



## Alüminyum alaşımında anodizasyonun arayüzey özelliklerine etkisinin incelenmesi

Ebru Akcan<sup>1\*</sup>, Cem Mehmetlioğlu<sup>2</sup>, Arzu Özüyağlı<sup>3</sup> ve Akın Akıncı<sup>4</sup>

24.06.2015 Geliş/Received, 09.10.2015 Kabul/Accepted

doi: 10.16984/saufenbilder.01487

### ÖZ

Bu çalışmada, kaplama öncesinde altlık malzemesinin yüzey özelliklerini belirleyebilmek amacıyla kumlanmış, eloksallanmış ve parlatılmış Etial 171 Al alaşımları kullanılmıştır. Farklı yüzey işlemi görmüş Al altlıkların hangisinde kaplamanın optimum özellik gösterebileceği çeşitli deneylerle test edilmiştir. Eloksallama koşulları ve oksit tabakasının kalınlığı, alüminyum altlıkların temas açısı, yüzey pürüzlülüğü değerleri, optik mikroskop görüntüleri, AFM incelemeleri ve XRD analizleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda; yüzey pürüzlülüğü değeri kumlanmış alüminyumda yüksektir ve kaplamanın pürüzlü yüzeyde daha iyi özellik göstereceği düşünülmüştür. Anodizasyon işlemi altlık malzemenin temas açısı değerini düşürmüştür. Parlatma işlemi sonucunda yüzey pürüzlülüğü değeri düşük ve altlık malzemesinin temas açısı değeri ise çok yüksek çıkmıştır. Bu durum, kaplamanın yüzeyde tutunmasını zorlaştırmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** alüminyum, anodizasyon, yüzey pürüzlülüğü, temas açısı.

## Investigation of the effect on interfacial properties of anodization to aluminium alloys

### ABSTRACT

In this study, Etial 171 Al alloy is used with different surface treatments. Sanded, polished and anodized in which the Al base is tested by experiments can show optimum functionality of the coatings. Anodizing conditions, the contact angle of the aluminum substrate, the surface roughness and it is located in the optical microscope images of the aluminum. As a result of the investigations, surface roughness is higher in sandblasted aluminium and it is thought that the coating showed better feature rough surface. Anodization process reduced the value of the contact angle of base materials. As a result of polishing the surface roughness value is low and the value of the contact angle of the substrate was highly elevated. This situation has made it difficult to adhesion the surface coating.

**Keywords:** aluminium, anodic oxidation, surface roughness, contact angle.

\* Corresponding Author / Sorumlu Yazar

<sup>1</sup> Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya - ebru\_6781@hotmail.com

<sup>2</sup> Asaş Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş. İstiklal Mah. Kışla Alanı Mevkii Akyazı, Sakarya - cem.mehmetlioglu@asasalu.com.tr

<sup>3</sup> Asaş Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş. İstiklal Mah. Kışla Alanı Mevkii Akyazı, Sakarya - arzu.ozuyagli@asasalu.com.tr

<sup>4</sup> Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya - akinci@sakarya.edu.tr

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği gelişmelere paralel olarak hem gelişen teknolojinin ihtiyacı olan malzemelerin üretilmesine imkân sağlamakta, hem de teknolojik alanlarda bazı yeniliklere öncülük etmektedir [1]. Teknolojinin hızla ilerlemesiyle metalik malzemelerin herhangi bir işlem uygulanmadan göstermiş olduğu performans, sistem şartları ağırlaştığında yetersiz kalmaktadır. Malzemelerin endüstride kullanılabilmesi için bazı yüzey özelliklerini bünyesinde taşıması gerekmektedir. Bu şartlarda malzemelerin istenilen yüzey performanslarını sağlaması amacıyla çeşitli yüzey işlem teknolojileri ve kaplama yöntemleri geliştirilmektedir [2].

Kumlama, malzemelerin üzerinde biriken kir, yağ, pas, boya ve tufal gibi atıkları yüzeyden arındırmak ve malzeme yüzeyini arzu edilen formda pürüzlendirmek amacıyla yapılmaktadır. Aşındırıcının malzeme yüzeyine belirli bir basınç ve açı ile püskürtülmesi sonucunda malzeme yüzeyinin temizlenmesi ve pürüzlendirilmesi gerçekleştirilmektedir [3-4]. Boya, kaplama ve yapılandırma öncesindeki işlemler için yüzeyin belirli bir pürüzlüğe sahip olması gerekir. Bunun istenmesindeki amaç boyanın veya kaplamanın tutunacağı yüzey alanını arttırarak sağlam bir boya/kaplama tabakasına sahip olmaktır. Fakat gereğinden fazla pürüzlülük de istenmeyen bir durumdur. Çünkü yüzeyi kapatmak için gereken boya miktarı artar [5].

