T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ALÜMİNYUM YÜZEYLER ÜZERİNE SÜPERHİDROFOBİK KAPLAMALARIN UYGULANMASINDA PROSES PARAMETRELERİNİN DENEYSEL TASARIM YÖNTEMLERİ İLE OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇETİN KARAGÖL

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. ÇAĞLAYAN AÇIKGÖZ

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ SAHRA DANDIL

BİLECİK, 2022
10493768

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ALÜMİNYUM YÜZEYLER ÜZERİNE SÜPERHİDROFOBİK KAPLAMALARIN UYGULANMASINDA PROSES PARAMETRELERİNİN DENEYSEL TASARIM YÖNTEMLERİ İLE OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇETİN KARAGÖL

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. ÇAĞLAYAN AÇIKGÖZ

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ SAHRA DANDIL

BİLECİK, 2022
10493768

BEYAN

"Alüminyum Yüzeyler Üzerine Süperhidrofobik Kaplamaların Uygulanmasında Proses Parametrelerinin Deneysel Tasarım Yöntemleri İle Optimizasyonu" adlı yüksek lisans tezi hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

<table>
<tr><td colspan="4">Bu çalışmanın,

Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.</td></tr>
<tr><td>DESTEK ALINMIŞTIR</td><td></td><td>DESTEK ALINMAMIŞTIR</td><td>x</td></tr>
<tr><td colspan="4">Destek alındı ise;</td></tr>
<tr><td colspan="4">Destekleyen kurum;</td></tr>
<tr><td colspan="2">Desteğin Türü</td><td colspan="2">Proje Numarası</td></tr>
<tr><td colspan="2">1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)</td><td colspan="2" rowspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="2">2- TÜBİTAK</td></tr>
<tr><td colspan="2">Diğer;</td></tr>
<tr><td colspan="4">ETİK KURUL onayı var ise;</td></tr>
<tr><td colspan="2">ETİK KURUL karar tarih/sayı:</td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

Çetin KARAGÖL

…/…/2022

İmza

ÖN SÖZ

Lisans eğitimimden bugüne kadar ilgisini ve desteğini esirgemeyen, çok değerli fikirleri ile daima yanımda olan, saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ' e,

Tez çalışmam boyunca, her konuda desteğini esirgemeyen ve çalışmalarımın en iyi şekilde yürütülmesini sağlayan aynı zamanda ikinci danışmanım olan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Sahra DANDIL'a,

Lisans ve Yüksek lisans eğitimim boyunca desteklerini sürekli hissettiğim Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü Yönetimine ve çalışma arkadaşlarıma,

Çalışmamız için gerekli olan alüminyum levhaların temininde ve çalışma sonunda yapılan analizlerde yardımlarını esirgemeyen Arslan Alüminyum A.Ş. AR-GE çalışanlarına,

Yaptığım çalışmaları her zaman destekleyen ve her zaman yanımda olan sevgili eşim Selda KARAGÖL'e ve aileme,

Çok teşekkür ederim.

Çetin KARAGÖL

ÖZET

ALÜMİNYUM YÜZEYLER ÜZERİNE SÜPERHİDROFOBİK KAPLAMALARIN UYGULANMASINDA PROSES PARAMETRELERİNİN DENEYSEL TASARIM YÖNTEMLERİ İLE OPTİMİZASYONU

Yüzey kaplama işlemleri, malzemelere istenilen yüzey özelliklerinin kazandırılması için yoğun şekilde kullanılan ve geliştirilen bir konudur. Bu çalışmada, alüminyum yüzeyler üzerinde, daldırma kaplama yöntemi ile süperhidrofobik kaplamalar geliştirilmesi hedeflenmiş ve bu kapsamda deney koşulları deneysel tasarım yöntemlerinden biri olan Taguchi deney tasarım yöntemi ile de optimize edilmiştir. Deneysel tasarımda; zımpara, aşındırma ve modifikasyon olmak üzere 3 faktör belirlenmiş ve bu üç faktör için de 3 seviye belirlenerek, etki dereceleri ve birbirleri ile etkileşimleri incelenmiştir.

