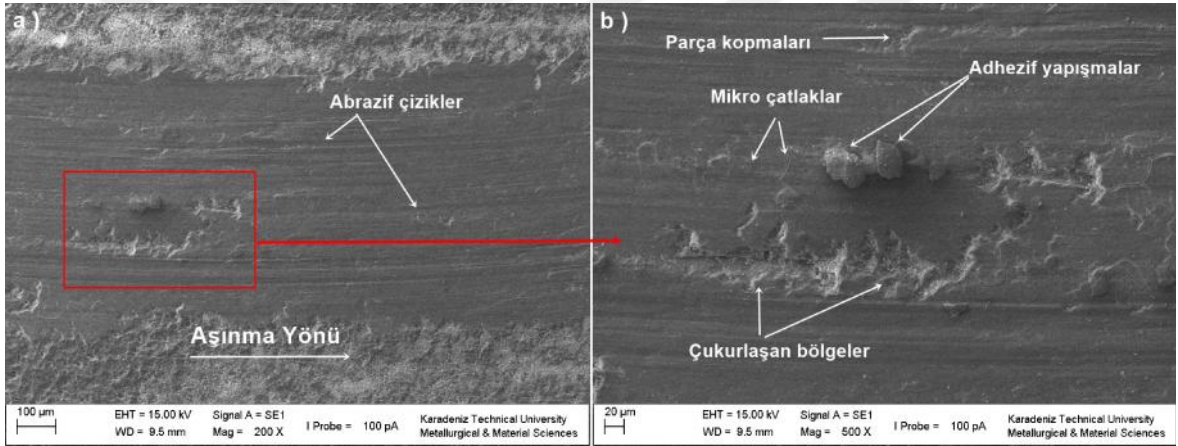
ekil 74. N4 numunesinin a) inme yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme



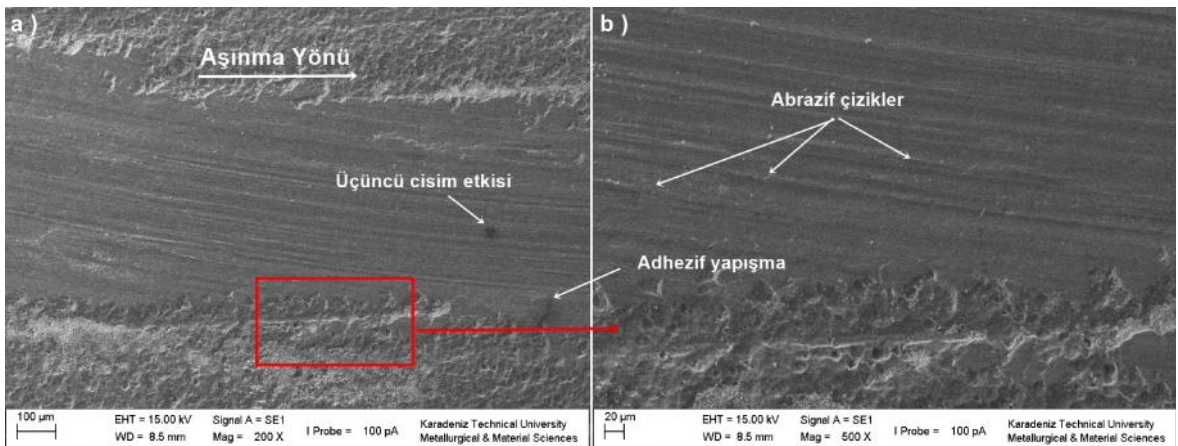
ekil 75. N5 numunesinin a) inme yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme



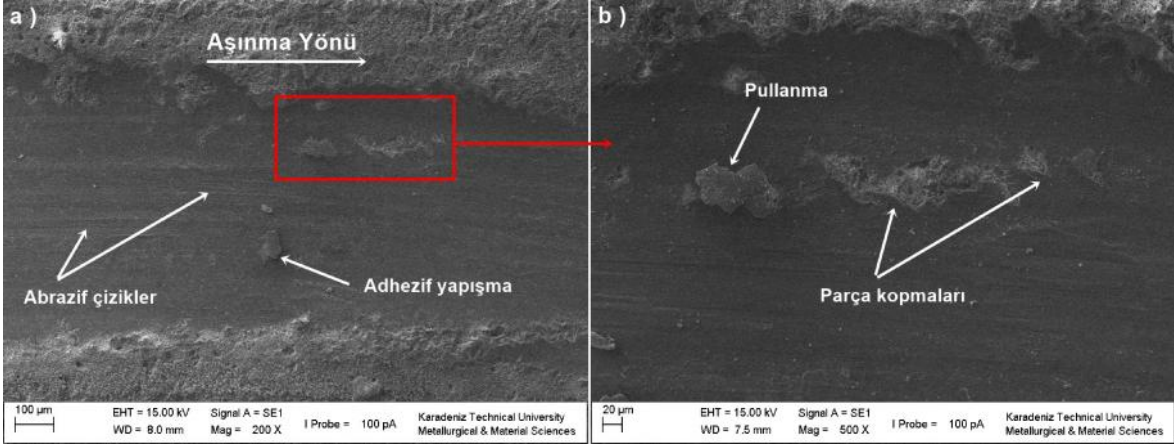
ekil 76. N6 numunesinin a) inme yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X Büyütme



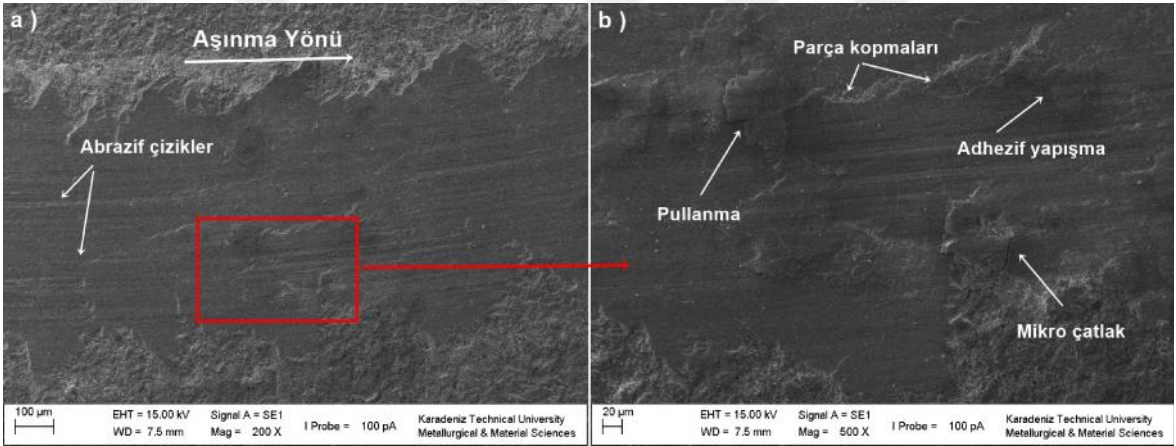
ekil 77. N7 numunesinin a) inme yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme



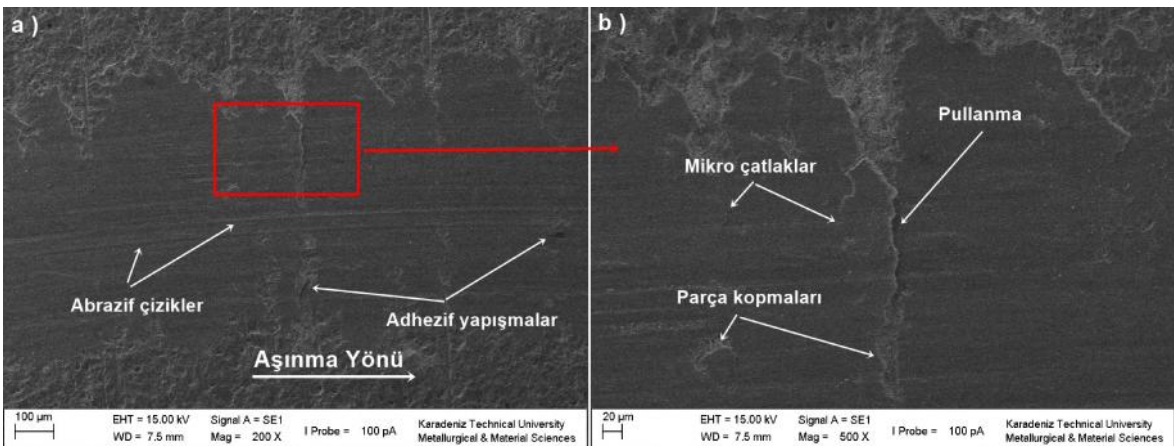
ekil 78. N8 numunesinin a) inme yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme



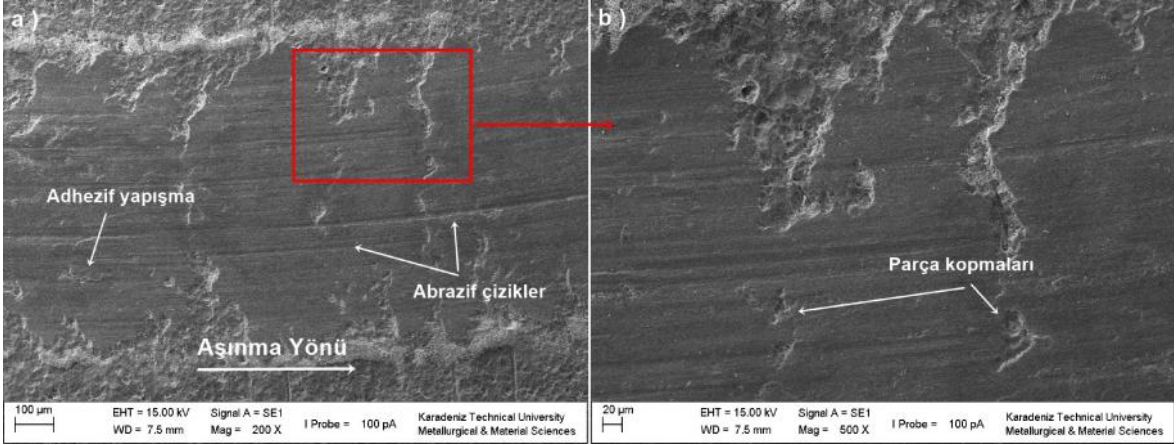
ekil 79. N9 numunesinin a) 200X büyütmeye, b) 500X büyütmeye



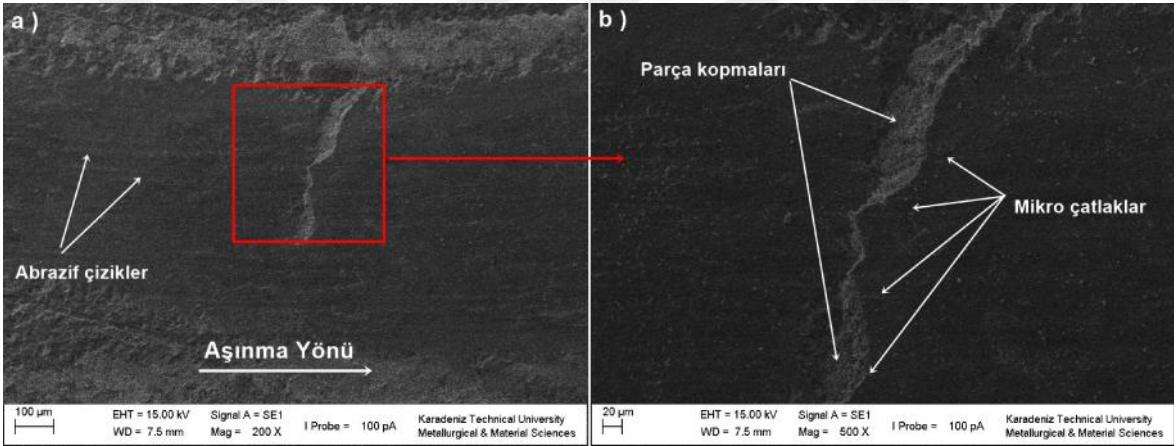
ekil 80. N10 numunesinin a) 200X büyütmeye, b) 500X büyütmeye



