



# **Anodik Oksidasyon İşlem Parametrelerinin 7075-T6 Alaşımının Korozyon Dayanımına Etkisinin İncelenmesi**

Investigation of the Effect of Anodic Oxidation  
Treatment Parameters on the Corrosion Resistance  
of 7075-T6 Alloy

**Samet YAVUZ<sup>1</sup>, Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>TÜBİTAK SAGE, Ankara

• smtyvz4894@gmail.com • ORCID > 0000-0002-6912-279X

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Trabzon

• tkomer@ktu.edu.tr • ORCID > 0000-0002-4392-9966

## **Makale Bilgisi / Article Information**

**Makale Türü / Article Types:** Araştırma Makalesi / Research Article

**Geliş Tarihi / Received:** 25 Temmuz / July 2022

**Kabul Tarihi / Accepted:** 25 Ağustos / August 2022

**Yıl / Year:** 2022 | **Cilt – Volume:** 2 | **Sayı – Issue:** 2 | **Sayfa / Pages:** 119-136

**Atrf/Cite as:** Yavuz,S., Küçükömeroğlu, T. "Anodik Oksidasyon İşlem Parametrelerinin 7075-T6 Alaşımının Korozyon Dayanımına Etkisinin İncelenmesi"

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Teknolojisi Dergisi 2(2), Eylül 2022: 119-136.

**Sorumlu Yazar / Corresponding Author:** Samet YAVUZ

## ANODİK OKSİDASYON İŞLEM PARAMETRELERİNİN 7075-T6 ALAŞIMININ KOROZYON DAYANIMINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

### ÖZ:

Yapılan bu çalışmada havacılık, uzay, otomotiv ve savunma endüstrilerinde geniş bir kullanım yelpazesi olan 7075-T6 alaşımının anodik oksidasyon parametrelerinin yüzey özellikleri ve korozyon davranışlarına etkileri incelenmiştir. Deney tasarımlarında Taguchi yöntemi uygulanmış olup, elde edilen veriler ANOVA analizleri ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Anodik oksidasyon işleminde 22V gerilim, 180 g/lit  $H_2SO_4$  banyo konsantrasyonu sabit tutulup, akım yoğunluğu ( $A/dm^2$ ), sıcaklık( $^{\circ}C$ ) ve süre (dk) parametreleri ise değişken olarak belirlenmiş ve deney tasarımı buna uygun yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda anodik oksidasyon işleminin yüzey pürüzlülüğünü artırdığı ve en düşük yüzey pürüzlülüğü değerinin  $1,5A/dm^2$  akım yoğunluğu,  $4^{\circ}C$  sıcaklık ve 140 dk işlem parametreleri ile elde edildiği belirlenmiştir. Anodik oksidasyon işlemi ile oluşan oksit tabakasında kapanmamış gözenekler ve mikro çatlakların bulunduğu tespit edilmiştir. Korozyon dayanımını artırmak amacıyla yapılan tespitleme işlemi sonucunda bu açık gözeneklerin büyük ölçüde kapandığı görülmüştür. Korozyon dayanımını belirlemek amacıyla ASTM-G34 standardına uygun gerçekleştirilen deneyler neticesinde anodik oksidasyon işleminin korozyon dayanımını artırdığı bununla birlikte korozyon deneyi sonucu yapılan görsel değerlendirmelerde kaplamasız numunede şiddetli pullanma ve oyuklanma korozyon etkileri görülürken (EC), anodik oksidasyon işlemi uygulanmış numunelerde görülen pullanma ve oyuklanma korozyon etkilerinin en düşük seviyede (EA) olduğu ve bazı numunelerde korozif etkinin görülmediği (N) tespit edilmiştir. Yapılan karşılaştırmalı incelemeler ve ANOVA analizleri neticesinde  $1,5A/dm^2$  akım yoğunluğu,  $4^{\circ}C$  sıcaklık ve 140 dk işlem süresi parametreleri ile elde edilen oksit tabakasının en yüksek korozyon dayanımının elde edildiği proses parametresi olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** 7075-T6, Anodik Oksidasyon, Korozyon, ANOVA.



## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ANODIC OXIDATION TREATMENT PARAMETERS ON THE CORROSION RESISTANCE OF 7075-T6 ALLOY

### ABSTRACT

In this study, the effects of anodic oxidation parameters on the surface properties and corrosion behavior of 7075-T6 alloy, which has a wide range of uses in aerospace, automotive and defense industries, were investigated. The Taguchi method was applied in the experimental designs, and the obtained data were anal-

alyzed comparatively with ANOVA analysis. In the anodic oxidation process, 22V voltage, 180 g/lit  $H_2SO_4$  bath concentration were kept constant, current density ( $A/dm^2$ ), temperature ( $^{\circ}C$ ) and time (min) parameters were determined as variable and the experimental design was made accordingly. As a result of the experimental studies, it was determined that the anodic oxidation process increased the surface roughness and the lowest surface roughness value was obtained with  $1.5A/dm^2$  current density,  $4^{\circ}C$  temperature and 140 min process parameters. It has been determined that there are unclosed pores and microcracks in the oxide layer formed by the anodic oxidation process. As a result of the fixation process to increase the corrosion resistance, it was observed that these open pores were closed to a large extent. As a result of the tests carried out in accordance with the ASTM-G34 standard to determine the corrosion resistance, the anodic oxidation process increased the corrosion resistance, however, in the visual evaluations made as a result of the corrosion test, severe exfoliation and pitting corrosion effects were observed in the uncoated sample (EC), while the exfoliation and pitting corrosion effects observed in the anodic oxidation treated samples were observed. It was determined that it was at the lowest level (EA) and no corrosive effect was observed in some samples (N). As a result of comparative studies and ANOVA analyzes,  $1.5A/dm^2$  current density,  $4^{\circ}C$  temperature and 140 min treatment time parameters were determined as the process parameter in which the highest corrosion resistance of the oxide layer was obtained.

**Keywords:** 7075-T6, Anodic Oxidation, Corrosion, ANOVA.



### Öne Çıkanlar

- 7075-T6 alaşımının anodik oksidasyonu,
- Anodik oksidasyon işleminin yüzey morfolojisine etkisinin belirlenmesi,
- Anodik oksidasyon işleminin korozyon dayanımına etkisinin belirlenmesi,
- Proses parametrelerinin etkilerinin incelenmesi amacıyla ANOVA analizlerini yapılması.