Anodizasyon, metalik bir malzemenin elektrolit içerisinde anodik olarak oksitlendiği elektrokimyasal bir prosestir. Elektrolit içinde anodik oksit kısmı çözünürlüğe sahip olmaktadır, metal arayüzeyinde geçirimsiz bir bariyer oksit tabakası oluşmaktadır ve gözenekli dış tabaka elektrolit ile temas halinde bulunmaktadır [6]. Genel olarak anodik oksitin hem metal oksit arayüzeyinde hem de elektrolit arayüzeyinde büyüdüğü kabul edilmektedir [7]. Metallerin birçoğuna anodizasyon işlemi yapılabilmesine rağmen, alüminyumun anodizasyonu ile daha çok karşılaşmaktadır [8]. Alüminyum oksidin geniş bant boşluğu, bariyer yüksekliği, dielektrik sabiti, iyi yapışma, mekanik mukavemet, termal stabilite ve korozyon direnci gibi özellikleri nedeniyle çeşitli ticari, askeri ve laboratuvar uygulamalarında kullanılmaktadır [9]. Alüminyumun kullanım yerine ve kullanılan alüminyumun alaşım türüne göre eloksal işlemi farklı tiplerde elektrolitler kullanılarak yapılmaktadır. Dekoratif ve koruma amaçlı okzalik asit, sülfö-organik asit, fosforik asit, kromik asit kullanılırken, elektrolitik kapasitör için sitrik asit ve borik asit kullanılmaktadır. Wang çalışmasında eloksal prosesinde en yaygın elektrolit olarak fosforik asit, okzalik asit ve sülfürük asit

olarak farklı asit çözeltilerinin kullanıldığından bahsetmiştir. Çalışmasında fosforik asit kullanarak 15 µm kalınlığında oksit tabakası oluşturmuştur [10]. Graeve ve ark. AA1050 alaşımlı alüminyum plaka kullanarak sülfürük asit içerisinde eloksal işlemi gerçekleştirmiş ve sıcaklığın oksit filmi üzerindeki etkisini araştırmıştır [11].

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

### 2.1. Altlık Malzemelerin Hazırlanması (Preparation of Substrate Materials)

Bu çalışmada altlık malzemesi olarak Tablo 1’de bileşimi verilen ETİAL 171 Al alaşımı kullanılmıştır. Numuneler 100x100x4 mm boyutlarında hazırlanmıştır.

Tablo 1. Kullanılan alüminyum altlıkların kimyasal bileşimi (The chemical composition of the used aluminum substrate) [12].

| Kimyasal Bileşim (%) |          |           |      |
|----------------------|----------|-----------|------|
| <b>Fe</b>            | 0,50     | <b>Zn</b> | 0,10 |
| <b>Si</b>            | 9,0-10,0 | <b>Ni</b> | 0,10 |
| <b>Cu</b>            | 0,1      | <b>Ti</b> | 0,15 |
| <b>Mn</b>            | 0,4-0,6  | <b>Pb</b> | 0,10 |
| <b>Mg</b>            | 0,3-0,45 | <b>Sn</b> | 0,10 |

Etial 171 malzemesinin özellikleri ve kullanım alanları; korozyona karşı dayanımı, dökülebilirlik kabiliyeti ve işlenebilirlik özelliği iyi olan alanlarda kullanılmaktadır. Bu malzemelere anodik oksidasyon sadece yüzey koruma amaçlı yapılmaktadır. Yüksek mukavemete sahiptir ve basınçlı dökümlerde kullanılmaktadır [12].

### 2.2. Kumlama İşlemi (Sandblasting Process)

Kumlama aşındırıcı malzeme olarak silis kumu kullanılmıştır. Bu kum genellikle ince profillerde hafif şiddette kumlama yapılacağı zaman kullanılmaktadır. Kumlama işleminde kırık yüzeyle kum kullanılmıştır. Kumun, 8 bar hava basıncı ile metal yüzeylere çarptırılması sırasında kum metal yüzeydeki istenmeyen maddeleri kazıyarak temizlemiştir. Tablo 2’de kumlama parametreleri verilmiştir.