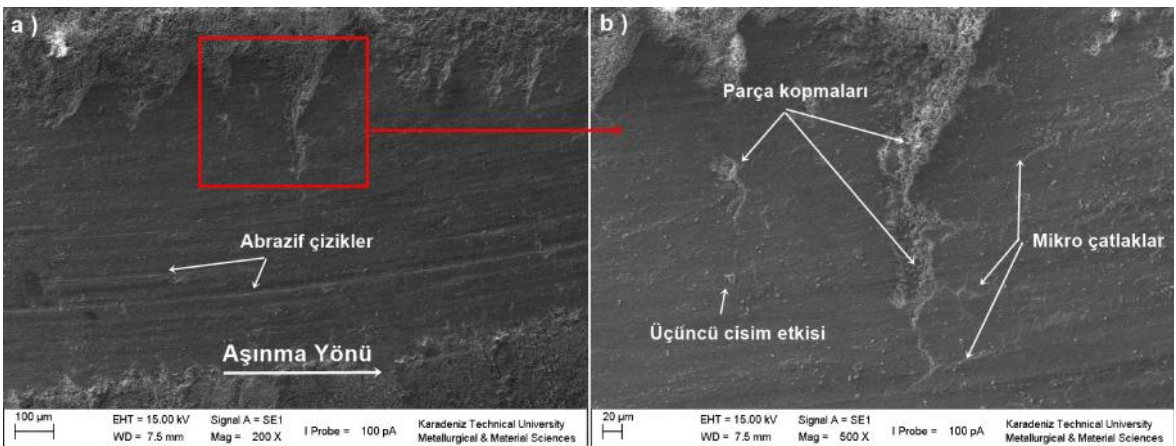
ekil 81. N11 numunesinin a) 200X büyütmeye, b) 500X büyütmeye



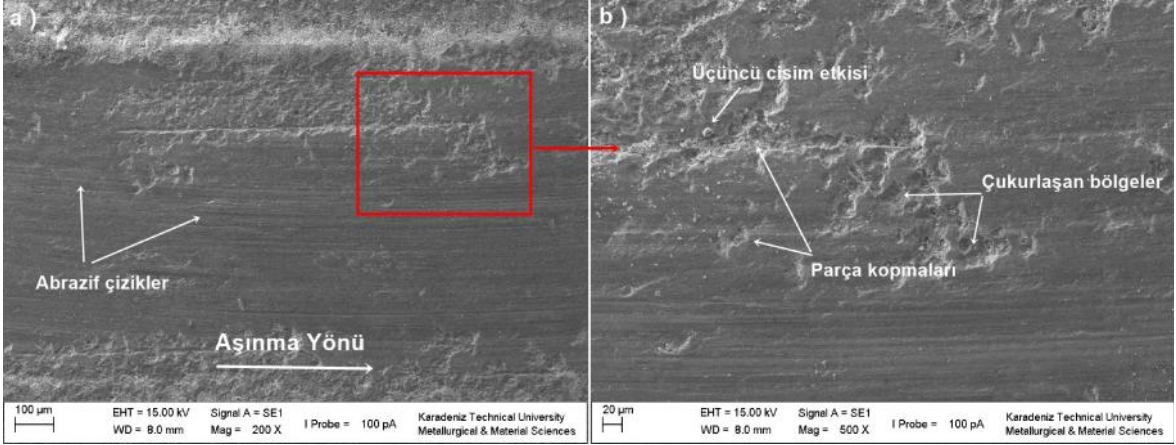
ekil 82. N12 numunesinin a) aşınma yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme



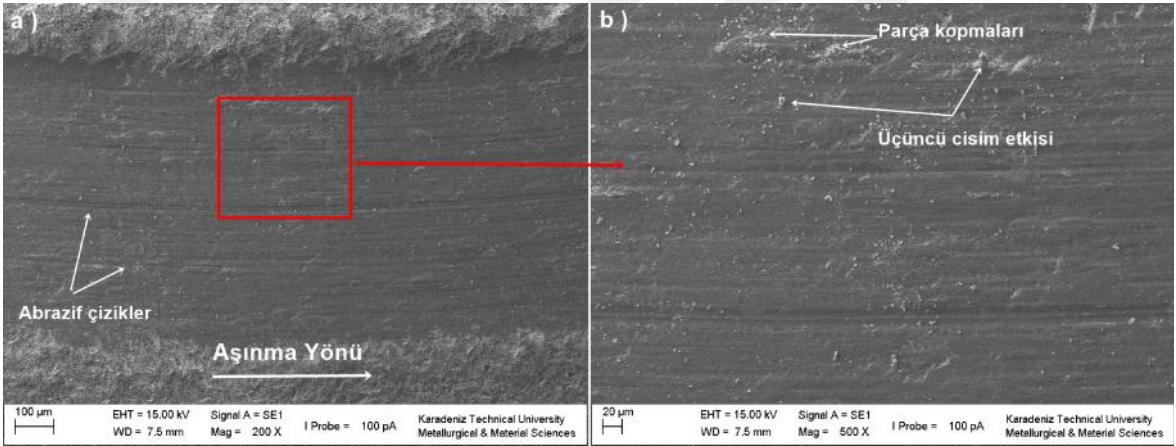
ekil 83. N13 numunesinin a) aşınma yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme



ekil 84. N14 numunesinin a) aşınma yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme



ekil 85. N15 numunesinin a) inma yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme



ekil 86. N16 numunesinin a) inma yüzeyi SEM görüntüleri, a) 200X büyütme, b) 500X büyütme

Optik profilometre ve SEM görüntüleri incelendi inde ana malzemedede a inma sonucu hacimsel kaybının fazla oldu u ve anodik oksidasyon i lemi uygulanmı yüzeylerde ise a inmanın daha az oldu u tespit edilmi tir. Ana malzemenin a inma yolunun verildi i ekil 51 ve ekil 70 incelendi inde ana malzeme yüzeyinde parça kopmaları, çizikler, adhezif yapı malar ve mikro çatlaklar görülmektedir. Bu da ana malzemedede belirgin a inma mekanizmasının kopan parçaların bir kısmının tekrar yüzeye yapı ması neticesinde adhezif a inma, kopan bu parçaların a ırı plastik deformasyonu sonucu sertliklerinin artmasıyla a ındırıcı üçüncü cisim etkisini ortaya çıkaran ve bu a ınmaların meydana getirdi i bariz abrazif a inma çizikleri olarak tespit edilmi tir. Anodik oksidasyon ile yüzeyleri oksit kaplanmı numunelerin a inma yolları incelendi inde mikro çatlaklar, çok sayıda abrazif

çizikler, yüzeyden parça kopmaları ile oluşan çukurluklar ve kopan parçaların olduğu durumu belirginleştiren indirici üçüncü cisim etkileri tespit edilmiştir. Bu durum anodik oksidasyon uygulanmış numunelerde ana anınma mekanizmasının abrazyon olarak öne çıktığını göstermektedir. Abrazyonun öne çıkmasındaki en önemli nedenlerin başında yüksek sertliğe sahip oksit tabakası yüzeyinde oluşan mikro çatlakların ve mikro gözeneklerin çentik etkisiyle heterojen gerilme dağılımı yoluyla açılması sonucunda çatlak oluşumunun kolaylaşmasından kaynaklanmaktadır. Oluşan bu çatlakların anınma bölgesinde parça kopmasına neden olarak yüzeyler arasında üçüncü cisim etkisini aktif hale getiren abrazyon karakterli sert anınma parçacıkları oluşurarak abrazyon karakterli anınmayı arttırmaktadır. Ek olarak, anınma sonucu kopan parçalar anınma bölgesinde eşit şekilde yüzeylere batarak indirici zımpara etkisiyle yüzeyde derin çizikler ve anınmış çukurluklar meydana getirmektedir. Belirlenmiş olan bu durumun literatürde de benzer şekilde yorumlandığı görülmektedir. Gökahin tarafından yapılmış olan çalınma alüminyum alaşımlarına uygulanan anodik oksidasyon işlemi sonrası numunelerin anınma davranışlarının incelenmesi ve anodizasyon işleminin anınma dayanımını ana malzemeye göre yüksek oranda artırdığı, kaplama üzerinde görülen kopmalar neticesinde anınma mekanizmasının abrazyon olduğu bildirilmiştir [28]. İtalyan tarafından yapılmış olan çalınma farklı alüminyum alaşımlarının 14V ve 18V akım değerinde anodik oksidasyon işleminin uygulanmasının ardından anınma davranışlarının incelenmesi ve alaşımların anodik oksidasyon sonrası anınma dayanımlarının artmakta olduğu ve 7075 alaşımına yapılan anodik oksidasyon işleminin anınma direncini ana malzemeye göre %66 oranında arttırdığı bildirilmiştir [34]. Aynı şekilde sert anodik oksidasyon ve mikroark oksidasyon işlemlerinin alüminyum alaşımlarının tribolojik davranışlarına etkisinin incelendiği Krishna ve arkadaşları tarafından yapılan diğer bir çalınma farklı yüklerde yapılan kuru anınma deneyleri ardından anodik oksidasyon numunelerinin yüzeylerinde oluşan mikro çatlaklar, yüzeyden kopan parçalar ve oluşan çizikler tespit edilmiş ve bunun sonucunda oksit tabakanın abrazyon anınmaya maruz kaldığı bildirilmiştir [48].

Yapılan anınma deneyi ve ANOVA analizi sonucunda anodik oksidasyon işlemi ile ana malzeme olarak kullanılan AA7075 malzemenin anınma dayanımının arttığı tespit edilmiştir. Yapılmış olan tüm değerlendirilmelerden, gerçekleştirilmiş olan anodik oksidasyon işlemleri içerisinde en yüksek anınma direncinin 1,3A/dm², 2°C ve 140dk oksitleme koşullarında elde edilmiş olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgulardan, anınma direnci açısından, AA7075-T6 alaşımına uygulanmış olan oksitleme işlemiyle elde edilmiş

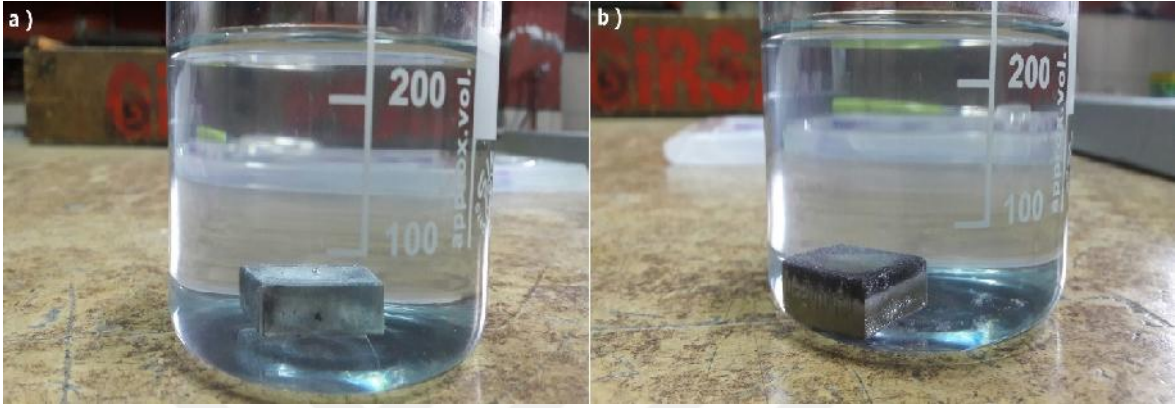
olan Al_2O_3 tabakalarının tümünün, oksitleme uygulanmamı AA7075-T6 alaımına oranla çok daha yüksek direnç göstermekte oldukları tespit edilmiştir. Dolayısıyla, bu alaıma uygulanacak olan oksitleme i leminin üretilecek olan silahın kullanım süresini önemli ölçüde arttıracı anlaşılmıştır.