## 1. GİRİŞ

Alüminyum, yıllık 35 milyon metrik tondan fazla tüketimiyle dünyanın en yaygın kullanılan metallerinden biridir. Düşük özgül ağırlık ile birlikte mukavemeti, iletkenliği ve mükemmel korozyon direnci kullanımında ki artışı sağlayan ana nedenlerden olmuştur. Sağladığı avantajları ile alüminyum yakıt tüketimi ve emisyon salınımını azaltırken, yüksek korozyon dayanımı ile birçok mühendislik uygulamasında kullanımı giderek artmaktadır [1]. Alüminyumun saf durumda mukave-

met karakteristiği gelişen teknolojik şartlarda ihtiyacı karşılayamadığından bakır, çinko, magnezyum gibi alaşım elementleri ile mukavemeti artırılmaktadır. Ancak bu durum bazı kaplamalarda renklendirme özelliğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir [2]. Endüstrinin ihtiyaç duyduğu yüksek mukavemet, düşük ağırlık ve yüksek korozyon direnci ve işlenebilirlik ihtiyaçlarına cevap verebilen 7075 alüminyum alaşımları ise 80 yılı aşkın bir süre önce geliştirilmiş olup, son on yılda birçok araştırma yapılmış ve halen çalışmalar devam etmektedir. 7075 alüminyum alaşımı genel olarak maliyeti dökümden yüksek olmasına rağmen dövme üretim yöntemiyle üretilmektedir. Bunun sebebi olarak ise istenilen mukavemet değerlerine ulaşmada döküm yönteminin dezavantajı olan gözenekler ve büzülme boşlukları gibi döküm kusurlarını ihtiva etmeleri neticesinde problemler ile karşılaşmış olmasıdır [3]. 7075 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerinin geliştirilmesi çalışmaları kapsamında T6 ısıl işlemi ile en yüksek mukavemet değerine ulaşıldığı fakat korozyon dayanımında ise diğer ısıl işlem yöntemlerine göre %10-15 oranlarında daha düşük sonuçlar gösterdiği belirtilmiştir. T6 ısıl işlemi çözeltiye alma, su verme ve suni yaşlandırma aşamalarından oluşmakta olup, 7075 alaşımları için 480 °C' de 1-2 sat çözeltiye alma, oda sıcaklığına soğutma ve 120 °C' de 24 saat bekletilme proses parametrelerinde gerçekleştirilmektedir. Yapılan T6 ısıl işlemi ile alaşımın akma mukavemeti 105 MPa'dan 505 MPa'a, çekme mukavemeti 225 MPa'dan 570 MPa'a, sertlik değeri ise 60 HB'den 160 HB'ye yükseldiği belirtilmektedir [4-6]. Bunların yanı sıra 7075-T6 alaşımı aşınma dayanımı ve korozyon direncini artıran kaplamaların uygulanabilir olması sayesinde kullanım alanı oldukça genişlemiştir [7-8]. Alüminyum ve alaşımlarının yüzey özelliklerini iyileştirmek için yaygın olarak yüzey kaplama işlemleri uygulanmaktadır. Kaplamaların yapılmasının ana sebepleri olarak aşınma ve korozyon dayanımlarının geliştirilmesi ve bunun yanı sıra dekoratif görünümün elde edilmesidir [7]. Bununla birlikte alüminyum ve alaşımları hava ile temas ettiklerinde  $0.25^{-1} \times 10^{-2}$  µm kalınlığında yüzeylerinde oluşan doğal oksit tabakası ile atmosferik korozif etkilere karşı korunma sağlarken, oluşan oksit tabakasının çok ince olması endüstriyel uygulamalarda yeterli korumayı sağlayamadığı bilinmektedir. 7075-T6 alaşımları da yüksek mukavemete sahip olmalarına karşın, korozif şartlarda yüksek dayanım özelliklerini kaybetmektedirler [9-10]. Bu amaçla daha önce yapılan çalışmalarda da avantajları belirtilen anodik oksidasyon işlemi alüminyumun oksitlenme özelliğinden faydalanılarak genellikle sülfürik asit çözeltisi içerisinde anodik olarak elektroliz yöntemi ile malzeme yüzeyinde homojen olarak dağılım gösteren  $Al_2O_3$  tabakasının oluşturulması neticesinde yüksek korozyon ve aşınma dayanımları sağlamakta, bunlara ek olarak 7075-T6 alaşımlarının kullanım ömrünü uzatmaktadır [11-15]. Ancak yapılan literatür araştırmaları sonucunda anodik oksidasyon işleminin 7075-T6 alaşımının korozyon dayanımına etkisini inceleyen çalışma sayısı oldukça yetersizdir. Bu amaçla yapılan bu çalışmada savunma, havacılık, uzay ve otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmakta olan 7075-T6 alaşımına uygulanacak olan anodik oksidasyon işlem parametrelerinin etkilerinin, işlem görmeyen numuneler ile karşılaştırmalı incelenip, korozyon dayanımına açısından en iyi sonucun elde edildiği akım (A/

dm<sup>2</sup>), işlem sıcaklığı (°C) ve işlem süresi (dk) parametrelerini belirlenmesi ve bu parametrelerin etkileşimlerini belirlemek için ANOVA analizlerinin yapılması hedeflenmiştir. ASTM-G34 standardına uygun gerçekleştirilen korozyon deneyleri neticesinde numuneler korozyon etkisi yoksa N, pitting korozyon etkisi gösteriyorsa P, pullanma korozyon etkisiyle kabarmalar ve derin gözenekler görülüyorsa EA'dan ED'ye kadar görsel derecelendirme yapılacaktır. Ayrıca yapılacak olan bu çalışma ile elde edilen veriler neticesinde ülkemiz sanayisi ve bu konuda çalışacak olan araştırmacılara katkı sağlanmış olacaktır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Bu çalışmada endüstride yaygın olarak kullanılmakta olan soğuk dövülmüş 7075-T6 alaşımının anodik oksidasyon işlemi ile korozyon dayanıma etkisi incelenmiş, kaplama parametrelerinin korozyon dayanımı üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılarak hem deney sayıları azaltılmış hem de ANOVA analizleri ile karşılaştırmalı inceleme yapılmıştır.

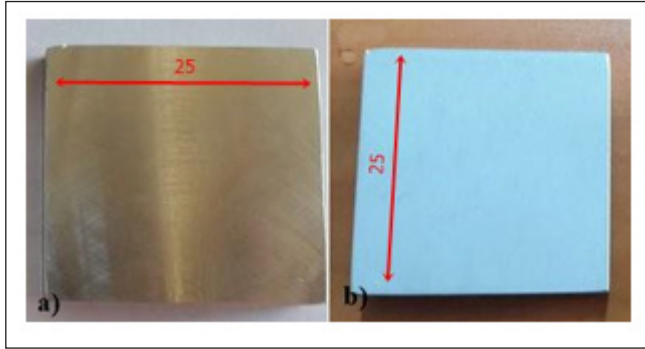
### 2.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Bu çalışmada soğuk dövülmüş durumdaki 7075-T6 alaşımı MES Alüminyum firmasından hazır olarak satın alınmış, yüzey morfolojisi incelemeleri için 50x50x10 mm<sup>3</sup>, korozyon deneyleri için 25x25x10 mm<sup>3</sup> boyutlarına getirilerek numunelere hazırlanmıştır. 7075-T6 alaşımının spektral analizi metallerin kimyasal analizinde yaygın olarak kullanılmakta olan elektrik ark/kıvılcım yöntemi ile yapılmıştır. 7075-T6 alaşımının kimyasal analizi Tablo 1'de verilmiştir. Kimyasal yapısının daha önceki yapılan çalışmalar incelediğinde uygun olduğu tespit edilmiştir [3,5,16].