Tablo 2. Kumlama parametreleri (Sandblasting parameters)

|  |                  |
|--|------------------|
| <b>Aşındırıcı</b>                        | % 100 Silis kumu |
| <b>Aşındırıcı Şekli</b>                  | Kırık yüzey      |
| <b>Püskürtme Basıncı (bar)</b>           | 8                |
| <b>Fırlatma Hızı (m/s)</b>               | 80               |
| <b>Mohs Sertliği</b>                     | 7                |
| <b>Özgül ağırlık (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | 2,65             |

### 2.3. Anodizasyon İşlemi (Anodizing Process)

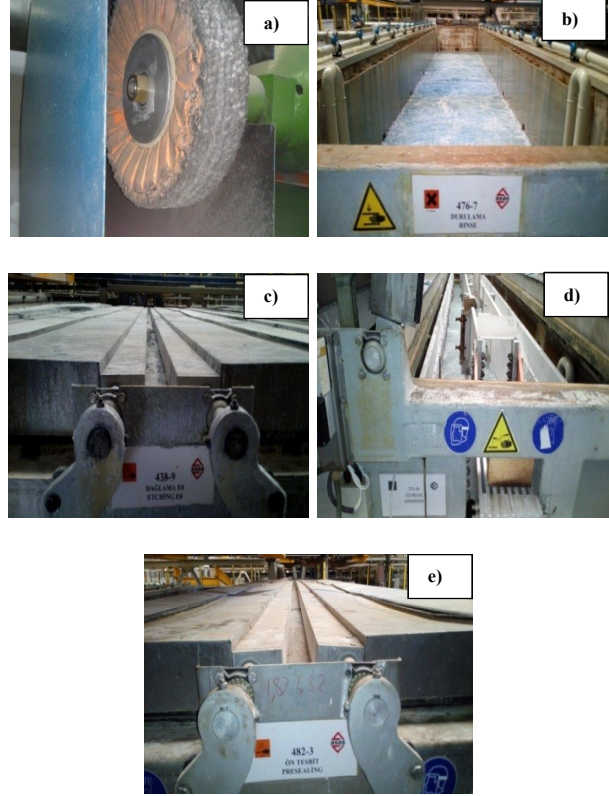
Eloksallama işlemi ASAŞ Alüminyum San. ve Tic. A.Ş. firmasında yapılmıştır. Tablo 3'te anodizasyon parametreleri verilmiştir.

Tablo 3. Anodizasyon parametreleri (Anodizing parameters)

| Akım Türü                                   | DA      |
|---|---------|
| Akım Yoğunluğu (A/dm <sup>2</sup> )         | 1,5     |
| Gerilim (Volt)                              | 12-25   |
| Süre (dakika)                               | 20-30   |
| Sıcaklık (°C)                               | 18-22   |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> oranı (g/lt) | 180-200 |
| Anot-Katot arası mesafe (cm)                | 25-30   |

Eloksal çalışmalarında da Etial-171 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Alüminyum levha, eloksallama işlemine tabi tutulmadan önce parlak eloksal elde edilmek istendiğinde polisaj denilen parlatma işleminden geçirilmiştir. Daha sonra alkali bazlı yağ alma olarak adlandırılan temizleme banyosunda üzerinde bulunabilecek kirletenlerin uzaklaştırılması için temizlenmiştir. 55°C NaOH içeren kostik matlaştırma banyosunda 10 dk. tutulmuştur. Sıcak durulama banyosundan geçen alüminyum profil eloksal banyosuna alınmadan önce üzerinde kalabilecek alkali etkilerine karşın düşük derişimli sülfürik asit banyosunda 3-4 dk bekletilmiştir. Eloksal işlemi sırasında profile 180 g/L sülfürik asit içeren banyoda 19 °C de 30 dk boyunca 18 V potansiyel uygulanmıştır. Ön tespit ünitesinde eloksal kalınlığı mikron cinsinden ölçülmüştür. Bu ölçüm sonucunda eloksallama kalınlığı istenilen seviyeye geldiğinde sıcak su banyosuna ve kurutma fırınına alınarak eloksal işlemi tamamlanmıştır.

Şekil 1'de ASAŞ Alüminyum San. ve Tic. A.Ş. firmasında eloksallama işleminde kullanılan ünitelerin işlem sırasına göre görüntüleri verilmiştir.



Şekil 1. Eloksallama ünitelerinin işlem sırasına göre fotoğrafları, a) Polisaj, b) Durulama, c) Dağlama, d) Anodizasyon ve e) Ön tespit (The photos according to the procedure of anodizing unit, a) Polishing, b) Rinsing, c) Etching, d) Anodic Oxidation and e) Front-locking).