Deneysel çalışmalarda numune olarak 7 cm x 2 cm x 1,5 mm boyutlarındaki alüminyum plakalar kullanılmıştır. Deney numunelerinin zımpara işleminde 3 farklı zımpara kağıdı (400,600 ve 800' lük) kullanılmıştır. Aşındırma ve modifikasyon işlemleri iki farklı deneysel çalışma ile gerçekleştirilmiştir. Her iki çalışmada da Minitab 18 programı kullanılarak L_9 ortogonal düzende 9 farklı deney yapılmıştır. Birinci deneysel çalışmada; zımparalama işlemi tamamlanmış numuneler 4 M' lık hidroklorik asit (HCl) çözeltisine 2, 4 ve 6 dakika daldırılarak aşındırılmıştır. Modifikasyon işlemi için, aşındırılmış yüzeyler 0,01 M derişiminde dodesiltrietoksisilanın etanollü çözeltisine 8, 16 ve 24 saat daldırılarak bekletilmiştir. İkinci seri deneysel çalışmalarda ise; ardışık olarak baz + asit muamelesi ile aşındırma işlemleri yapılmıştır. Burada, zımparalanmış numuneler 1 M sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisine 10 dakika daldırılarak aşındırılmıştır. Ardından 20 ml H_2O: 8 ml HCI: 1 ml CH_3COOH oranındaki çözeltiye 3, 5 ve 10 dakika daldırılarak ikinci bir aşındırma işlemi yapılmıştır. Modifikasyon işleminde, aşındırılmış numunelere kütlece % 2' lik palmitik asitin etanollü çözeltisi içinde 15, 30 ve 60 dk sürelerde daldırma işlemi uygulanmıştır.

Elde edilen yüzeylerin süperhidrofobik özelliği, temas açı ölçüm cihazı ile belirlenmiş ve yüzey morfolojileri Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Temas açı sonuçlarına göre; her iki çalışmada da 150°' nin üzerinde temas açıları elde edilmiş ve alüminyum yüzeylere süperhidrofobik özellik kazandırıldığı belirlenmiştir. SEM görüntülerinde ise; süperhidrofobik yüzeylerin pürüzlü yapıda olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre; uygulanan yöntemin, alümünyum yüzeyler üzerinde süperhidrofobik kaplamaların geliştirilmesinde kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, Aşındırma, Modifikasyon, Süperhidrofobik, Taguchi

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF PROCESS PARAMETERS WITH EXPERIMENTAL DESIGN METHODS IN THE APPLICATION OF SUPERHYDROPHOBIC COATINGS ON ALUMINUM SURFACES

Surface coating processes are a subject that is used and developed extensively to give the desired surface properties to the materials. In this study, it was aimed to develop superhydrophobic coatings on aluminum surfaces with the dip coating method, and the experimental conditions were also optimized with the Taguchi experimental design method, which is one of the experimental design methods. In experimental design; 3 factors were determined as sanding, etching and modification, and 3 levels were determined for these 3 factors, and their degree of influence and interactions with each other were examined.

Aluminum plates with dimensions of 7 cm x 2 cm x 1.5 mm were used as samples in the experimental studies. 3 different sandpapers (400, 600 and 800) were used in the sanding process of the samples. Etching and modification processes were carried out with 2 different experimental studies. In both studies, 9 different experiments were carried out in L_9 orthogonal arrangement using Minitab 18 program. In the first experimental study; the sandede samples, were immersed in 4 M hydrochloric acid (HCl) solution for 2, 4 and 6 minutes and etched. For the modification, the etched surfaces were immersed in an ethanolic solution of dodecyltriethoxysilane at a concentration of 0.01 M for 8, 16 and 24 hours. In the second series of experimental studies; etching processes were carried out sequentially with base + acid treatment. Here, sanded samples were etched by 1 M sodium hydroxide (NaOH) solution for 10 minutes. Then, a second etching was carried out by immersing it in a solution of 20 ml distilled water (H_2O): 8 ml HCl: 1 ml (acetic acid) CH_3COOH for 3, 5 and 10 minutes. In the modification process, the etched samples were immersed in an ethanolic solution of 2 % by mass of palmitic acid for 15, 30 and 60 minutes.

The superhydrophobic properties of the surfaces were determined with the contact angle measuring device and the surface morphologies were examined by Scanning Electron Microscope (SEM). According to the contact angle results; in both studies, contact angles of over 150° were obtained and aluminum surfaces were determined as superhydrophobic. In SEM images; the rough superhydrophobic surfaces were observed. According to the results; it has been determined that the applied method can be used in the development of superhydrophobic coatings on aluminum surfaces.