**Tablo 1.** 7075-T6 alaşımının kimyasal bileşim analizi

7075-T6											
Alaşım Elementi	Al	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Diğer
% Ağ.	90,49	5,01	2,26	1,43	0,12	0,24	0,09	0,19	0,015	0,043	0,102

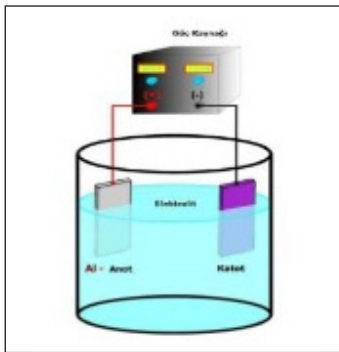
Talaşlı imalat ile istenilen boyuta getirilen numuneler sırası ile 400,800,1200 kum zımparalar ile zımparalanmış ardından 120 µm tane büyüklüğünde ki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kum ile kumlanmıştır. Bu işlemin ardından anodik oksidasyon işlemine geçilmiştir. Hazırlanan numunelerin görünümü Şekil 1'de verilmiştir.



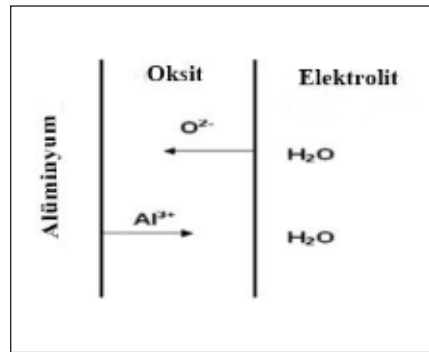
Şekil 1. Anodik oksidasyon öncesi hazırlanan numunelere ait görüntü a) zımparalanmış, b) kumlanmış

## 2.2. Anodik Oksidasyon İşlemi

Anodik oksidasyon öncesi numuneler sırasıyla yağ alma, dağlama ve nötralizasyon işlemlerine tabi tutularak yüzeylerde bulunan yağ ve kirlere arındırılır. Sırasıyla yağ alma işlemi için hazırlanan 60-70 °C banyolarda 10 dk bekletilir ve durulama işlemi yapılır ardından dağlama işlemi %4'lük NaOH konsantrasyonlu banyosuna 4 dk süresince daldırılır ve durulama işlemi yapılır son adım olan nötralizasyon işlemi %20'lük HNO<sub>3</sub> konsantrasyonlu banyoda 1-20 dk süreleri arasında bekletilir ve durulama yapılır. Yapılan tüm adımlar alüminyum yüzeyinde bulunan yağ, kir ve oksit tabakasının uzaklaştırılarak homojen bir oksit tabakası sağlanması ve anodizasyon sonrası kusur oluşmaması için önemlidir. Anodik oksidasyon işleminin şematik görünümü Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 3'te ise anodik oksidasyon işlemi esnasında iyonların geçişinin şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 2. Anodik oksidasyon işlemi [7]



Şekil 3. Anodik oksidasyon işleminde iyonların geçişi [7]

Şekil 2'de şematik görüntüsü verilen anodik oksidasyon işleminde 7075-T6 alaşımı anot olarak bağlanır ve katot olarak genellikle 6061 veya paslanmaz çelik levhalar kullanılmaktadır. Anodik oksidasyon işleminde parametrelerin değişmesi kaplama kalınlığı, setlik ve korozyon dayanımı gibi özellikleri direkt etkilemektedirler. İstenilen yapıda oksit tabakasının oluşumunu sağlayan işlem parametreleri; akım yoğunluğu ( $A/dm^2$ ), voltaj (V), sıcaklık ( $^{\circ}C$ ), süre (dk) ve elektrolit cinsi ve karışım oranıdır olarak sıralanabilir. Önceki çalışmalar incelendiğinde anodik oksidasyon işlemleri 18-22 V, 160-220 g/l  $H_2SO_4$  çözeltisinde, 0,9-1,5  $A/dm^2$ ,  $\pm 5$  oC sıcaklık aralığında ve 50 dk üzeri işlem sürelerinde gerçekleştirilmiştir [15,17,18]. Yapılan literatür araştırmaları neticesinde gerilim ve elektrolit konsantrasyonu parametrelerinin etkileri daha önceki çalışmalarda detaylı olarak incelenmiş ve yapılan ön deneyler neticesinde bu çalışma kapsamında gerilim (V) ve elektrolit konsantrasyonu (g/l) sabit tutularak, akım yoğunluğu, sıcaklık ve işlem süresi parametreleri değişken olarak belirlenmiştir [17-29]. Bu kapsamda anodizasyon işlemi 22 V sabit gerilim ve 180 g/l  $H_2SO_4$  sabit konsantrasyonunda gerçekleştirilmiştir. Değişken proses parametreleri ve belirlenen değerler Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Anodik oksidasyon parametreleri ve belirlenen değerler

Proses Parametreleri	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Akım	$A/dm^2$	0,9	1,1	1,3	1,5
Sıcaklık	$^{\circ}C$	-2	0	2	4
Süre	dk	140	170	190	210

Tablo 2'de verilen her bir değişken değer in kaplama özelliklerini etkilemesi ve proses parametrelerinin birbirleri ile etkileşim için de olacağından yapılacak Taguchi deney tasarımı ile her bir parametrenin etkisini incelemek ve aynı zamanda minimum seviyede deney sayısı ile istenilen verileri elde etmek mümkün olacaktır. Bu sebeple bu çalışmada 3 değişken 4 seviye bulunması nedeniyle L16 ortogonal dizisi kullanılmıştır. Belirlenen diziye uygun hazırlanan deney tasarımı Tablo 3'te verilmiş olup, numunelerin anodik oksidasyon işlemleri bu parametrelerde gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 3.** Anodik oksidasyon deney tasarımı (L16 dizisi)