Şekil 1(a)'da polisaj işleminde kullanılan motora bağlı olarak çalışan fırça görülmektedir. Bu fırçaya kimyasal bileşimi belirli sıvı bir cila sürülerek parlatılma işlemi gerçekleştirilmektedir. Polisaj işleminden sonra profiller yağ alma ünitesine gitmektedir ve burada 60-65°C'de deterjanlı su ile yıkanıp temizlenmektedir. Daha sonra profiller durulamaya gitmektedir. Şekil 1(b)'de durulama ünitesi görülmektedir. Burada deterjandan arındırılmaktadır. Şekil 1(c)'de dağlama ünitesi görülmekte ve burada kostik banyosuna daldırılmaktadır. Yüzey dağlandıktan sonra profiller Şekil 1(d)'de görülen eloksal havuzuna daldırılmaktadır ve Tablo 3'te belirtilmiş olan anodizasyon parametrelerine göre eloksallama işlemi gerçekleştirilmektedir. Burada bekleme süresine göre de eloksallama kalınlığı artmaktadır. Şekil 1(e)'de ön tespit ünitesi görülmektedir ve burada eloksal kalınlığı ölçen cihazla mikron cinsinden eloksal kalınlığı ölçülmektedir.

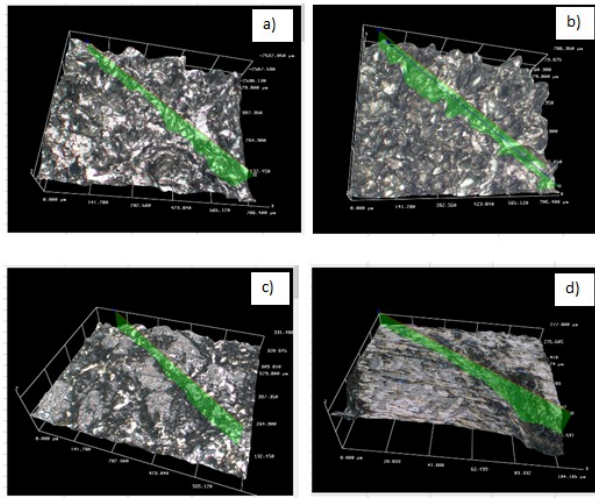
### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

#### 3.1. Eloksallama Kalınlığı (Anodizing Thickness)

Şekil 1(e)'de görülen ön tespit ünitesinde eloksallama kalınlığı 10-15  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür.

#### 3.2. Yüzey Pürüzlülüğü (Surface Roughness)

Aşağıdaki Şekil 2'de ve Tablo 3'te farklı yüzey işlemleri görmüş alüminyum altlık malzemelerin sırasıyla yüzey pürüzlülüğü görüntüleri ve pürüzlülük değerleri görülmektedir.



Şekil 2. a) Kumlanmış, b) Eloksallanmış, c) Parlatılmış-eloksallanmış ve e) Parlatılmış alüminyum altlıkların yüzey pürüzlülüğü görüntüleri (Images of the surface roughness of the a) Sanded, b) Anodized, c) Polished-anodized and e) Polished aluminum substrates).

Tablo 1. Farklı yüzey işlemleri görmüş numunelerin yüzey pürüzlülüğü değerleri (surface roughness values of the samples have seen different surface treatment).

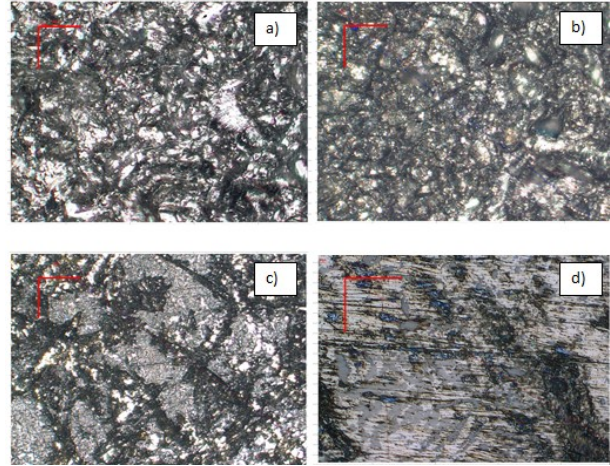
| Numune                    | Yüzey Pürüzlülüğü Değeri ( $\mu\text{m}$ ) |
|---------------------------|--|
| Kumlanmış                 | 7,07                                       |
| Eloksallanmış             | 6,31                                       |
| Parlatılmış-Eloksallanmış | 1,04                                       |
| Parlatılmış               | 0,29                                       |

Şekil 2'den ve Tablo 3'den görüldüğü üzere en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri kumlanmış alüminyum altlık numunesinde, en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri ise parlatılmış alüminyum altlık numunesinde görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü değerlerine bakılarak bir kıyaslama yapıldığında kumlama işlemi görmüş alüminyum altlık numunesinde kaplamanın yüzeye tutunmasının daha iyi olacağı düşünülmektedir. Çünkü kaplamanın uygulanacağı yüzey alanı daha fazladır.