Keywords: Aluminium, Etching, Modification, Superhydrophobic, Taguchi

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖN SÖZ i
ÖZET iii
ABSTRACT iv
İÇİNDEKİLER v
TABLOLAR LİSTESİ vii
ŞEKİLLER LİSTESİ viii
GRAFİKLER LİSTESİ x
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTE xi
1. GİRİŞ 1
2. YÜZEY KAPLAMA İŞLEMLERİ 4
2.1. Buhar Fazı ile Kaplama Yöntemleri 4
2.2. Sol – Jel Kaplama Yöntemleri 6
2.2.1. Daldırmalı Kaplama Tekniği (Dip Coating) 7
2.2.2. Döndürerek Kaplama Tekniği (Spin Coating) 9
2.2.3. Püskürtme Kaplama Tekniği (Spray Coating) 10
2.3. Ergimiş/Yarı Ergimiş Fazdan (Termal Sprey Püskürtme) Üretilen Kaplama Yöntemleri 11
3. ISLANABİLİRLİK 12
3.1. Temas Açısı 12
3.1.1. Young Teorisi 13
3.1.2. Wenzel Teorisi 14
3.1.3. Cassie-Baxter Teorisi 15
3.2. Süperhidrofobiklik 15
3.2.1. Doğal Süperhidrofobik Yüzeyler 15
3.2.2. Yapay Süperhidrofobik Yüzeyler 16
4. ALÜMİNYUM 18
4.2. Alüminyum Üretimi 18
4.1. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması 19
4.1.1. Dövme Alüminyum Alaşımlar 19
4.1.2. Döküm Alüminyum Alaşımlar 21
4.2. Alüminyumun Kullanım Alanları 23
5. DENEY TASARIMI VE TAGUCHİ YÖNTEMİ 24
5.1. Taguchi Deney Tasarımı 24

5.1.1. Faktör ve Seviyelerin Belirlenmesi 26
5.1.2. Ortogonal Diziler 26
5.1.3. Ortogonal Dizilerin Seçimi ve Serbestlik Derecesi 27
5.1.4. Varyans (ANOVA) Analizi 28
5.1.5. Sinyal Gürültü (S/N) Oranı 29
6. LİTERATÜR TARAMASI 31
7. MALZEME VE YÖNTEM 43
7.1. Malzemeler 43
7.2. Yöntem 43
7.2.1. Taguchi Deney Tasarım Tekniği 43
7.2.2. Deneysel Çalışmalar 45
7.2.2.1. Asitle Aşındırma İşlemini İçeren Deneysel Çalışmalar 45
7.2.2.2. Ardışık Baz + Asit Aşındırma İşlemini İçeren Deneysel Çalışmalar 47
7.3. Karakterizasyon 48
8. BULGULAR VE TARTIŞMA 50
8.1. Karakterizasyon 50
8.1.1. Temas Açı Ölçümü 50
8.1.2. SEM Analizi 58
8.1.3. Kaplama Kalınlığı Ölçümü 61
8.1.4. Kaplama Reaksiyon Mekanizmaları 62
8.1.4.1 Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin Reaksiyon Mekanizmaları 62
8.1.4.2 Baz + Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin Reaksiyon Mekanizmaları 62
8.2. Taguchi Deney Tasarımı 63
8.2.1. Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin Deney Tasarımı 63
8.2.2. Baz + Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin Deney Tasarımı 66
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 71
KAYNAKÇA 74

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 7.1. 6063 Alüminyum Alaşımın Kimyasal Bileşimi **43**
Tablo 7.2. Asit Aşındırma İşlemini İçeren Çalışma İçin Faktör Ve Seviyeler..... **44**
Tablo 7.3. Asit Aşındırma İşlemini İçeren Çalışma İçin Faktör ve Seviyelerin L_9 (3^3) Ortogonal Dizine Yerleştirilmesi **44**
Tablo 7.4. Baz + Asit Aşındırma İşlemini İçeren Çalışma İçin Faktör Ve Seviyeler **45**
Tablo 7.5. Baz + Asit Aşındırma İşlemini İçeren Çalışma İçin Faktör ve Seviyelerin L_9 (3^3) Ortogonal Dizine Yerleştirilmesi **45**
Tablo 8.1. Kaplama Kalınlığı Ölçüm Sonuçları **61**
Tablo 8.2. Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin L_9 Deney Tasarımı ile Temas Açısı ve S/N Değerleri **63**
Tablo 8.3. Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin S/N Oranlarının Her Bir Seviye İçin Ortalama Değerleri..... **64**
Tablo 8.4. Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin Varyans Analizi **65**
Tablo 8.5. Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin Model Özeti **65**
Tablo 8.6. Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin Doğrulama Deney Sonuçları . **66**
Tablo 8.7. Baz + Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin L_9 Deney Tasarımı ile Temas Açısı ve S/N Değerleri..... **67**
Tablo 8.8. Baz + Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin S/N Oranlarının Her Bir Seviye İçin Ortalama Değerler..... **67**
Tablo 8.9. Baz + Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin Varyans Analizi..... **68**
Tablo 8.10. Baz + Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin Model Özeti..... **69**
Tablo 8.11. Baz + Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin Doğrulama Deney Sonuçları..... **70**

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. PVD Yöntemi **5**

Şekil 2.2. Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi ile Yapılan Kaplamanın Şematik Gösterimi .. **6**