3.6. Korozyon Deneyi Analizi

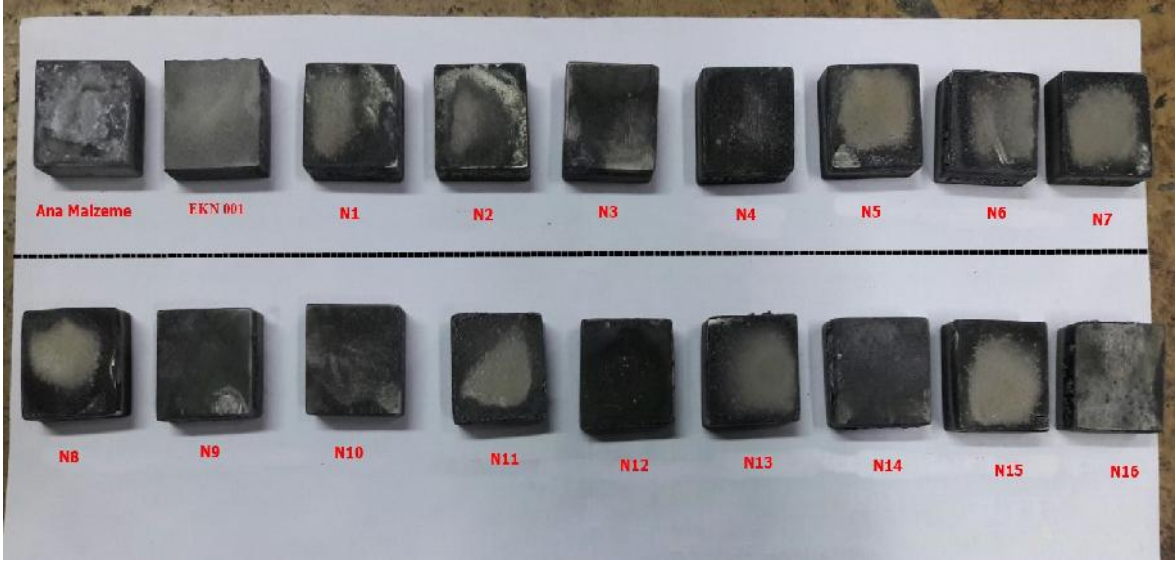
Hafif silahların kullanımı sırasında silah parçaları ter, yağmur, deniz suyu, nem vb. gibi dış etkilere maruz kalmaktadır. Bu nedenle silahın imalatında kullanılacak olan malzemelerin bu tür dış korozif etkilere karşı direnci silahın kullanım ömrünü etkileyecek olan en önemli parametrelerin başında gelmektedir. Bu amaçla kullanılacak malzemenin korozyon dayanımının da yüksek olması istenilmektedir. Hafif silahların çalışmaları, insan vücudu ile temas halinde bulunması ve her türlü iklim koşullarında sorunsuz çalışabiliyor olması gerektiğinden, silah gövdesi üzerine yapılacak kaplamaların yüksek korozyon direncine sahip olması istenmektedir. Silah gövdesi üretiminde yaygın olarak kullanılan AA7075-T6 alaımı yüzeyinde oluşan doğal oksit tabakasının yeterli sertlik ve aşınma direncine sahip olmaması nedeniyle çeşitli korozif etkilerin bulunduğu çalışmaları sırasında, ASTM-G34 standardında da belirtildiği üzere korozif ortamlarda oyuklanma (pitting) korozyonu ve pullanma (exfoliation) korozyonuna maruz kalmaktadır. Yüzeyine anodik oksidasyon işlemi uygulanmış olan AA7075-T6 alaımının korozyon direnci ASTM-G34 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla hazırlanan çözelti içerisinde ana malzeme ve Tablo 17’de belirtilen farklı anodik oksidasyon parametreleri kullanılarak elde edilmiş olan numuneler standarda uygun olarak 48 saat boyunca bekletilerek korozyona maruz bırakılmıştır. Korozyon deneyleri her bir numune ayrı ayrı kaplarda ve standartlarda belirtildiği gibi numune yüzeyine 25 ml/cm^2 oranında çözeltisi gelecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Korozyon deneyi öncesinde ve sonrasında hassas terazi ile numunelerin ağırlıkları ölçülerek korozyon ile oluşan ağırlık kayıpları hesaplanmıştır. Söz konusu deney numunelerinin hazırlanan deney ortamı görüntüleri ekil 87’de verilmiştir. ekil 88’de deney sonrasında numunelerin yüzeyleri korozyon derecelerini gösteren yüzey görüntüsü verilmiştir. Ana malzeme ve anodik oksidasyon işlemi uygulanmış numunelerin SEM görüntüleri ekil 89-105’de verilmiştir.

Gerçekleştirilen korozyon deneylerinden elde edilen numuneler yüzeysel olarak incelendiğinde ana malzemede pullanma (exfoliation) korozyonu etkin olarak gözlenirken

kısmi olarak pitting korozyonu gözlenirken, anodik oksidasyon numunelerinde de benzer ekilde pullanma (exfoliation) korozyonu ve pitting korozyonu etkilerinin görülmektedir. Ancak oksidasyon i lemine tabi tutulmuş olan numunelerin bir kısmında ise belirgin korozyon etkisi tespit edilememiştir.



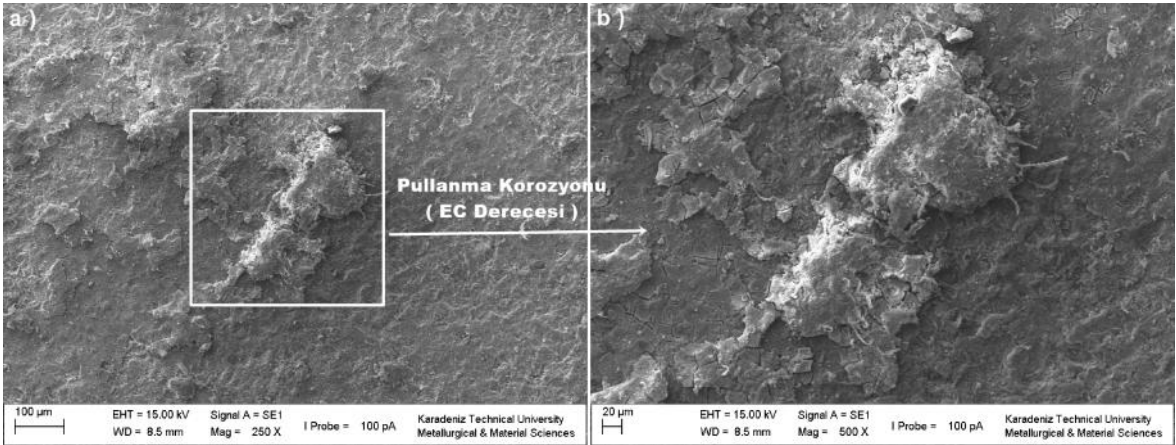
ekil 87. Numunelerin korozyon deney görüntüsü a) ana malzeme, b) N11 numunesi



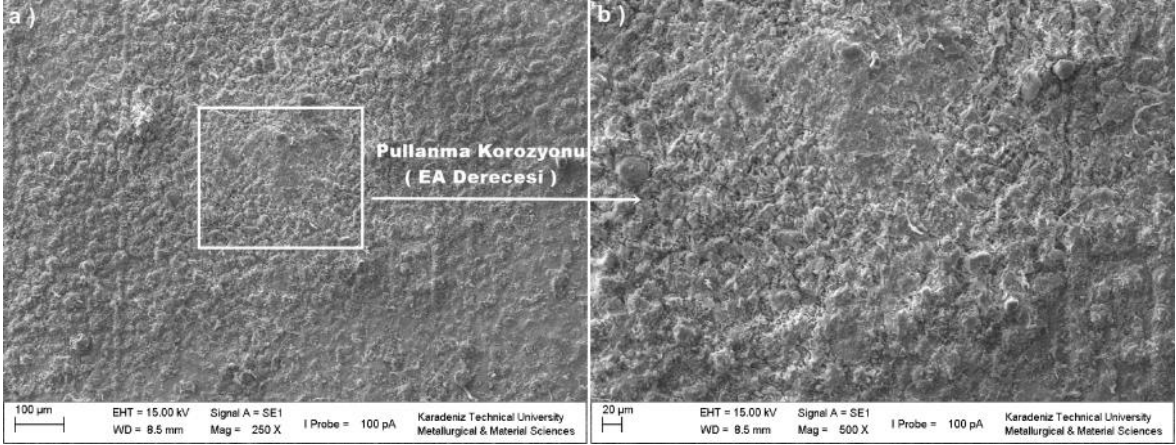
ekil 88. Numunelerin korozyon deneyi sonrası yüzey görünüşleri

ekil 87-89 incelendi inde ana malzeme yüzeyinde korozyon deneyi sonrasında pullanma (exfoliation) ve oyuklanma (pitting) korozyon görülmektedir. Ana malzeme numunesinin yüzeyinde olu an pullanma korozyonu derecesi ASTM-G34 standardına göre yüzeyde büyük kabarmalar, malzeme yüzeyinde derin çukurların ve eritlenmenin olu tu unu belirten iddetli pullanma derecesi olan 'EC' derecesi olarak belirlenmiştir.

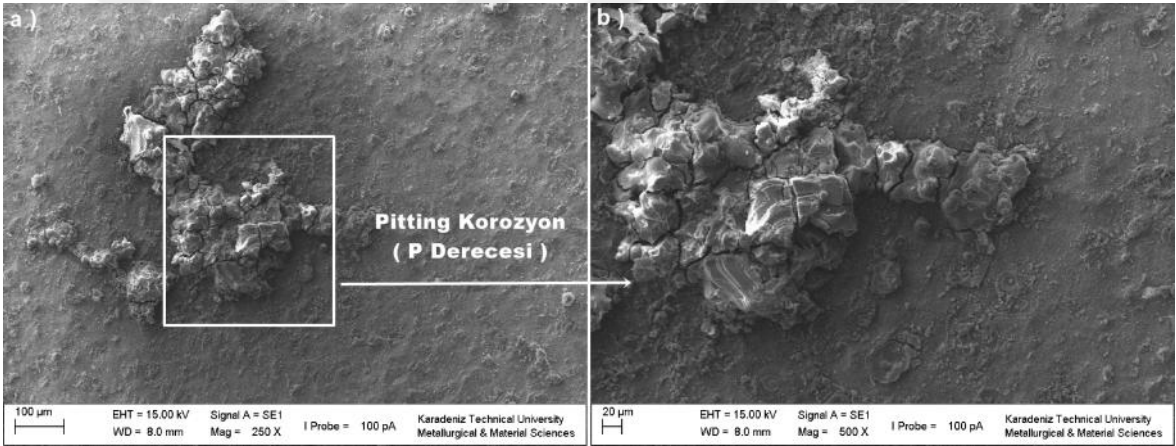
ekil 88 ve ekil 90-105'de verilen anodik oksidasyon i lemi uygulanmı numunelerin yüzey görüntüleri incelendi inde her bir numunenin yüzeyinde korozyon deneyi sonrası olu an korozif etkinin üniform olarak da ıldı ı ve bazı numunelerde belirgin olarak küçük kabarcıkların olu tu u ve bu sebeple de pullanma (exfoliation) ve oyuklanma (pitting) korozyon meydana geldi i görülmü tür. Pullanma korozyonuna u rayan numunelere ASTM-G34 standardına göre küçük kabarcıklar ve pullanmaların görülmesi sebebiyle en dü ük seviyede pullanma korozyonuna maruz kaldı ını belirten 'EA' derecesi verilmi tir. Oyuklanma (pitting) korozyonuna u rayan numunelerde ayırık küçük çukurcuklar ve hafif kabarmalar görüldü ünden ASTM-G34 standardına göre pitting korozyona maruz kaldı ını belirten 'P' derecesi verilmi tir. Ek olarak korozyon deneyi sonrasında yüzeyde renklendirme i leminin etkisinin ortadan kalktı ı ve numunelerin yüzeylerinde deney öncesi siyah rengin de i ti i görülmektedir. Bunun sebebi olarak deney için hazırlanan çözeltinin tespit i lemi ile kapatılan porlarda olu an bohemit-alümina yapısını bozdu u ve renk pigmentlerinin deney çözeltisi içine karı tı ı söylenebilir. Bunun yanı sıra yüzeyinde korozyon deneyi sonrası korozif etkinin görülmedi i oldukça yüksek dayanıma sahip kaplamalarında oldu u gözlemlenmi ve bu numenlere ASTM-G34 standardına göre korozyona u ramamı oldu unu belirten kayda de er korozyon ata ının olmadığı , çukurcuk, kabartı veya pullanma görülmedi i anlamına gelen 'N' derecesi verilmi tir.