Kaplama uygulanacak altlık malzemelerin yüzey pürüzlülüğünün optimum değerinde olması gerekmektedir. Yüzey pürüzlülüğü değeri çok yüksek olduğunda ise yüzeye uygulanacak olan kaplama kalınlığı ve miktarı artacaktır.

#### 3.3. Mikroyapı İncelemeleri (Microstructural Studies)

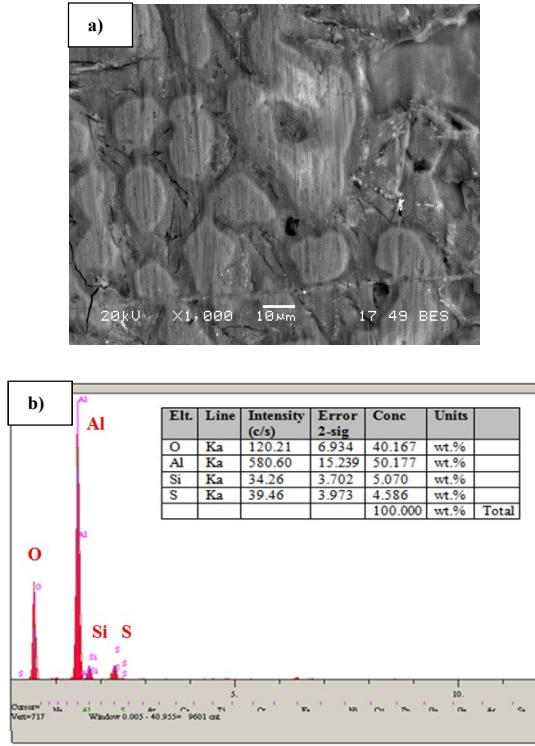
Optik mikroskop görüntüleri için Huvitz marka üç boyutlu optik mikroskop cihazı kullanılmıştır. Aşağıda Şekil 3'de kumlanmış, eloksallanmış, parlatılmış-eloksallanmış ve parlatılmış alüminyum altlıkların optik mikroskop görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3. a) Kumlanmış, b) Eloksallanmış, c) Parlatılmış-eloksallanmış ve e) Parlatılmış alüminyum altlıkların optik mikroyapıları (Microstructures of the optical microscope of the a) Sanded, b) Anodized, c) Polished-anodized and e) Polished aluminum substrates) (90X).

Şekil 3'ten de görüldüğü üzere parlatma işlemi görmüş olan yüzeyler kumlama ve eloksallama işlemi görmüş olanlara göre daha mat bir yüzey görüntüsü sergilemektedir. Şekil 3(a) ve (b)'de yüzeyde oluşan kontrast farklılığından dolayı alüminyum yüzeyinde parlak kısımlar görülmektedir. Bu parlak kısımlar Şekil 3(c) ve (d)'deki görüntülerde daha az olarak görülmektedir. Kumlama işlemi sonucu alüminyum yüzeyinde oluşan yükselti farkları diğer yüzey işlemlerine kıyasla daha fazladır. Bu durum, yüzey pürüzlülüğü değerinin de yüksek olmasını desteklemektedir.

Şekil 4'de 2M'lik sülfürik asit çözeltisi ile eloksallanmış alüminyum altlık numunesine ait malzemenin SEM görüntüsü ve EDS analizi verilmektedir.