Şekil 2.3. Sol-Jel Prosesinin Şematik Gösterimi..... **7**

Şekil 2.4. Daldırmalı Kaplama Tekniği İşlem Basamakları **8**

Şekil 2.5. Döndürmeli Kaplama Tekniğinin Şematik Gösterimi **10**

Şekil 2.6. Püskürtme Tekniği Şematik Gösterimi..... **10**

Şekil 2.7. Termal Sprey Kaplama İşlem Basamakları **11**

Şekil 3.1. Katı bir Yüzey Üzerindeki Su Damlasının Temas Açıları **12**

Şekil 3.2. Young Teorisi İle Pürüzsüz Yüzeyde Temas Açısı..... **14**

Şekil 3.3. Wenzel Teoremi İle Pürüzlü Yüzeyde Temas Açısı..... **14**

Şekil 3.4. Cassie-Baxter Teoremi İle Pürüzlü Yüzeyde Temas Açısı **15**

Şekil 3.5. (a) Nilüfer Çiçeği Yaprağı Üzerinde Duran Küresel Su Damlaları..... **16**

(b) Nilüfer Çiçeği Yaprağının Bilgisayar Ortamındaki Görüntüsü..... **16**

Şekil 3.6. (a) Yüksek Temas Açısına Sahip Bir Yüzey **17**

(b) Düşük Temas Açısına Sahip Bir Yüzey **17**

Şekil 4.1. Alüminyumun Üretim Basamakları..... **19**

Şekil 4.2. Dövme Alüminyumun Sınıflandırılması **20**

Şekil 4.3. Isıl İşlem Durumlarına Göre Döküm Alaşımları **22**

Şekil 5.1. Taguchi Deney Tasarımı Genel Gösterimi **25**

Şekil 7.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Alüminyum Plakalar **43**

Şekil 7.2. (a) Zımpara Yapılan Alüminyum Yüzey..... **46**

(b) Zımpara Yapılmayan Alüminyum Yüzey **46**

Şekil 7.3. Asit Aşındırma İşlemi..... **46**

Şekil 7.4. Asit Aşındırma Yapılan Alüminyum Plakalar İçin Modifikasyon İşlemi **47**

Şekil 7.5. Baz + Asit Aşındırma İşlemi **47**

Şekil 7.6. Baz + Asit Aşındırma Yapılan Alüminyum Plakalar İçin Modifikasyon İşlemi **48**

Şekil 7.7. Temas Açısı Ölçüm Cihazı **48**

Şekil 7.8. SEM – EDX Cihazı..... **49**

Şekil 7.9. Kaplama Kalınlık Ölçer Cihazı..... **49**

Şekil 8.1. İşlem Görmemiş Alüminyum Plakanın Temas Açı Ölçümleri..... **50**

Şekil 8.2. (a) 400, **(b)** 600 ve **(c)** 800' lük Zımpara Kağıtları İle Zımparalama Yapılan Alüminyum Plakaların Temas Açı Ölçümleri **51**

Şekil 8.3. Asit Aşındırma Uygulanan **(a)** Deney 1, **(b)** Deney 2, **(c)** Deney 3, **(d)** Deney 4, **(e)** Deney 5, **(f)** Deney 6, **(g)** Deney 7, **(h)** Deney 8, **(ı)** Deney 9 İçin Temas Açı Ölçümleri..... **54**

Şekil 8.4. Asit Aşındırma Yapılarak Kaplanan Bir Alüminyum Plakanın Üzerindeki Su Damlasının Görüntüsü..... **54**

Şekil 8.5. Baz + Asit Aşındırma Uygulanan **(a)** Deney 1, **(b)** Deney 2, **(c)** Deney 3, **(d)** Deney 4, **(e)** Deney 5, **(f)** Deney 6, **(g)** Deney 7, **(h)** Deney 8, **(ı)** Deney 9 İçin Temas Açı Ölçümleri.. **57**

Şekil 8.6. Baz + Asit Aşındırma İle Kaplanan Bir Alüminyum Plakanın Üzerindeki Su Damlasının Görüntüsü..... **57**

Şekil 8.7. İşlem Görmemiş Bir Alüminyum Plakanın SEM-EDX Analiz Görüntüsü **58**

Şekil 8.8. (a) 400, **(b)** 600 ve **(c)** 800' lük Zımpara Kağıtları İle Zımparalama Yapılan Alüminyum Plakaların SEM – EDX Görüntüsü..... **59**

Şekil 8.9. Asit Aşındırma İşlemi İçeren Deney 9 İle Elde Edilen Alüminyum Yüzeylerin SEM - EDX Görüntüsü **60**

Şekil 8.10. Baz + Asit Aşındırma İşlemi İçeren Deney 3 İle Elde Edilen Alüminyum Yüzeylerin SEM - EDX Görüntüsü **60**