	Akım (A/dm <sup>2</sup> )	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

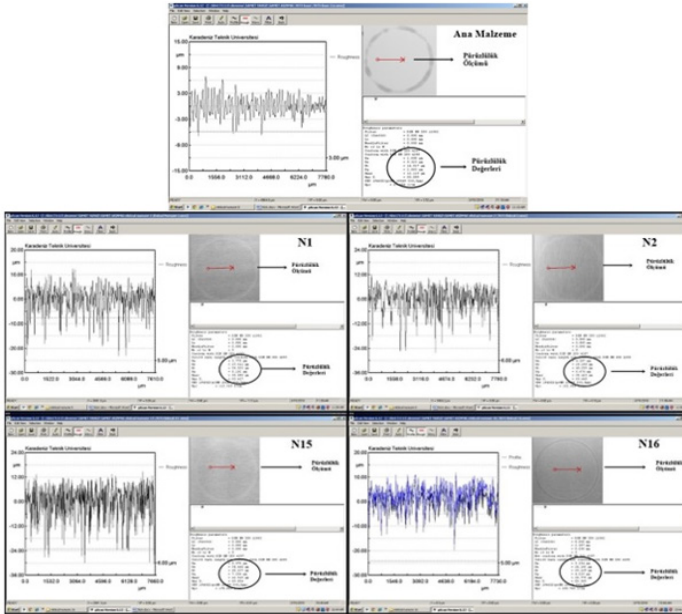
Tablo 3'te belirtilen parametrelere uygun anodik oksidasyon işlemi yapılan numunelerin kaplama sonrası yüzey morfolojisi ve mikro yapı analizleri taramalı elektron mikroskopunda (SEM) gerçekleştirilmiştir. Numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri ise optik profilometrede ölçülmüştür. Korozyon deneyleri ASTM-G34-01 standardında belirtilen şartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Belirtilen standart çerçevesinde anodik oksit işlemine tabi tutulmamış ve anodik oksidasyon işlemi uygulanmış numuneler herhangi bir fark olamaması adına tek seferde hazırlanan 4 M NaCl (234gr), 0,5 M KNO<sub>3</sub> (50gr), 0,1 M HNO<sub>3</sub> (6,3ml) çözeltisine ayrı kaplarda daldırılmıştır. Çözelti 1 lt deiyonize su içerisinde seyreltilmiş ve çözelti hazır hale getirilmiştir. Deney 25±°C ortam sıcaklığında 48 saat bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Deney öncesinde ve sonrasında ağırlık kayıplarının tespit edilmesi amacıyla numunelerin ağırlıkları hassas terazide ölçülmüş ve deney sonrası korozyon şiddetinin görsel olarak belirlenmesi amacıyla numuneler kurutma ve durulama yapmadan hemen değerlendirilmeye alınmıştır.



Korozyon deneyi sonrası numunelerin yüzeylerindeki korozif etkiler taramalı elektron mikroskobunda (SEM) incelenmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada anodik oksidasyon uygulanmış ve kaplama yapılmamış numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri optik profilometrede belirlenmiştir. Optik profilometrede yapılan ana malzeme, N1, N2, N15 ve N16 numunelerine ait pürüzlülük ölçümünü gösteren görüntüler Şekil 4'te verilmiştir. Numunelerin pürüzlülük değerlerinin ölçümü sonrası elde edilen sonuçlar ise Tablo 4'te verilmiştir. Elde edilen bulgular incelendiğinde anodik oksidasyon işlemi sonucu oluşan poröz oksit yapı yüzey pürüzlülüğünü artırmaktadır. Bu durum anodik oksidasyon sürecinde akım verildiğinde ilk oluşan ince ve düz yapılı bariyer oksit tabakanın oluşması ve 4-5 sn içinde oluşumunu tamamlayıp elektriksel geçirgenliği olmayan bu yapının üzerine akım verilmeye devam edildiğinde aşındırıcı elektrolit etkisiyle birlikte zayıf bölgelerden iyon geçişleri başlayıp bariyer oksit tabakasının üzerinde gelişen hegzagonal yapılı porların oluşması ve bu yapının işlem süresi boyunca büyüyerek bal peteği görünümde poröz oksit yapıyı oluşturması şeklinde açıklanmaktadır. Elde edilen poröz oksit yapının ortasından iyon geçişi olduğundan gözenekli yapı oluşmakta ve bu durumda pürüzlülüğün artmasını sağlamaktadır [2,12,18,30].



**Şekil 4.** Numunelerin optik profilometrede yüzey pürüzlülüğü ölçümleri; ana malzeme, N1,N2, N15 ve N16 numuneleri

**Tablo 4.** Yüzey pürüzlülük değerleri

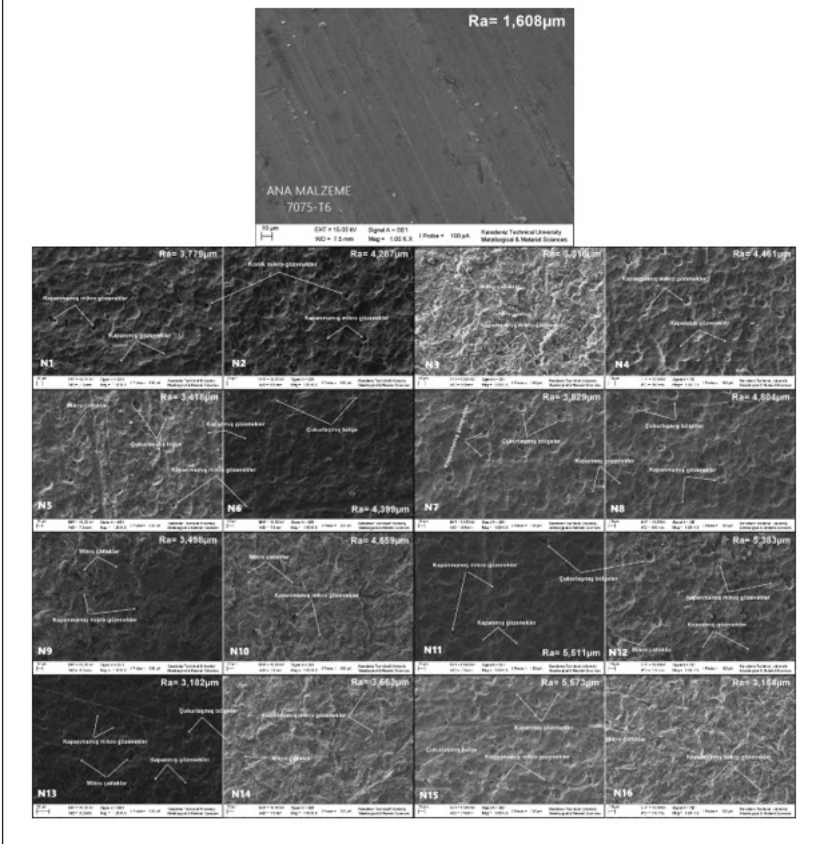
Yüzey Pürüzlülüğü Ra ( $\mu\text{m}$ )			
N1	3,779	N9	3,498
N2	4,287	N10	4,659
N3	3,316	N11	5,511
N4	4,461	N12	5,383
N5	3,418	N13	3,187
N6	4,399	N14	3,663
N7	3,829	N15	5,57
N8	4,804	N16	3,154
Ana Malzeme Ra = 1,608 $\mu\text{m}$			