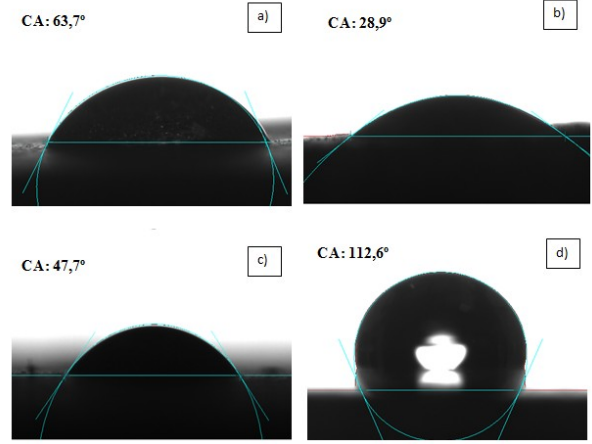


Şekil 4. 2M'lık H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisinde 19°C sıcaklıkta 30 dakika ve 18 V gerilim değerindeki numunelerin a) SEM görüntüsü ve b) EDS analizi (2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution in 30 minutes at 19°C temperature and 18 V voltage value of the sample of a) SEM image and b) EDS analysis).

Şekil 4 (b)'deki EDS analizinin sonuçlarına bakıldığında oksijen elementine ait piklerin varlığı alüminyum altlık numunesinin eloksalama işlemi sonucunda yüzeyinde oksit tabakasının oluştuğunu göstermektedir. Yapılan eloksalama işlemi sonucunda ölçülen eloksalama kalınlığı 15 µm olarak tespit edilmiştir. Şekil 4 (a)'daki SEM görüntülerine bakıldığında oksit tabakalarının düzenli olduğu görülmektedir.

### 3.4. Temas Açısı Değerleri (Contact Angle Values)

Kumlanmış, eloksalanmış, parlatılmış-eloksalanmış ve parlatılmış alüminyum altlıkların temas açıları Şekil 5'te verilmiştir.

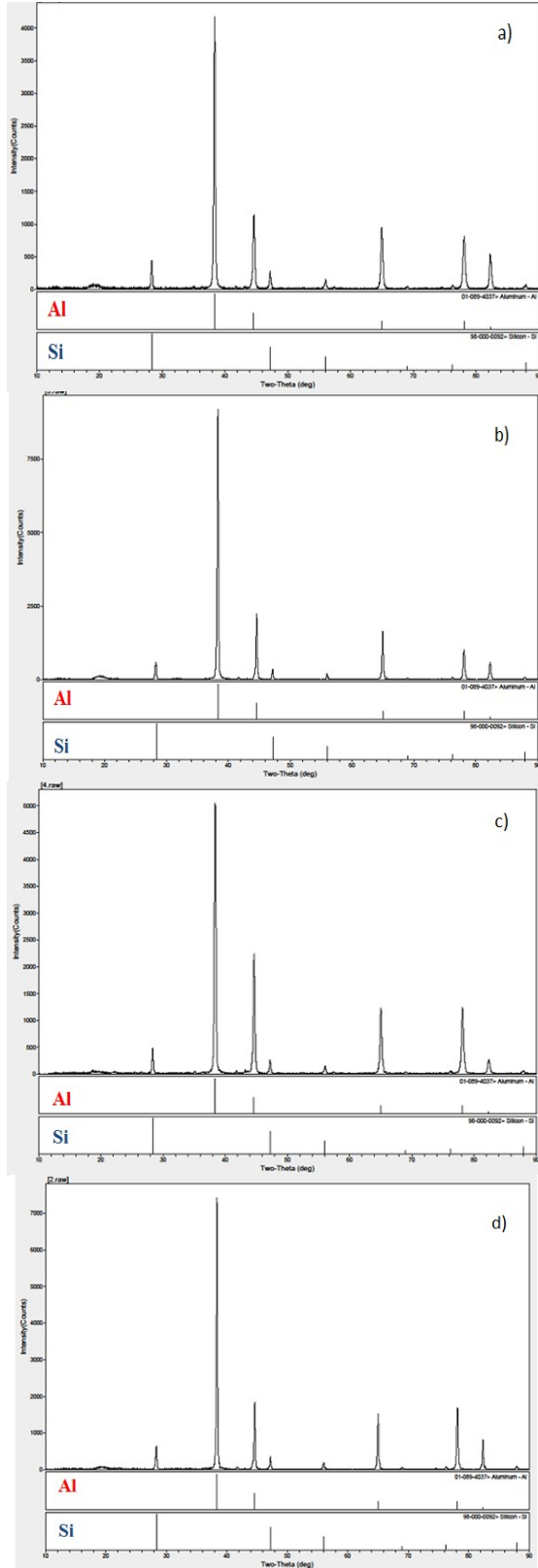


Şekil 5. a) Kumlanmış, b) Eloksalanmış, c) Parlatılmış-eloksalanmış ve d) Parlatılmış alüminyum altlıkların temas açıları. (The contact angles of the a) Sanded, b) Anodised, c) Polished-anodised and e) Polished aluminum substrates).