GRAFİKLER LİSTESİ

Sayfa No

Grafik 8.1. Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalarda S/N Oranlarının İçin Etkisi **64**

Grafik 8.2. Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalarda Normal Olasılık Diyagramı **66**

Grafik 8.3 Baz + Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalarda S/N Oranlarının Etkisi.... **68**

Grafik 8.4. Baz + Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalarda Normal Olasılık Diyagramı..... **69**

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

µm: Mikrometre

SEM-EDX : Taramalı Elektron Mikroskobu

TA: Temas Açısı

S/N: Sinyal/Gürültü

nm: Nanometre

PVD: Fiziksel Buhar Biriktirme

CVD: Kimyasal Buhar Biriktirme

C_2H_2: Asetilen

Al_2O_3: Alümina

Al: Alüminyum

NaOH: Sodyum Hidroksit

db: Desibel

HCI: Hidroklorik Asit

HNO_3: Nitrik Asit

dk: Dakika

g: Gram

µl: Mikrolitre

FTIR: Fourier Dönüşümlü Infrared Spektroskopisi

XRD: X – Işınları Difraksiyonu

cm: Santimetre

mm: Milimetre

ml: Mililitre

mM: Milimolar

$C_{18}H_{40}O_3Si$: Dodesiltrietoksisilan

$C_{16}H_{32}O_2$: Palmitik Asit

CH_3COOH: Asetik Asit

XPS: X-Işını Fotoelektron Spektroskopi

HF: Hidroflorik asit

PFO: Perfluoroalkiltrietoksisilan

DTS: Desiltrietoksisilan

AFM: Atomik kuvvet Mikroskobu

$KMnO_4$: Potasyum permanganat

H_2O_2: Hidrojen peroksit

PVDF: Poliviniliden florür

ZnO: Çinko oksit

1. GİRİŞ

Yüzey kaplama işlemleri son yüzyılda sağladığı ekonomik ve teknik avantajlar sayesinde büyük bir ilgi görmektedir. Gelişen teknolojinin ihtiyaçlarına cevap verebilecek bazı ürünlerin üretimi sadece kaplama işlemleriyle yapılabilmekte ya da bu yolla ekonomik hale gelmektedir. Kaplama işlemi bir malzeme yüzeyinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirmek amacıyla yapılmaktadır. Yüzey ve altlık malzemenin tasarımını bir arada ele alan ve her ikisinin de tek başlarına sağlayamayacağı özellikleri, yüzey işlemleri ekonomik olarak sağlayabilmektedir. Yüzey işlemleri ile sağlanabilen özelliklerden bir tanesi süperhidrofobikliktir.

Su temas açısı 150°' den büyük olan yüzeyler *süperhidrofobik yüzeyler* olarak tanımlanır. Süperhidrofobik yüzeylerin sahip olduğu kendini temizleyebilme, yosun oluşumunu engelleme, paslanmazlık ve buz tutmama özellikleri ile birçok farklı alanda yoğun olarak kullanılmaktadır. Süperhidrofobik özellikteki kaplamalar birçok farklı materyale uygulanabilmektedir. Evsel ve endüstriyel birçok alanda kullanılan alüminyum bunlardan bir tanesidir. Alüminyum; düşük özgül ağırlık, yüksek korozyon direnci, yüksek elektriksel ve ısıl iletkenlik gibi üstün özelliklere sahip bir metaldir. Hafif, dayanıklı ve fonksiyonel olması alüminyumu günümüzün en önemli mühendislik malzemelerinden biri haline getiren başlıca özellikleridir. Yaşadığımız evlerde, kullandığımız otomobillerde, telefonlarda ve günlük olarak kullandığımız bilgisayarlarda, tezgahlarda ve uçaklarda, dolaplarımızdaki raflarda ve modern ortamda, iç tasarımlarda alüminyuma çok fazla ihtiyaç duyulmaktadır.

Süperhidrofobik yüzeyler, doğal süperhidrofobik yüzeyler ve yapay süperhidrofobik yüzeyler olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılabilir. *Doğal süperhidrofobik yüzeyler,* yapraklarının kendi kendisini temizleyebilme özelliği nedeni ile lotus çiçeği (Nelumbo nucifera)' den esinlenerek araştırılmaya başlanmıştır. Lotus çiçeği, Asya ülkelerinin çoğunda temizlik sembolü olarak bilinmektedir. Çamur ve benzeri kirliliklerde bile hiçbir leke tutmamaktadır. Kendi kendisini temizleme etkisi yüzeyin nano yapısı ve hidrofob karakterinden kaynaklanmaktadır. Bu etki teknik yüzeylere uygulanabilmekte ve yüzey kaplama uygulamalarına ilişkin çalışmalar yapılmaktadır (Özdoğan vd., 2006). *Yapay süperhidrofobik yüzeyler* ise, doğal süperhidrofobik yüzeylerden örnek alınarak elde edilir. Bu yüzeylerin kendi kendini temizleme özelliğinin önemi, bu konudaki çalışmaları hızlandırmıştır. 1990' lı yıllardan itibaren süperhidrofobik yüzeylerin senteziyle ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Sentezlerde uygulanan metotların çoğu, mekanik ve kimyasal yöntemle hidrofobik yüzeyin pürüzlülüğünü