Ana malzeme ve kaplamalı numuneler incelendiğinde yüzey pürüzlülüğünün belirgin bir şekilde arttığı, kaplamalı numuneler arasında karşılaştırma yapıldığında en yüksek yüzey pürüzlülüğünün N15 ( $1,5 \text{ A/dm}^2$ ,  $2 \text{ }^\circ\text{C}$ , 170 dk) kodlu numunede  $Ra=5,57 \mu\text{m}$ , en düşük yüzey pürüzlülüğünün ise N16 ( $1,5 \text{ A/dm}^2$ ,  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ , 140 dk) numunede  $Ra=3,154 \mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. İki numunenin kaplama parametreleri karşılaştırıldığında akım yoğunluğunun aynı olduğu, bununla birlikte işlem süresinin artmasının yüzey pürüzlülüğünün artırdığı, sıcaklık değerinde ise azalmanın yüzey pürüzlülüğünü artırdığı fakat bunun işlem süresi ile etkileşim içinde olduğu belirlenmiştir. Benzer olarak daha önce yapılan bir çalışmada malzemelerin anodik oksidasyon işleminin yüzey pürüzlülüğünü kaplamasız numuneyle karşılaştırıldığında artırdığı tespit edilmiştir [31]. Yüzey pürüzlülüğü aşınma dayanımını direkt etkileyen parametrelerin başında gelmektedir. Bu nedenle sürtünme katsayısının düşük olduğu çalışma şartlarının aşınma dayanımını artırdığı bilindiğinden yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de düşük olması aşınma dayanımını artıracaktır. Fakat daha önce yapılan bir çalışmada anodik oksidasyon işlemi ile sürtünme katsayısının arttığı ancak bunu aksine yüzey pürüzlülük değerlerinin düşük ölçüldüğü numunelerin daha yüksek aşınmaya kaybına uğradıkları belirtilmiştir [32]. Diğer bir çalışmada ise anodik oksidasyon işleminin yüzey pürüzlülük değerini artırdığı, değişken olarak belirlenen gerilimin artmasının da yüzey pürüzlülüğünü artırdığı bildirilmiştir [18]. Başka bir çalışmada ise sabit gerilimde sıcaklığın artması akım yoğunluğunu artıracığını bunun ise yüzeyden çözülen oksit tabakasının miktarını artmasını neticesinde yüzey pürüzlülüğünde artacağı belirtilmiştir [25].

Anodik oksidasyon işlemi sonrası elde edilen yüzeylerin incelenmesi amacıyla her bir numune taramalı elektron mikroskobunda (SEM) incelenmiş, kendi aralarında ve ana malzeme ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Numunelere ait SEM

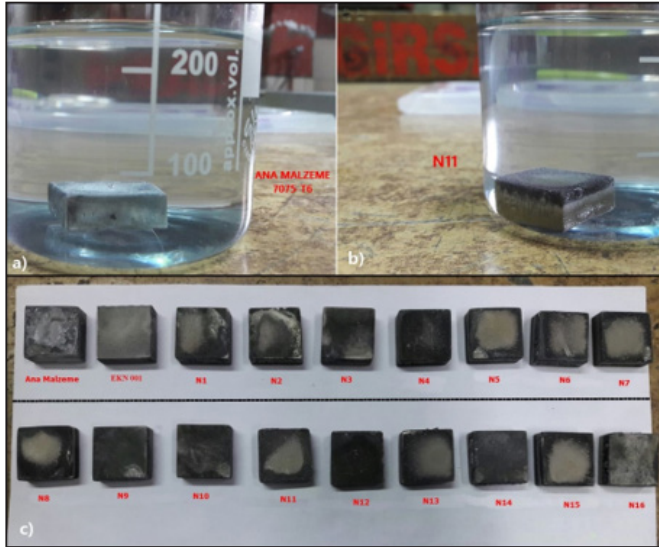
görüntüleri Şekil 5'te verilmiştir. Ana malzemeye ait incelemelerde yüzey pürüzlülüğünün  $Ra=1,608 \mu\text{m}$  olarak ölçüldüğü bunun anodik oksidasyon işlemi öncesi uygulamalar için yeterli yüzey pürüzlülüğü değeri olduğu belirlenmiştir. Tüm numunelerde kaplama öncesi aynı yüzey kalitesinin yakalanması sağlanmıştır. Anodik oksidasyon işlemi uygulanmış numunelerde poroz oksit tabakasının oluşumu neticesinde çukurlaşmalar, girinti ve çıkıntılar gözlemlenmiş ek olarak anodik oksit işleminde korozyon dayanımını artırmak amacıyla açık olan por yapılarının kapanması için yapılan tespitleme işlemi ile gözeneklerin büyük ölçüde kapandığı fakat yine de az miktarda kapanmamış gözenekler ve mikro çatlaklar tespit edilmiştir. Benzer olarak yapılan bir çalışmada anodik oksidasyon sonrası yüzey incelemelerinde tespitleme işlemi yapılmış olmasına karşın kapanmamış gözeneklerin olduğu, yüzeylerin mikro çatlaklar ve çukurlaşan bölgeler ihtiva ettiklerini belirtmişlerdir [29]

Şekil 5. Numunelerin yüzey morfolojisi incelemelerine ait SEM görüntüleri



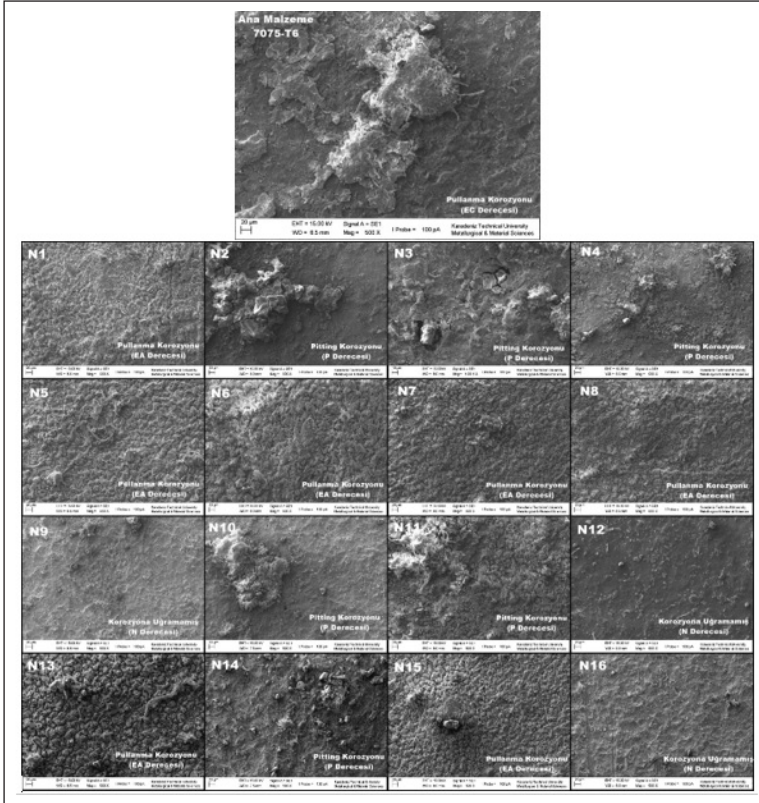
Anodik oksidasyon işlemi sonrası oluşan pürüzlü yüzey yapısı oksidasyon işleminin genel karakteristiği sonucudur. Anodik oksidasyon işlemi süresince oluşan porlu yapı tespitleme işlemiyle kapatılarak malzemenin korozyon direnci artırılmaktadır. Ancak bu işlem ile tüm gözenekler kapatılamamakta 7075-T6 numunelere yapılan anodik oksidasyon işlemlerinde de aynı durum söz konusudur. Yapılan yüzey incelemelerinde elde edilen oksit yapısının yüksek sertlik ve gevrek yapıda olmasından kaynaklı yer yer mikro çatlakların olduğu, iyon geçişlerinin yoğun olduğu bölgelerde ise çukurlaşmaların görüldüğü tespit edilmiştir.