Şekil 5'ten de görüldüğü üzere kumlanmış alüminyum altlık numunesinin temas açısı değeri 63,7° olarak bulunmuştur. Bu değer otomobil sektöründe kullanılan alüminyum kalıpların temas açısı ile uyum göstermektedir. Eloksalanmış ve parlatılmış-eloksalanmış alüminyum altlıkların temas açısı sırasıyla 28,9° ve 47,7° olarak ölçülmüştür. Alüminyum altlıklara uygulanmış olan eloksalama işlemi alüminyumun temas açısı değerini azaltmıştır. Bunun sebebi eloksalama işlemi sonucunda yüzeyde poroziteli bir alüminyum oksit tabakasının oluşumu ile ilgili olabilir. Çünkü bu oluşan tabaka boşluklu bir tabakadır. Boşluklu bir yapı olması temas açısının ölçümü esnasında damlatılan sıvının boşluklarda emilimi ile sonuçlanmış olabilir. Parlatılmış alüminyum altlık numunesinin temas açısı değeri 112,6° olarak bulunmuştur. Düşük ıslatılabilirlik özelliği gösterdiğinden dolayı parlatılmış yüzey üzerine kaplama yapıldığında kaplamanın yüzeyde tutunmasının zor olacağı düşünülmektedir.

### 3.5. XRD Sonuçları (XRD Results)

Kumlanmış, eloksalanmış, parlatılmış-eloksalanmış ve parlatılmış alüminyum altlıkların XRD sonuçları Şekil 6'da görülmektedir.

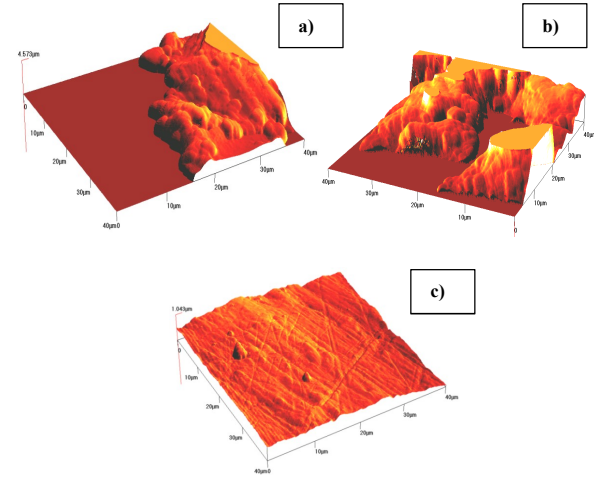


Şekil 6. a) Kumlanmış, b) Eloksallanmış, c) Parlatılmış-eloksallanmış ve d) Parlatılmış alüminyum altlıkların XRD sonuçları (XRD results of the a) Sanded, b) Anodised, c) Polished-anodised and e) Polished aluminum substrates).

Farklı yüzey işlemi görmüş alüminyum altlıkların XRD sonuçlarına bakıldığında Alüminyum (Al) ve Silisyum (Si) kristallerine ait pikler görülmüştür. Yüzey işlemleri sonucunda başka bir faz oluşumu gerçekleşmemiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan altlıkların Al-Si alaşımına ait olduğunun bir kanıtıdır.

### 3.6. AFM İncelemeleri (AFM Studies)

Şekil 7’de kumlama, eloksallama ve parlatma gibi farklı yüzey işlemi görmüş Etial 171 Al alaşımına ait altlıkların AFM görüntüleri ile birlikte  $40 \times 40 \mu\text{m}^2$ ’lik tarama alanına ait yüzey pürüzlülüğü değerleri görülmektedir. Şekil 7’den de görüldüğü üzere kumlanmış Al altlık malzemeye ait yüzey pürüzlülüğü değeri  $4,573 \mu\text{m}$ , eloksallanmış Al altlık malzemeye ait yüzey pürüzlülüğü değeri  $3,812 \mu\text{m}$  ve parlatılmış Al altlık malzemeye ait yüzey pürüzlülüğü değeri de  $1,043 \mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. Bu değerlerin; üç boyutlu optik mikroskopta elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinden farklılık göstermesinin nedeni AFM cihazında altlık malzeme yüzeyinin tamamının değil belli bir kısmının temsil edilmesidir.



Şekil 7. a) Kumlanmış, b) eloksallanmış ve c) parlatılmış alüminyum altlık malzemelere ait AFM görüntüleri (AFM images of the a) Sanded, b) Anodised and c) Polished aluminum substrates).