değiştiren işlemlerdir (Doğancı, 2007:92). Yapay olarak süperhidrofobik yüzey elde etmek için nano yapılandırma ve kimyasal etkilerin çok iyi incelenmesi ve uygulanması gerekmektedir. Süperhidrofobik bir yüzey elde etmek için, yüzeyin 273 mikrometre (μm)' den daha küçük boyutlarda pürüzsüzlüğe sahip olması gerektiği belirtilmektedir (Abbasov, 2022:48).

Yapay olarak süperhidrofobik yüzey elde etmek için en çok tercih edilen kaplama yöntemlerinden biri sol-jel kaplama yöntemi içerisinde yer alan daldırmalı kaplama tekniği (dip coting)' dir. Bu teknik, hazırlanan çözelti içerisine, belirli sıcaklık ve atmosferik koşullar altında ve belirli bir hızla altlık malzemenin daldırılıp geri çekilmesi temeline dayanır. Bu kaplama tekniğinin en büyük avantajı, homojen bir kaplamanın elde edilebilmesi olarak bilinmektedir (Bıçak, 2015:166).

Deney tasarımı, bir çalışmada deney sayısını azaltarak kullanılacak malzemeden ve zamandan tasarruf sağlayan, elde edilen deney verilerini istatiksel olarak değerlendirerek deneysel hata oranını sunan ve deneysel sonuçları destekleyen bir yöntemdir. Taguchi deney tasarım tekniği, birçok parametrenin aynı anda çalışılabildiği deney tasarlanması için en etkili istatiksel yöntemlerden birisidir. Bu yöntemde, seçilen faktörlere ve ilgili seviyelere bağlı olarak çeşitli ortogonal diziler kullanılır. Taguchi deney tasarım tekniği, sonuçları analiz etmek için sinyal/gürültü kavramını kullanır. Buradan elde edilen deney sonuçları sinyal gürültü (S/N) oranlarına dönüştürülerek değerlendirilir. Deney sonuçları S/N oranına çevrilirken hedefe göre 3 farklı uygun fonksiyon bulunmaktadır. Buna göre, hedefin 'en küçük en iyi', 'en büyük en iyi' ve 'nominal en iyi' olmasına göre S/N oranı hesaplanır (Hacıoğlu, 2019:68). Bu şekilde, istatiksel olarak değerlendirilen bir çalışma, daha az zaman ve malzeme kaybettirir, araştırmacıyı yönlendirir ve sonuçta güvenilirlik kazanır.

Yapılan çalışmada, hafiflik, düşük maliyet, dayanıklılık gibi özellikleri ile endüstriyel ve evsel alanda birçok farklı uygulaması bulunan alüminyum yüzeyler üzerinde süperhidrofobik özellikteki kaplamaların elde edilmesi amaçlanmıştır. Kaplamaların eldesinde daldırmalı kaplama tekniği kullanılmıştır. 7 cm x 2 cm x 1.5 mm boyutlarında 6063 kod numaralı alüminyum plakalar hedef yüzey olarak kullanılmıştır. Alüminyum yüzeyler üzerine öncelikle zımparalama işlemi yapılmıştır. Daha sonra mikro/nano boyutta çıkıntılar oluşturmak amacıyla asit ile aşındırma ve baz ile aşındırma olmak üzere iki farklı yöntem uygulanmıştır. Ardından aşındırılan yüzeylere modifikasyon işlemi yapılmıştır. Bu şekilde hazırlanan yüzeyler taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDX), temas açı (TA) ve kaplama kalınlık ölçer cihazı ile karakterize edilmiştir. Elde edilen temas açıları Taguchi deney tasarım tekniğiyle optimize

edilmiştir. Bunun için Minitab 18 programı kullanılmış ve L_9 ortogonal dizinde deney tasarımı elde edilmiştir. Hem asit aşındırma hem de baz aşındırma için 3 faktör ve bu faktörlere bağlı 3 seviye tespit edilmiştir. “En büyük en iyidir” performans karakteristiğine göre hesaplamalar yapılmış olup, optimum parametre seviyeleri belirlenmiştir. Ayrıca Sinyal/Gürültü (S/N) oranları vasıtası ile kontrol edilemeyen parametrelerin etkisi azaltılmış ve kontrol edilebilen parametrelerin sonuç üstündeki etkileri varyans (ANOVA) analizi ile belirlenmiştir.