7075-T6 alaşımından üretilen ürünlerden yüksek korozyon dayanımı istenmekte ve çalışma şartları gereği korozif etkilere maruz kalmaktadırlar. Bu sebeple malzemelerin korozyon dayanımının yüksek olması istenmekte ve anodik oksidasyon işlemi ile korozyon dayanımı artırılmaya çalışılmaktadır. ASTM-G34 standardında belirtildiği üzere malzemeler oyuklanma (pitting) ve pullanma (exfoliation) korozyona maruz kalmaktadırlar. Bu amaçla numuneler ASTM-G34 standardına uygun şekilde hazırlanan çözeltide 48 saat ayrı ayrı kaplarda bekletilerek korozyon deneyi gerçekleştirilmiştir. Her bir numune 25 ml/cm<sup>2</sup> çözelti içerisinde korozif etkiye maruz bırakılmıştır. Hazırlanan deney ortamının görüntüsü ve korozyon deneyi sonrası numunelerin görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir. Yapılan korozyon deneylerinde kaplamasız 7075-T6 numunesinde yoğun pullanma korozyonu ve oyuklanma korozyonu gözlemlenirken, anodik oksidasyonlu numunelerde pullanma, pitting korozyonun görülmesinin yanı sıra korozif etkinin görülmediği yüzeylerde tespit edilmiştir.



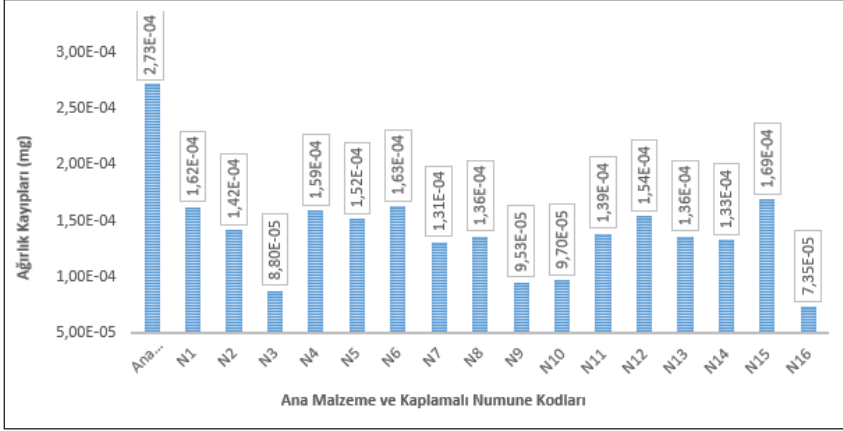
Şekil 6. Korozyon deneyi ortamları a) Kaplamasız numune, b) N11 kodlu numune, c) Tüm numunelerin korozyon deneyi sonrası yüzey görüntüleri

Yapılan korozyon deneyleri sonucunda ASTM-G34 standardına göre yapılan değerlendirmelerde kaplamasız 7075-T6 numunesinde gözlemlenen büyük kabarmalar, derin çukurlar ve belirgin şerit şeklinde yapısal bir düzenleme şiddetli pullanma korozyon yapısının oluşumunu belirten EC derecesi olarak tespit edilmiştir. Anodik oksidasyon işlemi yapılan numuneler incelendiğinde pullanma korozyon etkisi gösteren numunelerde küçük kabarcıklar ve çukurlaşmaların olduğu ve şerit şeklinde yapısal bir düzenleme gözlemlendiği bu sebeple en düşük pullanma yapısının oluşumunu belirten EA derecesi olarak tespit edilmiştir. Yüzeylerinde birbirinden ayrı küçük kabarcıklar ve çukurlar görülen numuneler oyuklanma korozyon derecesi olan P ile derecelendirilmiş, buna ek olarak yüzeylerinde herhangi bir korozif etki olmayan numuneler ise N derecesi ile derecelendirilmiştir. Korozif ortamın, tespitleme işlemi ile oluşan bohemit-alümina yapısını bozarak renk pigmentlerini çözdürdüğü tespit edilmiştir. Numunelerin yüzeylerini incelendiği SEM görüntüleri Şekil 7'de verilmiştir.



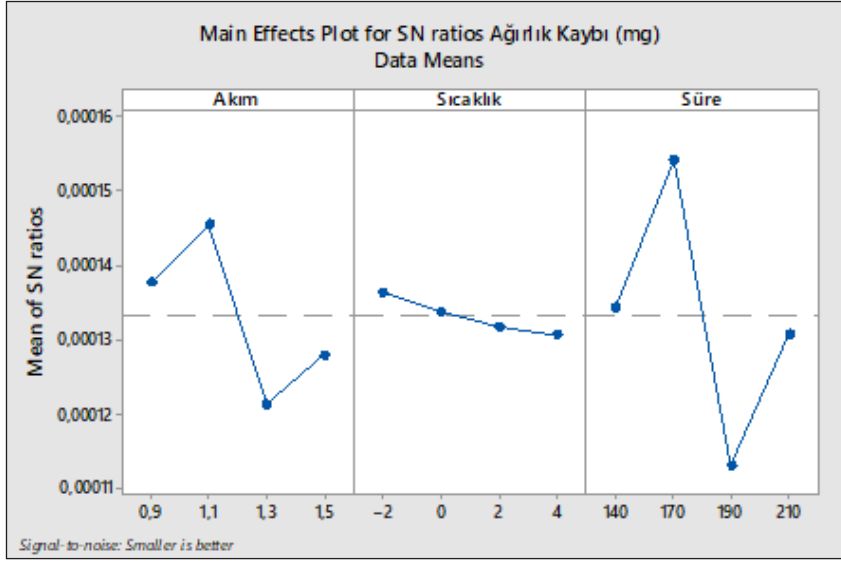
Şekil 7. Numunelerin korozyon deneyi sonrası yüzeylerinin SEM görüntüleri ve korozyon şiddeti değerlendirmeleri