## 4. GENEL SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Eloksallama işlemi sonucunda oksit tabakasının kalınlığının  $10-15 \mu\text{m}$  arasında olduğu görülmüştür.

Yüzey pürüzlülüğü değeri kumlanmış alüminyum altlık numunesinde en yüksektir. Parlatılmış alüminyum altlık numunesinde ise en düşüktür. Pürüzlülük değerlerinin AFM incelemeleri ile benzerlik gösterdiği de görülmektedir.

Optik mikroskop görüntülerinde kumlanmış ve eloksallanmış yüzeylerde kontrast farklılığından dolayı parlak kısımlar mevcut iken parlatılmış alüminyum yüzeyinden daha mat bir görüntü elde edilmiştir.

Alüminyum altlık malzemelerinin temas açısı değerlerine bakıldığında eloksallama işleminin temas açısı değerini düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Kumlanmış alüminyum numunesinin temas açısı 63,7° olarak ölçülürken parlatılmış alüminyum numunesinin temas açısı değeri 112,6° ölçülmüştür. Kumlanmış alüminyum altlık malzemesinin yüksek ıslatılabilirlik özelliği göstermesi yüzeye kaplama yapıldığında tutunmasının iyi olacağını gösterirken parlatılmış alüminyum numunesinde kaplamanın döküleceğini veya yüzeye yapışma göstermeyeceği düşünülmektedir.

XRD incelemeleri sonucunda farklı yüzey işlemleri uygulanmış alüminyum altlık numunesinde herhangi bir faz oluşumuna rastlanılmamış ve altlığın Al-Si alaşımına ait olduğu kanıtlanmıştır.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma; Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Sanayi Tezleri Programı (SANTEZ) 0312.STZ.2013-2 nolu proje ve Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (Proje No: 2014-50-01-007) tarafından desteklenmiştir. Ayrıca yazarlar; malzeme destekleri için Toyota Boshoku Türkiye A.Ş. firmasına, deneysel çalışmalara katkıları için Asaş Alüminyum San. ve Tic. A.Ş. firmasına ve Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne (BAPK) teşekkür etmektedir.

#### KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] S. Özel, H. Turhan, F. Sarsılmaz (2008), “AA2024 Alüminyum Alaşımı Yüzeyine Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> Tozunun Plazma Sprey Yöntemiyle Kaplanması”, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 20, No 3, pp. 503-508.
- [2] S. Özel (2013), “Yüzey Kaplama İşlemlerinde Kullanılan Isıl Püskürtme Yöntemleri” Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 2, No 1, pp. 88-97.
- [3] US Army Corps of Engineers (1995), "Surface Preparation Painting", New Construction and Maintenance, Washington, ABD, pp. 4-15.
- [4] K. Kambham (2007), “Copper slag: optimization of productivity and consumption for cleaner production in dry abrasive blasting”, Journal of cleaner production, Cilt 15, No 5, pp. 465-473.
- [5] M. E. Satici (2004), “Kumlama İşleminin ve Bu İşleme Etkiyen Parametrelerin İncelenmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [6] J. W. Diggle, T. C. Downie, C. W. Goulding (1969), “Anodic oxide films on aluminum”, Chem. Rev., Cilt. 69, pp. 365-405.
- [7] G. E. J. Poinern, N. Ali, D. Fawcett (2011), “Progress in nano-engineered anodic aluminum oxide membrane development”, Materials, Cilt 4, pp. 487-526.
- [8] S. Wernick, R. Pinner, P. G. Sheasby (1987), The Surface Treatment and Finishing of Aluminum and It's Alloys (fifth ed.), Cilt 1&2 Finishing Publications Ltd. England.
- [9] C. Lu, Z. Chen (2011), “Anodic aluminum oxide-based nanostructures and devices, Encyclopedia Nanoscience Nanotechnology, Cilt 11, pp. 235-259.
- [10] H. Wang (2006), "Analysis on porous aluminum anodic oxide film formed in Re-OA-H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> solution, Materials Chemistry and Physics, Cilt 97, pp- 213-218.
- [11] I. De Graeve, H. Terryn, G.E. Thompson (2003), “Influence of local heat development on film thickness for anodizing aluminum in sulfuric acid, Journal of the Electrochemical Society, Cilt 150, pp. 158-165.
- [12] H. Bayar (2009), “SiCp Takviyeli Etial 171 (AlSi10Mg) Alüminyum Alaşım Matrisli Kompozitten Basınçlı Pres Döküm Yöntemiyle Parça Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, pp. 61-62.