2. YÜZEY KAPLAMA İŞLEMLERİ

Yüzey kaplama; yüzeylerin korozyon, sürtünme, darbe, elektriksel özellikler, ısıl direnç, performans ve görüntü gibi özelliklerini değiştirmek ve malzeme ömrünü uzatmak amacıyla yapılan bir mühendislik prosesidir. İyi bir kaplama; uygun bir altlık malzemesi, iyi bir tutunma, istenilen mekanik ve fiziksel özellikler ve düşük gözeneklilik sergilemelidir. İyi bir kaplama yöntemi ise; kaplanacak malzemenin fiziksel yapısı ile (ısıl genleşme katsayısı, sıcaklık ve geometri gibi) uyumlu olmalıdır (Davis, 2004:331).

Yüzey kaplama işlemleri otomotiv, uçak, elektronik ve sağlık endüstrisi başta olmak üzere birçok alanda yoğun olarak kullanılmaktadır. Bundan dolayı, aşınmadan kaynaklı olarak maddi anlamda ciddi kayıplar yaşanmaktadır. Bu kayıpları azaltmak ve malzemelerin yüzey özelliklerini iyileştirmek için farklı yöntemlerle kaplama işlemleri yapılmaktadır (Batchelor vd., 1996).

Yüzey kaplama işlemleri 3 ana grupta sınıflandırılır (Özcan, 2020:180):

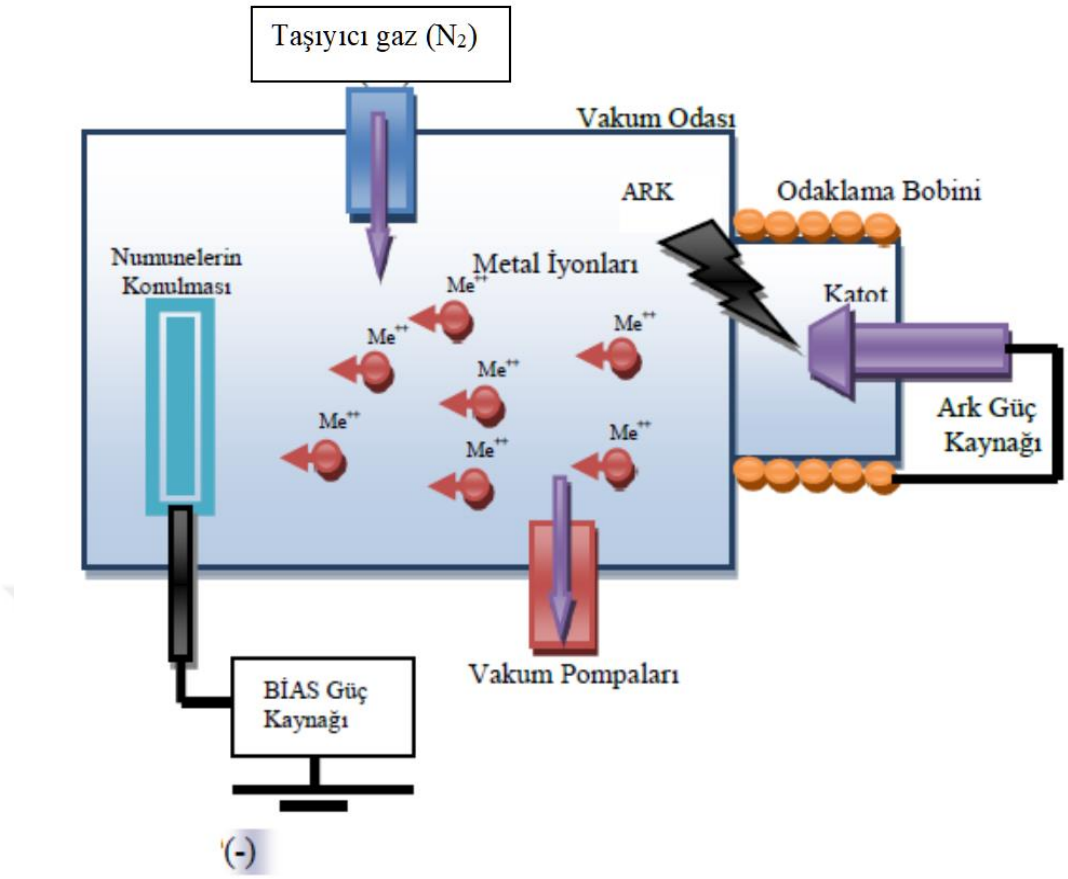
- Buhar fazı ile kaplama yöntemleri,
- Sol – jel kaplama yöntemleri,
- Ergimiş/yarı ergimiş fazdan üretilen kaplama yöntemleri (termal sprey püskürtme) (Özcan, 2020:180).