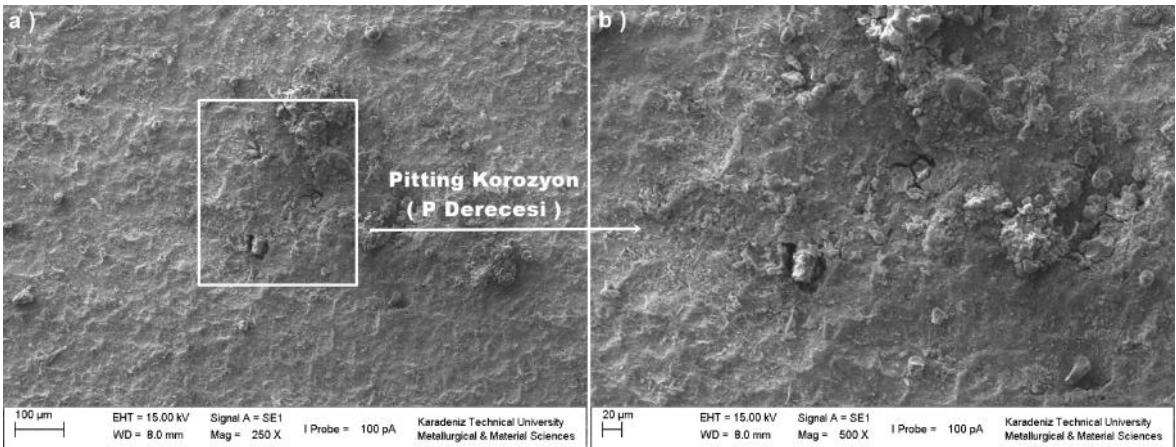
ekil 89. Ana malzemenin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme



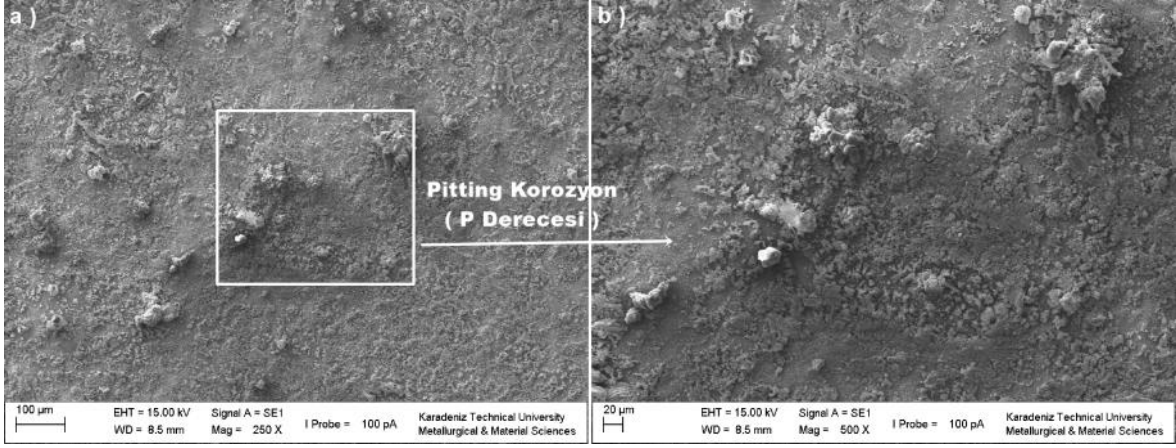
ekil 90. N1 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme



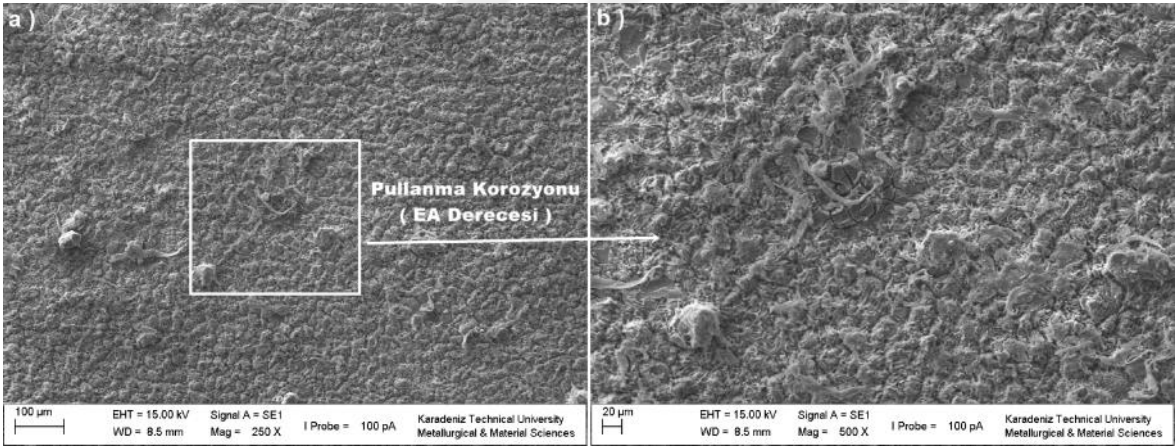
ekil 91. N2 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme



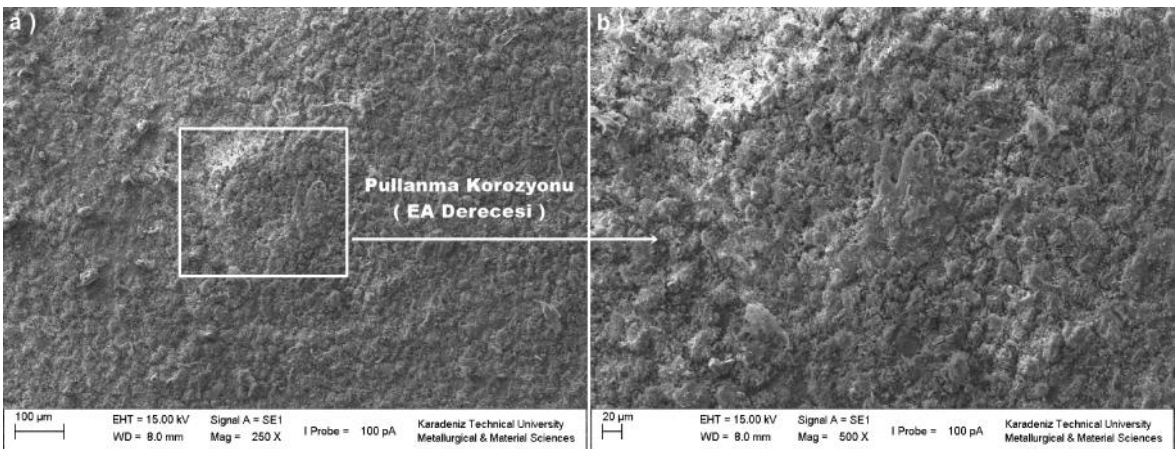
ekil 92. N3 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme



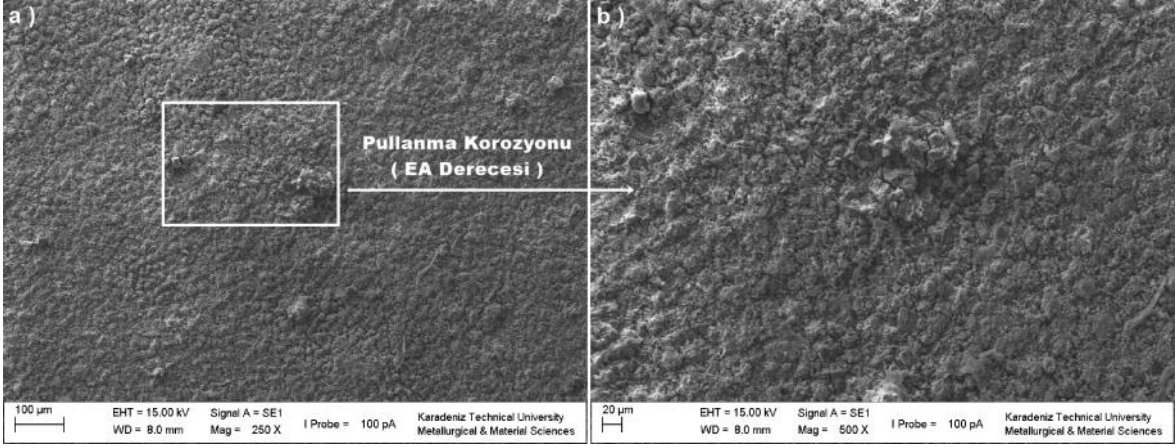
ekil 93. N4 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme



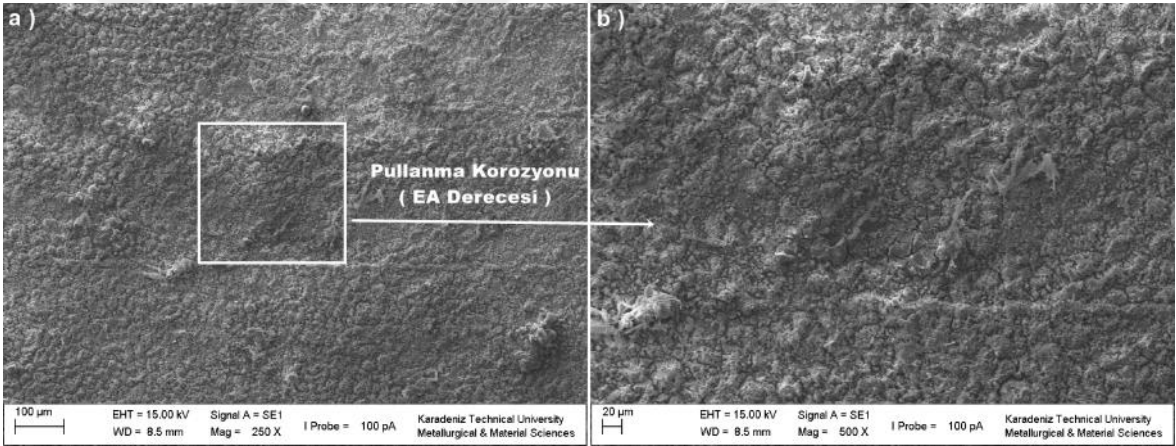
ekil 94. N5 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme



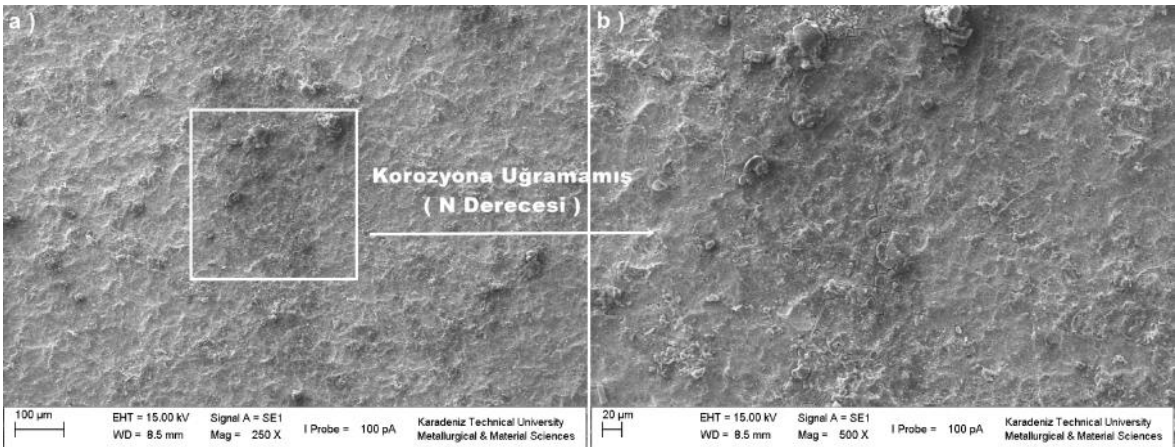
ekil 95. N6 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme



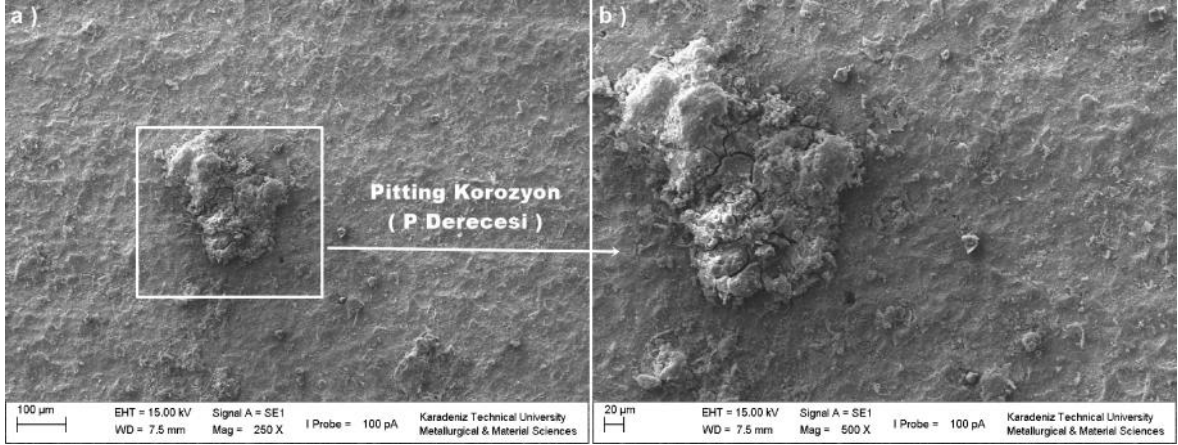
ekil 96. N7 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme



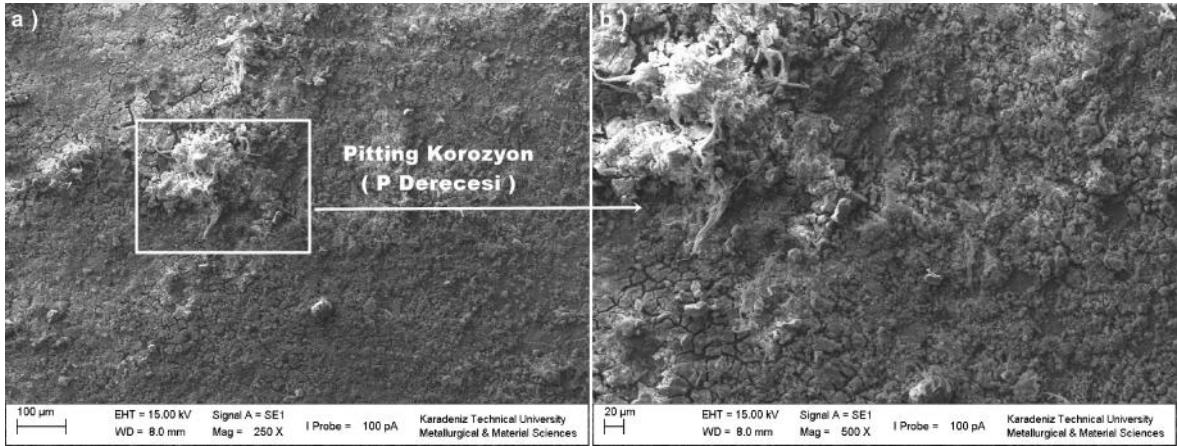
ekil 97. N8 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme



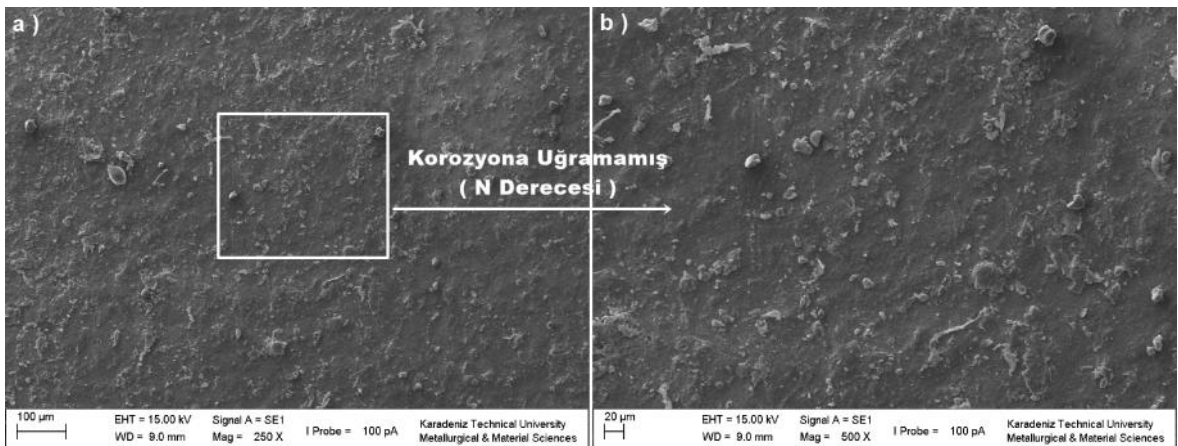
ekil 98. N9 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme



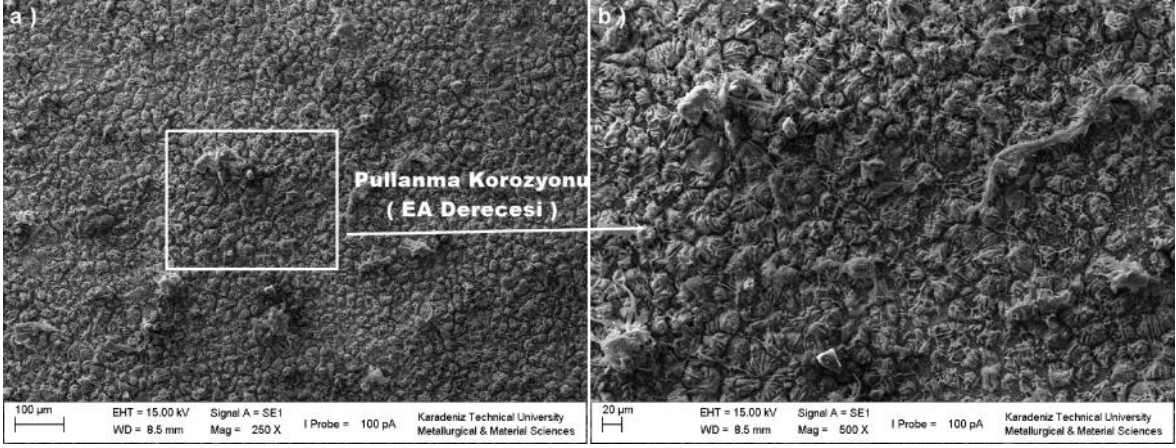
ekil 99. N10 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme



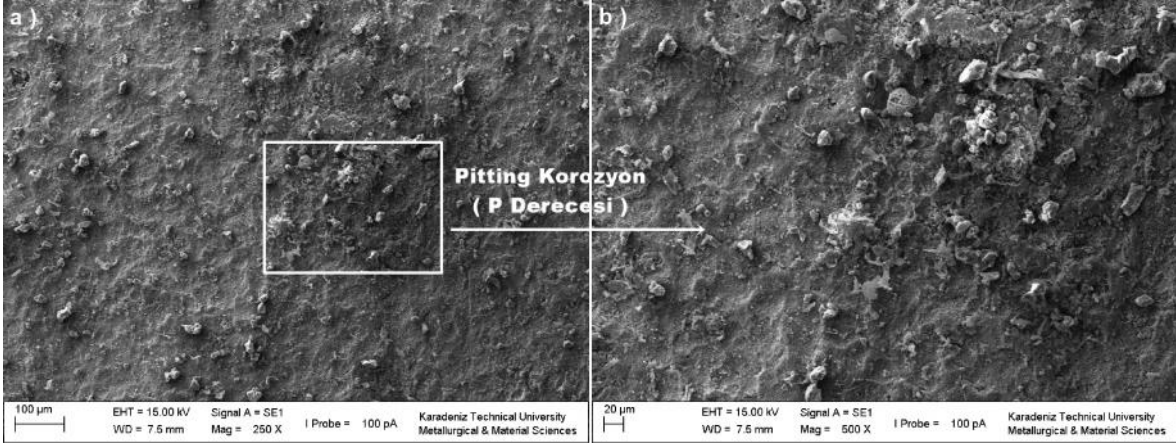
ekil 100. N11 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme



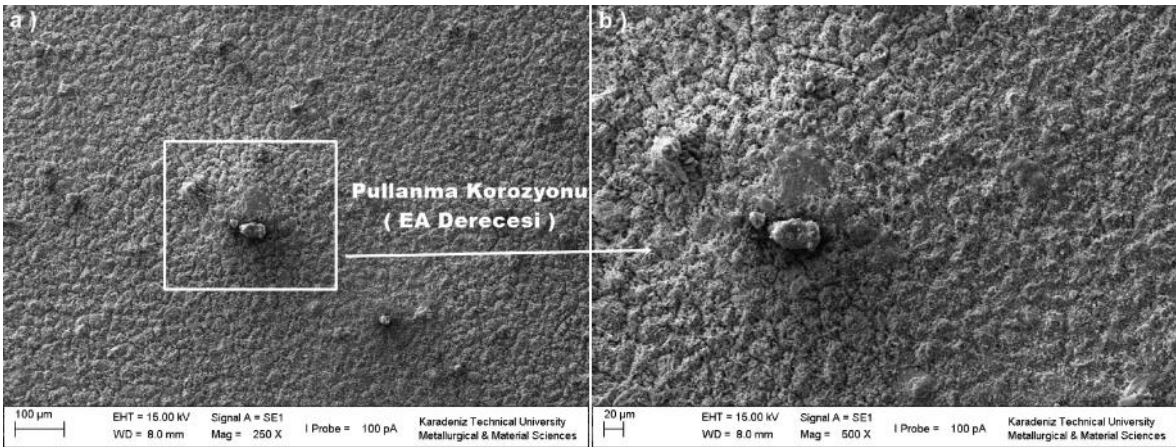
ekil 101. N12 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme



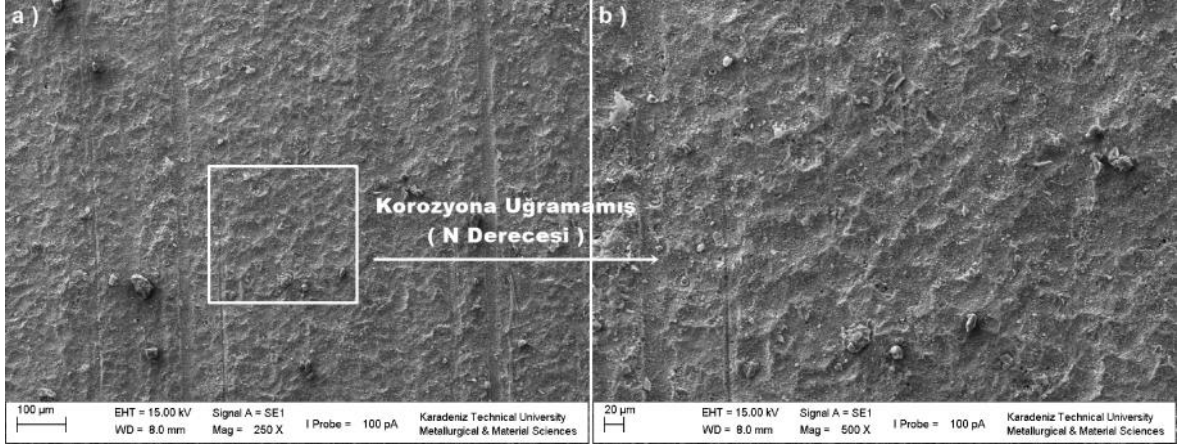
ekil 102. N13 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme



ekil 103. N14 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme



ekil 104. N15 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme

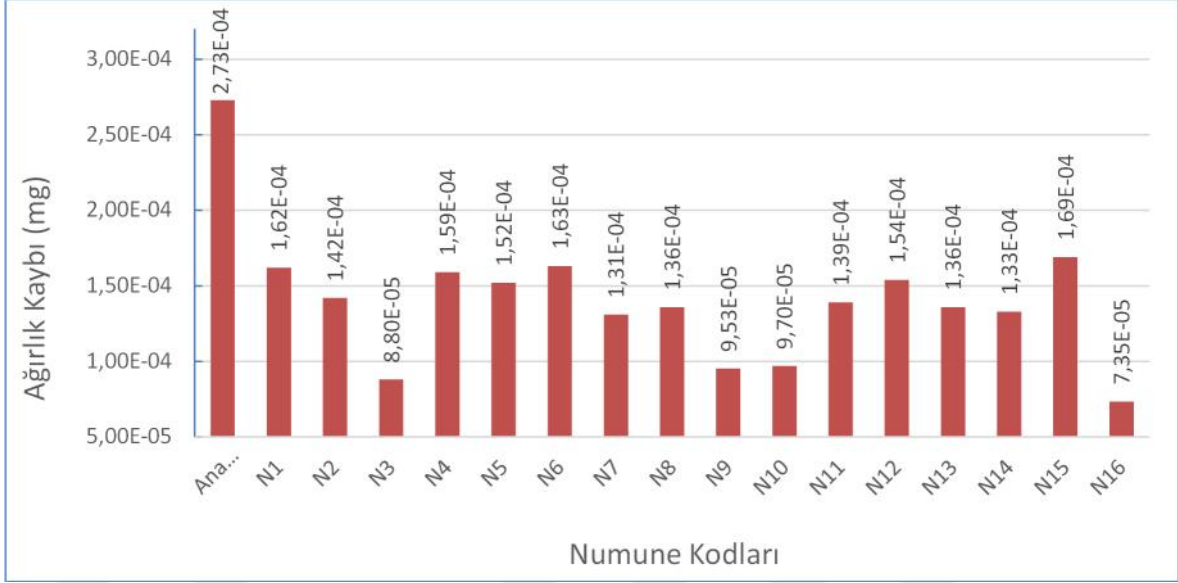


ekil 105. N16 numunesinin korozyon deneyi SEM görüntüsü a) 250X büyütme, b) 500X büyütme

Yapılan incelemeler neticesinde N1, N5, N6, N7, N8, N13, N15 numunelerine ‘EA’ korozyon derecesi, N2, N3, N4, N10, N11, N14 numunelerine ‘P’ korozyon derecesi, N9, N12 ve N16 numunelerine korozyona uğradıkları için ‘N’ derecesi verilmiştir. Korozyon deneyi sonrasında numunelerin ağırlık kayıpları Tablo 34’de verilmiştir. Ağırlık kayıplarının numunelere göre değişim grafiği ekil 106’da verilmiştir.

Tablo 34. Korozyon deneyi sonrası ağırlık kayıpları

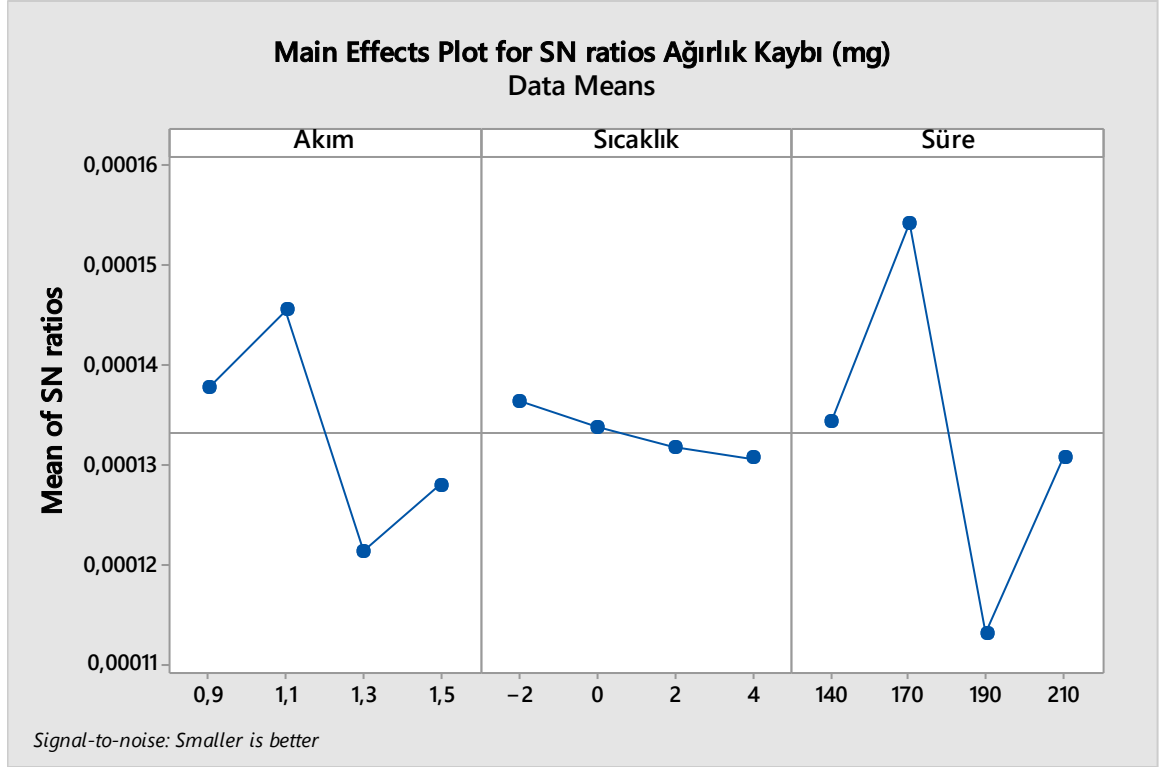
Ağırlık Kaybı (mg)							
N1	1,62E-04	N5	1,52E-04	N9	9,53E-05	N13	1,36E-04
N2	1,42E-04	N6	1,63E-04	N10	9,70E-05	N14	1,33E-04
N3	8,80E-05	N7	1,31E-04	N11	1,39E-04	N15	1,69E-04
N4	1,59E-04	N8	1,36E-04	N12	1,54E-04	N16	7,35E-05
Ana Malzeme Ağırlık Kaybı = 2,73E-04 mg							



ekil 106. A ırlık kaybı de i im grafi i

Korozyon deneyine tabi tutulmu olan numunelerde ölçülen a ırlık kayıpları Tablo 34 ve ekil 106'da görüldü ü gibidir. Ana malzemede olu an a ırlık kaybı $2,73E-04$ mg olarak ölçülmü , anodik oksidasyon i lemi uygulanmı numunelerde ise en fazla a ırlık kaybı N15 numunesinde ($1,69E-04$ mg), en az a ırlık kaybı N16 numunesinde ($7,35E-05$ mg) ölçülmü tür. Anodik oksidasyon i lemi uygulanmı numunelerde ölçülen korozyon kaynaklı a ırlık kaybının ana malzemeye oranla önemli miktarda azalmı oldu u belirlenmi tir. Buradan anodik oksidasyon i leminin incelenen ala ımın korozyon dayanımını artırdı ı sonucuna varılmaktadır.

Proses parametrelerinin korozyon deneyi sonrası olu an a ırlık kaybına etkisi elde edilen verilerin ANOVA analizi ile gerçekleştirilmi tir ve bu analiz sinyal gürültü oranı (S/N) kullanılarak belirlenmi tir. A ırlık kaybının S/N oranları Minitab programı ile daha küçük daha iyi (smaller is better) kriterine göre belirlenmi tir. Yapılan istatistiksel incelemeler sonucunda S/N oranı grafikleri ekil 107'de verilmi tir. A ırlık kaybına etki eden parametrelerinin her seviyesi için S/N oranları ve delta istatisti i Tablo 35'de verilmi tir. ekil 107 ve Tablo 35 incelendi inde hacim kaybına birinci derecede etki eden parametrenin süre oldu u, ikinci derece etkili olan parametrenin akım oldu u belirlenmi tir. Sıcaklık de erlerinin a ırlık kaybı üzerinde üçüncü derecede etkili parametre oldu u belirlenmi tir.



ekil 107. Kaplama parametrelerinin korozyon deneyi sonrası oluşan a ırlık kaybına etkisi

Tablo 35. A ırlık kaybına etki eden kaplama parametrelerinin her seviyesi için S/N oranları ve delta istatisti i

Parametreler	A ırlık Kaybı				Delta (max-min)	Etki Derecesi
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4		
Akım	$13,775 \times 10^{-5}$	$14,55 \times 10^{-5}$	$12,138 \times 10^{-5}$	$12,788 \times 10^{-5}$	$2,413 \times 10^{-5}$	2
Sıcaklık	$13,633 \times 10^{-5}$	$13,375 \times 10^{-5}$	$13,175 \times 10^{-5}$	$13,063 \times 10^{-5}$	$0,57 \times 10^{-5}$	3
Süre	$13,438 \times 10^{-5}$	$15,425 \times 10^{-5}$	$11,308 \times 10^{-5}$	$13,075 \times 10^{-5}$	$4,118 \times 10^{-5}$	1

Gerçekle tirilen ANOVA analizinden elde edilen sonuçlar Tablo 36'da verilmi tir. ANOVA analiz tablosu incelendi inde a ırlık kaybı üzerinde birinci derecede etkili olan anodik oksidasyon süresinin a ırlık kaybına katkısı %26,45, anodik oksidasyon akımının a ırlık kaybına katkısının %10,55 ve anodik oksidasyon sıcaklı mının a ırlık kaybına katkısının %0,58 oldu u belirlenmi tir.