Şekil 7'deki sonuçlar incelendiğinde kaplamasız durumdaki ana malzeme 7075-T6 yoğun pullanma korozyonu etkisin sebebiyle EC derecesiyle, N1, N5, N6, N7, N8, N13, N15 numuneleri düşük pullanma derecesi olan EA ile, N2, N3, N4, N10, N11, N14 numuneleri oyuklanma korozyonu göstermeleri sebebiyle P derecesiyle, N9, N12 ve N16 numunelerinde ise korozif etki gözlemlenmediğinden N derecesi ile derecelendirilmiştir. Numunelerin korozyon deneyi sonrası ağırlık kayıpları hassas terazide ölçülmüş olup elde edilen sonuçlar Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Korozyon deneyi sonrası numunelerin ağırlık kayıpları (mg)

Şekil 8'deki veriler incelendiğinde korozyon deneyi sonrası en yüksek ağırlık kaybı kaplamasız durumdaki ana malzemede  $2,73E-04$  mg olarak tespit edilmiştir. Anodik oksidasyon işlemi sonrası en yüksek ağırlık kaybının N15 ( $1,5 \text{ A/dm}^2$ ,  $2^\circ\text{C}$ , 170 dk) numunesinde  $1,69E-04$  mg, en düşük ağırlık kaybı ise N16 ( $1,5 \text{ A/dm}^2$ ,  $4^\circ\text{C}$ , 140 dk) numunesinde  $7,35E-05$  mg olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında anodik oksidasyon işlemi korozyon dayanımını artırmaktadır. Proses parametrelerinin ağırlık kaybına etkisinin karşılaştırmalı incelemesi amacıyla yapılan ANOVA analizleri Şekil 9'da verilmiştir. Yapılan istatistiksel incelemelerde S/N grafiği oluşturulup smaller is better kriterine uygun olarak değerlendirme yapılmıştır.



**Şekil 9.** Proses parametrelerinin ağırlık kaybına etkisi

Yapılan ANOVA analizleri sonucu ağırlık kaybı üzerinde en etkili olan parametrenin işlem süresi olduğu, en az etkisi olan parametrenin ise sıcaklık olduğu ve bunun göz ardı edilebilecek seviyede olduğu belirlenmiştir. Parametrelerin etkileri incelendiğinde artan akım yoğunluğu ile korozyon ortamına karşı dayanımın arttığı, en yüksek dayanımın tespit edildiği N16 numunesinde en yüksek akım değeri olan 1,5 A/dm<sup>2</sup> akım yoğunluğunun kullanıldığı belirlenmiştir. Benzer şekilde daha önce yapılan çalışmalarda da artan akım yoğunluğunun anodik oksit işleminde oluşan por yapısını küçülterek korozyon dayanımını artırdığı şeklinde bildirilmiştir [2,12,18,21]. Sıcaklık değişimlerinin yapılan ANOVA analizi sonucu kayda değer etkisinin bulunmamasına karşın, artırılmasının korozyon dayanımını artırdığı söylenebilir. Ağırlık kaybı üzerinde en yüksek etkisi olan işlem süresinin işe artırılmasının korozyon dayanımını artıracığı elde edilen ANOVA analizli sonucu söylenebilir fakat buna karşın parametrelerin birbirleri ile etkileşim içerisinde oldukları ve aynı zamanda yüzey pürüzlülüğü, ağırlık kayıpları sonuçlarından elde edilen verilerle karşılaştırıldığından en yüksek dayanıma sahip numunenin N16 (140 dk), en düşük sonucun elde edildiği N15 (170 dk) numunesinin ise belirtilen parametrelerde oksitlenmelerine karşın sonucun düşük sıcaklık verisinden yana olduğu tespit edilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde; AlSi alaşımlarının korozyon dayanımının artırılması amacıyla sıcaklık ve süre parametrelerinin değişken olarak belirlendiği deneysel çalışmada, anodik oksidasyon işleminin korozyon dayanımını artırdığı fakat bunun yanı sıra elde edilen kaplama kalınlıklarının korozyon dayanımı açısından önemli bir kriter olduğunu, düşük

kaplama kalınlıklarının daha düşük korozyon dayanımı sergiledikleri bildirilmiştir [21]. Diğer bir çalışmada doğal yaşlandırılmış AA7075 alaşımının %3,5 NaCl konsantrasyonunda korozyon davranışına tane yapısının etkisi incelenmiş ve iri taneli numunelerde daha yoğun olmakla beraber hem ince hem de iri taneli numunelerde oyuklanma (pitting) korozyonu olduğu bildirilmiştir. Ayrıca oyuklanma korozyonunun ilerlemesi ve korozif ortama bağlı olarak pullanma (exfoliation) ve gerilimli (stres) korozyonun oluşabileceği belirtilmiştir [33]. Başka bir çalışmada anodizasyona tabi tutulmuş AA7475 alaşımı % 5 NaCl konsantrasyonlu sise maruz bırakılarak korozyon davranışlarını incelemiştir ve anodizasyon uygulanmamış numunelerde korozyon çatlakları, yoğun oyuklanma (pitting) etkisi ve pullanma korozyonu, anodizasyon işlemi uygulanmış numunelerde düşük miktarlarda korozyon çukurcukları ve pullanma görüldüğü bildirilmiştir [34].

Yapılan korozyon deneyleri ve ANOVA analizleri neticesinde anodik oksidasyon işleminin 7075-T6 alaşımının korozyon dayanımını artırdığı,  $1,5A/dm^2$ ,  $4^{\circ}C$  ve 140dk proses parametreleri ile yapılan kaplamalar ile en yüksek korozyon dayanım sonuçlarının elde edilebileceği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar neticesinde korozif etkiler çerçevesinde değerlendirdiğinde 7075-T6 alaşımının kullanım ömrü anodik oksidasyon işlemi ile artırılmaktadır.

#### 4. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada anodik oksidasyon işlemleri Taguchi yöntemiyle oluşturulan deney tasarımı yönteminde hazırlanan tablo esas alınarak yapılmıştır. Her kaplama prosesinde gerilim (V) ve banyo konsantrasyonu (g/l) sabit tutulmuş, akım, sıcaklık ve süre değerleri değişken olarak kullanılmıştır. Belirlenen anodik oksidasyon parametreleri ile yapılan kaplamaların yüzey pürüzlülüğünü artırdığı en düşük yüzey pürüzlülüğü değerinin  $1,5 A/dm^2$ ,  $4^{\circ}C$ , 140 dk proses parametreleri ile elde edilebileceği belirlenmiştir. Anodik oksidasyon işleminde korozyon dayanımı artırmak için yapılan tespitleme işlemi sonrası numunelerin yüzey morfolojisi incelemelerinde açık gözeneklerin ve mikro çatlakların bulunduğu bu sebeple tespitleme işleminin porların tamamen kapatılması açısından yetersiz olduğu gözlemlenmiştir. Anodik oksidasyon işleminin 7075-T6 alaşımının korozyon dayanımını artırdığı ve korozyon dayanımının işlem süresi artışından olumlu yönde etkilenirken, sıcaklığının etkisi ihmal edilebilir seviyede olduğu, artan akım yoğunluğunun yanında işlem süresinin düşük tutulması oksit tabakasının korozyon dayanımını artırdığı gözlemlenmiştir. 7075-T6 alaşımına uygulanan anodik oksidasyon işlemi sonucu korozyon dayanımı açısından en etkin parametrenin  $1,5 A/dm^2$ ,  $4^{\circ}C$ , 140 dk proses parametreleri olduğu belirlenmiştir.