Tablo 36. Parametrelerin a ırlık kaybına etkisi için ANOVA analizi

Parametreler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kareler	F De eri	P De eri	Katkı Yüzdesi (%)
Akım	3	1,3653E-09	4,5511E-10	0,34	0,799	10,55
Sıcaklık	3	7,51E-11	2,503E-11	0,02	0,996	0,58
Süre	3	3,4219E-09	1,14063E-09	0,85	0,516	26,45
Residual Error	6	8,074E-09	1,34567E-09			
Toplam	15	1,29363E-08				

ekil 87-107 ve Tablo 34-36 incelendi inde akım yo unlu unun artması korozif ortama kar ı dayanımı artırmaktadır. Bu çalı mada belirlenen akım yo unlu u de erinden $1,5A/dm^2$ grubundan N16 ($1,5A/dm^2$, $4^{\circ}C$ ve 140dk) kodlu numunede en az a ırlık kaybı ($7,35E-05$ mg), N15 ($1,5A/dm^2$, $2^{\circ}C$ ve 170dk) kodlu numunede ise en fazla a ırlık kaybı ($1,69E-04$ mg) ölçülmü tür. Korozyon deneylerinde olu an a ırlık kayıpları incelendi inde, $25 \times 25 \times 10$ mm³ boyutuna ve 17,562 gram a ırlı a sahip numunelerde, numunenin korozyona maruz kalan 2250 mm²'lik yüzey alanında ölçülen a ırlık kaybı de erlerinin 1×10^{-4} mg mertebelerinde olması ölçüm hata oranını artırmaktadır. Bu durum dikkate alınarak, ölçüm sonuçlarının de erlendirilmi tir. ASTM-G34 standardında göre gerçekte tirilen korozyon testinin yakla ık 8 ± 1 yıllık bir süreyi kapsadı ı dikkate alındı ında, ölçülen a ırlık kayıplarının ($7,35E-05$ mg, $1,69E-04$ mg) 1×10^{-4} mg mertebesinde olmasının numunelerin tümünde ölçülen kayıplar kabul edilebilir sınırlar içerisinde oldu unu göstermektedir. Korozyon deneylerinde belirlenen a ırlık kayıpları, artan akım de eri ile azalmaktadır. Bu durum, literatürde de belirtilmi oldu u gibi, oksitleme akımı de erinin artmasıyla oksit tabakasındaki por çaplarının küçülmesine ve bu sayede yüzeyin korozyon direncinin artmasını sa lamaktadır [12,29,34,39]. Sıcaklık de erinin ise korozyona kar ı dayanım özelli i üzerinde ihmal edilebilir seviyede etkisinin oldu u belirlenmi tir. Fakat yapılan ANOVA analizi ile a ırlık kaybı sonuçları kar ıla tırıldı ında anodik oksidasyon sıcaklı ındaki artı ının korozyon dayanımını artırabilece ini söylemek mümkündür. ANOVA analizi incelendi inde anodik oksidasyon süresinin artması korozyon dayanımını artırmaktadır. Fakat bu çalı ma için belirlenen N16 ($1,5A/dm^2$, $4^{\circ}C$ ve 140dk) kodlu numunede en az a ırlık kaybı görülürken, süre olarak daha uzun i lem görmü olan N15 ($1,5A/dm^2$, $2^{\circ}C$ ve 170dk) kodlu numunede en fazla a ırlık kaybı görülmektedir. Bu nedenle tüm parametrelerin birlikte etkisi, yüzey morfolojisinin etkisi, açık gözeneklerin bulunması

vb. gibi etkenler korozyon direncini etkiledi i söylenebilir. Bulunan sonuçlar literatür ile karşılaştırıldığında birbiriyle örtüştürülmüştür. Li ve arkadaşları Al-Si alaşımlarının korozyon dayanımını artırmak için uygulanan farklı sıcaklık ve sürelerde yapılan anodik oksidasyon işlemi neticesinde korozyon dayanımının arttığını, kaplamasız numunelerde çıplak gözle görülebilen seviyede korozyon çukurlarının oluştuğunu tespit etmişlerdir. Kaplama kalınlığının az olduğu numunelerde çözeltinin kaplamanın altına kolayca inmesi nedeniyle korozyon dayanımının düşmesi ve anodizasyon işlemi uygulanmış numunelerde korozyon çatlaklarının görüldüğü bildirilmiştir [39]. Wang ve arkadaşları tarafından yapılan AA7075 alaşımının deniz suyu ortamında anodizasyon dayanımını ve %3,5 NaCl çözeltisinde korozyon direncinin artırılması amacıyla yüzey özelliklerinin lazer oksitletme işlemiyle iyileştirilmesini amaçlayan çalışmada, yüzeyi iyileştirmeyi amaçlayan elektrokimyasal korozyon deneyi sonrasında yapılan SEM incelemelerinde numunenin oyuklanma (pitting) korozyonuna maruz kaldığı tespit edilmiştir. Yüzey üzerinde mikrokırıkların ve korozyon çatlaklarının oluştuğu bildirilmiştir [63]. Tian ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada do al ya landırma işlemi uygulanmış AA7075 alüminyum alaşımının %3,5 NaCl ortamında korozyon davranışına tane yapısının etkisinin incelenmesi ve iri taneli yapılarda daha yoğun görülmeyle birlikte hem küçük hem de iri taneli alaşımların oyuklanma (pitting) korozyonuna maruz kaldığı tespit edilmiştir. Ek olarak pitting korozyonunun büyümesiyle ve çalınma artlarına bağlı olarak pullanma (exfoliation) ve gerilimli (stres) korozyonun görülebileceği bildirilmiştir [64]. Saçkesen tarafından yapılan bir çalışmada AA7075 alaşımının korozyon ve yorulma özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla farklı ısıtma işlemlerinin uygulandığı ve korozyon deneylerinin ASTM-G34 standardına göre yapıldığı belirtilmiştir. Yapılan bu çalışmada korozyon deneyi sonrası numunelerde yoğun oyuklanma (pitting) korozyonu ve EA derecesinde pullanma (exfoliation) korozyonu görüldüğü bildirilmiştir [65]. Dejun ve arkadaşları tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise anodik oksidasyon işlemi uygulanmış AA7475 alaşımına % 5 tuz konsantrasyonu içeren sis uygulanarak korozyon özelliklerinin incelendiği ve kaplamasız numunelerde korozyon çatlakları, yoğun oyuklanma (pitting) korozyonu ve pullanma korozyonu, anodik oksidasyon işlemi uygulanmış numunelerde az miktarda korozyon çukurlukları ve pullanma tespit edildiği rapor edilmiştir. Korozyon deneyi sonrasında yüzey incelemelerinde yüzeyde korozyon ürünü olan $AlCl_3$ oluştuğu bununla birlikte Al_2O_3 yoğunluğunun da değiştiği bildirilmiştir [66].

Yapılan korozyon deneyleri ve ANOVA analizi sonucunda AA7075 malzemeye uygulanan anodik oksidasyon i leminin malzemesinin korozyon direncini artırdı 1, 1,5A/dm², 4°C ve 140dk parametreleriyle gerçekte tirilmi oksitleme i leminde, en yüksek korozyon direncinin ve en az korozif a ırlık kaybının elde edildi i belirlenmi tir. AA7075-T6 alüminyum ala ımında elde edilen bu korozyon direnci artı ının, üretilecek silahların korozif açıdan kullanım ömürlerini arttıracaca ı kanaatine varılmı tir.



4. SONUÇLAR

Bu çalı mada silah gövde malzemesi olarak so uk dövülmü AA7075-T6 ala ımına uygulanan anodik oksidasyon i lem parametrelerinin ala ımın yüzey özelliklerine etkileri Tablo 17’de belirtilen de erler aralı nda incelenmi tir. Anodizasyon i lemi uygulanan numunelerin yüzey özellikleri, sertlik-kaplama kalınlı ı ölçümü, a ınma ve korozyon deneyi bulgularının ANOVA analizi yardımıyla incelenmesinden elde edilen sonuçlar a a ıda maddeler halinde verilmi tir.

1. Belirlenen parametreler ile üretilen oksit tabakası ana malzemeye oranla yüzey pürüzlülük de erini artırır.
2. Anodik oksidasyon i lemi sonucunda malzeme yüzeyine uygulanan tespit i lemleri malzeme yüzeyinde bulunan gözeneklerin tümüyle kapanması için yetersizdir.
3. Anodik oksidasyon i lemi ile elde edilen oksit tabakasının kalınlı ı en çok oksidasyon sıcaklı ından etkilenirken oksidasyon akımının etkisi en dü üktür. Sıcaklık artı ı kaplama kalınlı ını dü ürürken, artan süre kaplama kalınlı ını artırır.
4. Anodik oksidasyon i lemi ile elde edilen oksit tabakası ana malzeme yüzeyinin sertli ini artırır. Sertlik artı ında en etkili parametre oksidasyon sıcaklı ı iken, en az etkin parametre oksidasyon süresidir. Artan sıcaklık ve akım de erleri sertli in artı ını sa lar.
5. Anodik oksidasyon i lemi 7075 alüminyum ala ımının sürtünme katsayını ve a ınma dayanımını artırır.
6. Sürtünme katsayısı en çok oksidasyon akımı de erinden do ru orantılı olarak etkilenirken, en az oksidasyon sıcaklı ından etkilenir. Akım yo unlu unun artı ı oksit tabakasının sürtünme katsayısını artırır.
7. Anodik oksidasyon i lemi 7075 alüminyum ala ımının a ınma direncini olumlu yönde en çok oksidasyon süresi etkilerken, oksitleme sıcaklı ı en az etkiler. Oksidasyon i lemlerinde artan akım yo unlu unun yanında i lem süresinin dü ük tutulması a ınma direncini artırır.

8. 7075 alüminyum alaımına uygulanan anodik oksidasyon i lemi, malzemenin korozyon direncini artırır.
9. Anodik oksidasyon tabakasının korozyon direnci oksidasyon süresinden olumlu yönde etkilenirken, oksidasyon sıcaklı ının etkisi ihmal edilebilir seviyededir. Oksidasyon i lemlerinde artan akım yo unlu unun yanında i lem süresinin dü ük tutulması oksit tabakasının korozyon direncini artırır.
10. Silah gövdesi imalatı için kullanılacak 7075-T6 alüminyum ala ımında en uygun a ınma dayanımı ve korozyon direncini elde edebilmek için uygulanacak anodik oksidasyon i lem parametreleri; akım yo unlu u $1,3A/dm^2$, sıcaklık $2^{\circ}C$ ve i lem süresi 140dk ekinde seçilmelidir.



5. ÖNERİLER

Silah gövdelerinin geliştirilmesi amacıyla yapılacak çalışmalara ıık tutması için önerilen konular;

1. Silah gövdelerinin geliştirilmesi amacıyla farklı yüzey işlemlerinin etkileri incelenebilir.
2. Üretilcek oksit tabakalarının farklı çalışma ortamlarındaki aşınma ve korozyon davranışları incelenebilir.
3. Silah gövde malzemesi olarak kullanılmak amacıyla farklı alüminyum alaşımları incelenebilir.

6. KAYNAKLAR

1. Karslı, M., Hafif Silahlar için Polimer Kompozit Malzeme Seçimi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2016.
2. Göksu, E., Türk Kültüründe Silah, Ötüken Yayıncılık, 2, Tokat, 2015.
3. <http://www.girsan.com/>, 16.07.2017
4. <http://web.itu.edu.tr/~ozcanm/kim/silah-patlayici.ppt>, Kaplan, C., Çorbacıo lu, E. ve ahan, M., Ate li Silahlar ve Patlayıcılar, stanbul Teknik Üniversitesi, 19.07.2017.
5. Langer, E. L., ASM Handbook Volume 2 Properties and Selection: Nonferrous Allays and Special-Purpose Material, ASM International, 1992.
6. Mahathaninwong, N., Plookphol, T., Wannasin, J. ve Wisutmethangoon, S., T6 heat treatment of rheocasting 7075 Al alloy, Materials Science and Engineering, A 532 (2012) 91– 99.
7. Çirik, E., Anodik Oksidasyon leminin 7075-T6 Alüminyum Ala ımının Yorulma Davranı na Olan Etkisinin ncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2007.
8. A ar, S., AA7075-T6 Alüminyum Ala ımının Minimum Miktarda Ya lama Yöntemiyle Tala lı lenebilirli inin ncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazı , 2014.
9. Vargel, C., Corrosion of Aluminium, Alcan Engineered Products, Paris, 2004.
10. Bobı c, B., Mitrovı c, S., Babı c, M. ve Bobı , I., Corrosion of Aluminium and Zinc-Aluminium Alloys Based Metal-Matrix Composites, Tribology in Industry, 31, 3 - 4 (2009) 44 - 53.
11. Hatch, J. E., Aluminum Properties and Physical Metallurgy, ASM International, 1984.
12. www.surtec.com/en/knowledge/technical-presentations-overview/ Anodic Oxidation of Aluminium, 16 Ekim 2017.
13. Demir, E., Alüminyum Ala ımlarında Isıl lem Etkilerinin ncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, zmir, 2008.
14. Övündür, M., Alüminyum Ala ımlarına Uygulanan Mikroark Anodik Oksidasyon ve Anodik Oksidasyon lemlerinin Kar ıla tırılması, Yüksek Lisans Tezi, stanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, stanbul, 2014.
15. Krauss, G., ASM Handbook Volume 4 Heat Treating, ASM International, 1991.

16. Kibar, E., 7075 alüminyum Ala ımlarına Uygulanan RRA Isıl İlemlerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2010.
17. Yılmaz, R., Özyürek, D. ve Kibar, E., Yeniden Çözeltiye Alma Parametrelerinin 7075 Alüminyum Ala ımlarının Sertlik ve A ınma Davranı larına Etkisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 27, 2 (2012) 429-438.
18. Kaya, I., Al 7075 Ala ımının İnkillenme ve Isıl İlemlerle Özelliklerinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005.
19. Burgucu, S., 7075 Alüminyum Ala ımlarının Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
20. Fergani, O., Shao, Y. ve Liang, S. Y., Effect of Temperature on the Subsurface Microstructure and Mechanical Properties of AA 7075-T6 in Machining, 2nd CIRP Conference on Surface Integrity, 13 (2014) 181 - 185.
21. İmrek, M., Mikro Ark Oksidasyon ile Al₂O₃ Kaplanmış AA7075 Ala ımının Kuru ve Ya ılı İartlarda Sürtünme ve A ınma Davranı ının İncelenmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2014.
22. Kottcamp, E. H., ASM Handbook Volume 3 Alloy Phase Diagrams, ASM International, 1992.
23. Qu, Y., Su, R., You, J. ve Li, R., Study on Microstructure, Mechanical Properties and Corrosion Behavior of Spray Formed 7075 Alloy, Materials Today Communications, 4 (2015) 109 – 115.
24. Ryl, J., Wysocka, J., Jarzynka, M., Zielinski, A., Orlikowski, J. ve Darowicki, K., Effect of Native Air-formed Oxidation on the Corrosion Behavior of AA 7075 Aluminum Alloys, Corrosion Science, 87 (2014) 150–155.
25. www.seykoc.com.tr/icerik/7075?dil=tr. 23 Kasım 20017
26. Nguyen, D., Rajan, K. ve Wallace, W., Discussion Of “Effect Of Retrogression And Reaging Treatment On The Microstructure Of Al-7075- T651, Metallurgical Transactions A, 16A, (1985) 2068.
27. Durmuş, H., Uzun, R. O. ve Şahin, S., Retrogresyon İleminin 7075 Alüminyum Ala ımının A ınma Davranı ına Etkisi, 6. Uluslararası İleri Teknoloji Sempozyumu, Mayıs 2011, Elazığ, Bildiriler Kitabı: 515-520.
28. Gökşahin, E., Sert Elokmal ile Kaplanmış 6XXX Serisi Alüminyum Ala ımlarının A ınma Davranı ının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
29. Dong, H., Surface Engineering of Light Alloys, Woodhead Publishing, New York, 2010.

30. Poyner, J., Electroplating, Workshop Practise Series Number 11, Argus Books, İngiltere, 1991.
31. Henley, W. F., Anodic Oxidation of Aluminium and Its Alloys, Pergamon Press, İngiltere, 1981.
32. C.M. Cotell, J.A. Sprague, and F.A. Smidt, Jr., C.M. Cotell, J.A. Sprague, and F.A. Smidt, Jr., ASM Handbook, Volume 5 Surface Engineering, ASM International, 1994.
33. Berk, V., Yüzey İşlemleri Teknolojileri, 2004.
34. İmanoğlu, T., Anodik Oksidasyon Yöntemiyle 2024, 6082 ve 7075 Kalite Alüminyum Alaşımlarının Yüzey Özelliklerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
35. Demiral, F., Kız Merdane Sürekli Döküm Yöntemiyle Üretilen AA 1050 Alüminyum Alaşımına Anodik Oksidasyon (Eloksal) İşleminin Uygulanabilme Kapiliyetinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2015.
36. Wen Huang, I., Hurley, B.L., Yang, F. ve Buchheit, R.G., Dependence on Temperature, pH, and Cl⁻ in the Uniform Corrosion of Aluminum Alloys 2024-T3, 6061-T6, and 7075-T6, Electrochimica Acta, 199 (2016) 242–253.
37. www.aluminyumsanayi.com/alyuzeyislem.html, 03 Aralık 2017
38. http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/48940/43916/b%C3%B6l%C3%BCm_8_eloksal_i%C5%9Flemi_ders_notu.pdf. 03 Aralık 2017
39. Li, X., Nie, X., Wang, L. ve Northwood, D.O., Corrosion Protection Properties of Anodic Oxide Coatings on An Al–Si Alloy, Surface and Coatings Technology, 200 (2005) 1994 – 2000.
40. Alwitt, R.S., Anodizing, Boundary Technologies, USA, 2002, <http://knowledge.electrochem.org/encycl/art-a02-anodizing.htm>, 5 Aralık 2017
41. Groves, G., Anodising of Aluminium, Yeni Zelanda. 2012.
42. Ferneaux, R.C., Anodized Aluminium for Façades, Alcan International Limited, İngiltere, 2000.
43. Volk, P. ve Weigelt, C., Post Treatment of Anodising Layers, Galvanotechnik, Surtech International, Almanya, 3 (2017) 466-470.
44. Tsangaraki-Kaplanoglu, I., Theohari, S., Dimogerontakis, T., Wang, Y., Kuo, H.H. ve Kia, S., Effect of Alloy Types on The Anodizing Process of Aluminum, Surface and Coatings Technology, 200 (2006) 2634 - 2641.

45. A.K. Mukhopadhyay, A.K. ve Sharma, A.K., Influence of Fe-bearing Particles and Nature of Electrolyte on The Hard Anodizing Behaviour of AA 7075 Extrusion Products, Surface And Coatings Technology, 92 (1997) 212 - 220.
46. Xiao-wei, W. ve Chao-yin, C., Influence of Oxidation Heat on Hard Anodic Film of Aluminum Alloy, Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 22 (2012) 2707 - 2712.
47. Grubbs, C.A., Anodising of Aluminum, Metal Finishing, Guidebook and Directory, U.S.A, 2008.
48. Krishna, L.R., Purnima, A.S. ve Sundararajan, G., A Comparative Study of Tribological Behavior of Microarc Oxidation and Hard-Anodized Coatings, Wear, 261 (2006) 1095–1101.
49. Özsoy, N., Polimer Esaslı Fiber Takviyeli Kompozit Malzemelerin Tribolojik ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2015.
50. Azımı İğdir, M.J., Sürtünme Karşıtlıma Prosesi Kullanılarak Yüzeyine SiC Parçacık Takviye Edilen NAB Alaımının Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2016.
51. Sarıca, B., Farklı Kalite Çeliklere Uygulanan Yüzey Kaplama İşlemlerinin Aınma Davramı larına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005.
52. Dejun, K., Jinchun, W. ve Hao, L., Friction and Wear Performances of 7475 Aluminium Alloy after Anodic Oxidation, Rare Metal Materials and Engineering, 45 - 5(2016) 1122 - 1127.
53. Derin, E., Ortaö retim Kimya ve Fizik Ö retmenlerinin Korozyon Hakkındaki Bilgi Düzeylerinin Ara tırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi E itim Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2016.
54. Rungea, J.M. ve Hossain, T., Interfacial Phenomena in 7000 Series Alloys and Their Impact on The Anodic Oxide, Materials Today Proceedings, 2 (2015) 5055 – 5062.
55. ASTM G34-01, Standard Test Method for Exfoliation Corrosion Susceptibility in 2XXX and 7XXX Series Aluminum Alloys (EXCO Test), ASTM, Philadelphia, 2006.
56. Do ru, B., Alüminyum Yüzeyindeki Oksit Tabakasının Borik Asit Sülfürik Asit Anodizing Yöntemiyle Geli tirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2007.
57. Bozza, A., Giovanardi, R., Manfredini, T. ve Mattioli, P., Pulsed Current Effect on Hard Anodizing Process of 7075-T6 Aluminium Alloy, Surface and Coatings Technology, 270 (2015) 139-144.

58. Koç, B. ve Garcia. J., EN AW 7020-T651 Alüminyum Ala ımında Kaynak Sonrası Isıl lemin Korozyon Direnci ve Mekanik Özelliklere Etkisi, Mühendis ve Makine, 53-624 (2011) 68 - 76.
59. Gökçe, B. ve Ta getiren, S., Kalite için Deney Tasarımı, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6-1 (2009) 71 – 83.
60. E me, U., Bayramo lu, M., Geren, N. ve Serin, H., TIG Kayna ında Kaynak Dayanımının Taguchi Metoduyla Optimizasyonu, Tasarım malat Analiz Kongresi, Nisan 2006, Balıkesir, Bildiriler Kitabı: 335 – 343.
61. Taylan, D., Taguchi Deney Tasarımı Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2009.
62. Kim, H., Kim, D., Lee, W., Cho, S.J., Hahn, J.H. ve Ahn, H.S., Tribological Properties of Nanoporous Anodic Aluminum Oxide Film, Surface and Coatings Technology, 205 (2010) 1431 – 1437.
63. Wang, H., Ning, C., Huang, Y., Cao, Z., Chen, X. ve Zhang, W., Improvement of Abrasion Resistance in Artificial Seawater and Corrosion Resistance in NaCl solution of 7075 Aluminum Alloy Processed by Laser Shock Peening, Optics and Lasers in Engineering, 90 (2017) 179 – 185.
64. Tian, W., Li, S., Wang, B., Liu, J. ve Yu, M., Pitting Corrosion of Naturally Aged AA7075 Amuminum Alloys with Bimodal Grain Size, Corrosion Science, 113 (2016) 1 – 16.
65. Saçkesen, ., Yüksek Mukavemetli 7075 Alüminyum Ala ımının Yorulma ve Korozyon Özelliklerinin yile tirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eski ehir, 2007.
66. Dejun, K. ve Jinchun, W., Salt Spray Corrosion and Electrochemical Corrosion Properties of anodic Oxide Film on 7475 Aluminum Alloy, Journal of Alloys and Compounds, 632 (2015) 286 – 290.
67. Li,Q., Liang, J., Liu, B., Peng, Z. ve Wang, Q., Effects of Cathodic Voltages on Structure and Wear Resistance of Plasma Electrolytic Oxidation Coatings Formed on Aluminium Alloy, Applied Surface Science, 297 (2014) 176–181.

ÖZGEÇM

Samet YAVUZ 1988 yılında Giresun'da doğdu. 2006 yılında Giresun Hamdi Bozba Anadolu Lisesi'ni bitirdi. 2011 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden Makine Mühendisi unvanı ile mezun oldu. GRSAN Makine ve Hafif Silah San. Tic. A. Ş.'de Makine Mühendisi olarak görev almaktadır. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başlamış olup, orta derecede İngilizce bilmektedir.