## Yazar Katkı Oranları

Çalışmanın Tasarlanması (Design of Study): Samet YAVUZ (%50), Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU (%50)

Veri Toplanması (Data Acquisition): Samet YAVUZ (%70), Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU (%30)

Veri Analizi (Data Analysis): Samet YAVUZ (%50), Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU (%50)

Makalenin Yazımı (Writing Up): Samet YAVUZ (%60), Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU (%40)

Makale Gönderimi ve Revizyonu (Submission and Revision): Samet YAVUZ (%100)

## KAYNAKLAR

- [1] C. Vargel, Corrosion of Aluminium, Alcan Engineered Products, Paris, 2004.
- [2] SurTech Technical Letter 18, Anodic Oxidation of Aluminium, 2008.
- [3] N. Mahathaninwong, T. Plookphol, J. Wannasin, and S. Wisutmethangoon, "T6 heat treatment of rheocasting 7075 Al alloy", Materials Science and Engineering, A 532, 91- 99, 2012
- [4] G. Krauss, ASM Handbook Volume 4 Heat Treating, ASM International, 1991.
- [5] Y. Qu, R. Su, J. You and R. Li, "Study on microstructure, mechanical properties and corrosion behavior of spray formed 7075 alloy", Materials Today Communications, 4, 109 - 115, 2015.
- [6] <https://www.seykoc.com.tr/icerik/7075?dil=tr/>, 7075 alaşımların kimyasal bileşimi, 28.06.2022.
- [7] S. Yavuz, Silah Gövde Malzemesi AA7075-T6 Alaşımının Anodik Oksidasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2018.
- [8] S. Yavuz, Y. Sert, M. Karslı, and T. Küçükömeroğlu, Determining optimum anodic oxidation parameters for hardness and wear properties of AA7075-T6 alloys using taguchi design, Brilliant Engineering, 1, 10-18, 2021.
- [9] E. Cirik, Anodik Oksidasyon İşleminin 7075-T6 Alüminyum Alaşımının Yorulma Davranışına Olan Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2007.
- [10] B. Bobic, S. Mitrovic, M. Babic and I. Bobic, Corrosion of aluminium and zinc-aluminium alloys based metal-matrix composites, Tribology in Industry vol 31, 3 - 4, 44 - 53, 2009.
- [11] E. Gökşahin, Sert Eloksal ile Kaplanmış 6XXX Serisi Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [12] H. Dong, Surface Engineering of Light Alloys, Woodhead Publishing, New York, USA, 2010.
- [13] J. Poyner, Electroplating, Workshop Practise Series Number 11, Argus Books, İngiltere, 1991.
- [14] F.W. Henley, Anodic Oxidation of Aluminium and Its Alloys, Pergamon Press, İngiltere, 1981.
- [15] 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.
- [16] E. L. Langer, ASM Handbook Volume 2 Properties and Selection: Nonferrous Allays and Special-Purpose Material, ASM International, 1992.
- [17] M. Övündür, Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Mikroark Anodik Oksidasyon ve Anodik Oksidasyon İşlemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [18] T. Şişmanoğlu, Anodik Oksidasyon Yöntemiyle 2024, 6082 ve 7075 Kalite Alüminyum Alaşımlarının Yüzey Özelliklerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [19] D. Nguyen, K. Rajan, and W. Wallace, "Discussion of effect of retrogression and reaging treatment on the microstructure of Al-7075-T651", Metallurgical Transactions A, Vol.16A, 2068, 1985.
- [20] I. Wen Huang, B.L Hurlley, F. Yang, and R.G. Buchheit, "Dependence on temperature, pH, and Cl in the uniform corrosion of aluminum alloys 2024-T3, 6061-T6, and 7075-T6", Electrochimica Acta, 199, 242-253, 2016.
- [21] X. Li, X. Nie, L. Wang and D.O. Northwood, "Corrosion protection properties of anodic oxide coatings on an Al-Si alloy", Surface and Coatings Technology, 200, 1994 - 2000, 2005.
- [22] G. Groves, Anodising of Aluminium, Yeni Zelanda. 2012.
- [23] R.C. Ferneau, Anodized Aluminium for Façades, Alcan International Limited, İngiltere , 2000.
- [24] P. Volk and C. Weigelt, "Post Treatment of Anodising Layers", Galvanotechnik, Surtech International, Almanya, 3, 466-470, 2017.
- [25] I. Tsangaraki-Kaplanoglu, S. Theohari, T. Dimogerontakis, Y. Wang, H.H. Kuo and S. Kia, "Effect of alloy types on the anodizing process of aluminum", Surface and Coatings Technology, 200, 2634 - 2641, 2006.
- [26] A.K. Mukhopadhyay ve A.K Sharma, "Influence of Fe-bearing particles and nature of electrolyte on the hard

- anodizing behaviour of AA 7075 extrusion products”, *Surface And Coatings Technology*, 92, 212 – 220, 1997.
- [27] W. Xiao-wei, and C. Chao-yin, “Influence of oxidation heat on hard anodic film of aluminum alloy”, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 22, 2707 – 2712, 2012.
- [28] C.A Grubbs, *Anodising of Aluminum, Metal Finishing, Guidebook and Directory*, U.S.A, 2008.
- [29] L.R Krishna, A.S. Purnima ve G. Sundararajan, “A Comparative study of tribological behavior of microarc oxidation and hard-anodized coatings”, *Wear*, 261, 1095–1101, 2006.
- [30] F. Demiral, İlk Merdane Sürekli Döküm Yöntemiyle Üretilen AA 1050 Alüminyum Alaşımına Anodik Oksidasyon (Eloksal) İşleminin Uygulanabilme Kabiliyetinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2015.
- [31] M. Şimşek, Mikro Ark Oksidasyon İle Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Kaplanmış AA7075 Alaşımının Kuru ve Yağlı Şartlarda Sürtünme ve Aşınma Davranışının İncelenmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2014.
- [32] Q. Li, J. Liang, B. Liu, Z. Peng and Q. Wang, “Effects of cathodic voltages on structure and wear resistance of plasma electrolytic oxidation coatings formed on aluminium alloy”, *Applied Surface Science*, 297, 176–181, 2014.
- [33] W. Tian, S. Li, B. Wang, J. Liu and M. Yu, “Pitting corrosion of naturally aged AA7075 aluminum alloys with bimodal grain size”, *Corrosion Science*, 13, 1 – 16, 2016.
- [34] K. Dejun and W. Jinchun, “Salt spray corrosion and electrochemical corrosion properties of anodic oxide film on 7475 aluminum alloy”, *Journal of Alloys and Compounds*, 632, 286 – 290, 2015.