2.1. Buhar Fazı ile Kaplama Yöntemleri

Buhar fazı ile kaplama yönteminde, malzemelerin yüzeylerinde sert kaplamalar elde etmek için, çeşitli yöntemlerle elde edilen kaplama malzemesinin buharları, malzemenin yüzeyinde biriktirilir. Buhar fazı yöntemleri, fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemi olarak iki farklı grupta incelenir. Bu yöntemler temelde 3 adımda gerçekleşir (Ulutan, 2007:289).

- Yüzeyi kaplanacak malzemenin buhar fazının oluşturulması (elektrolitik yöntemle, plazma püskürtmeyle ve patlamalı püskürtme yöntemi vb.),
- Elde edilen buharın kaplanacak malzemenin yüzeyine ulaştırılması,
- Malzeme üzerinde artan buhar miktarı ile birlikte bir filmin oluşması (Ulutan, 2007:289).

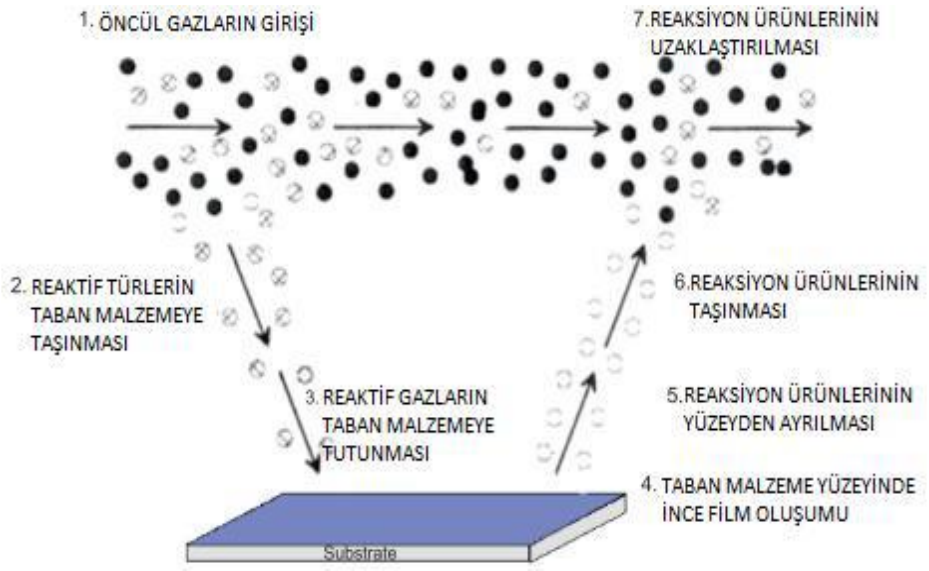
PVD yönteminde; kaplama buharı, ısıtılması neticesinde yapılan buharlaştırma ile ya da kaplama malzemesinin yüksek enerjili partiküllerle bombardımanı sonucunda malzemeden kopan ve yerinden çıkan partiküllerle sağlanan iyon söktürme işlemleriyle elde edilir (Ulutan, 2007:289). PVD yöntemi Şekil 2.1’ de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. PVD Yöntemi

Kaynak: (Aytaç ve Malayoğlu, 2018:34).

CVD işlemlerinde ise; buharlaşması kolay olan bir ile bir gaz, termal ya da diğer yöntemlerle malzemenin yakınında reaksiyona sokulur. Oluşan buhar, katı bir şekilde sıcak olan ana malzeme üzerinde biriktirilir (Ulutan, 2007:289). Şekil 2.2'de gösterildiği gibi, CVD yöntemi, sistem içerisine öncül gaz girişi sağlanması, taşıyıcı gaz ya da vakum yardımıyla bu gazların taban malzeme üzerine taşınması, reaktif gazların taban malzeme yüzeyine tutunması, taban malzeme yüzeyinde ince film oluşumu gerçekleşmesi, reaksiyon sonucu taban malzemeye tutunamayan ve toz halinde kalmış olan reaksiyon ürünlerinin yüzeyden ayrılması, reaksiyon sonucu atık gazların taşıyıcı gaz ve/veya vakum yardımıyla taşınması ve atık gazların egzoz sistemi ile reaksiyon odasından uzaklaştırılması aşamalarını içermektedir (Coşğun, vd., 2021:12).

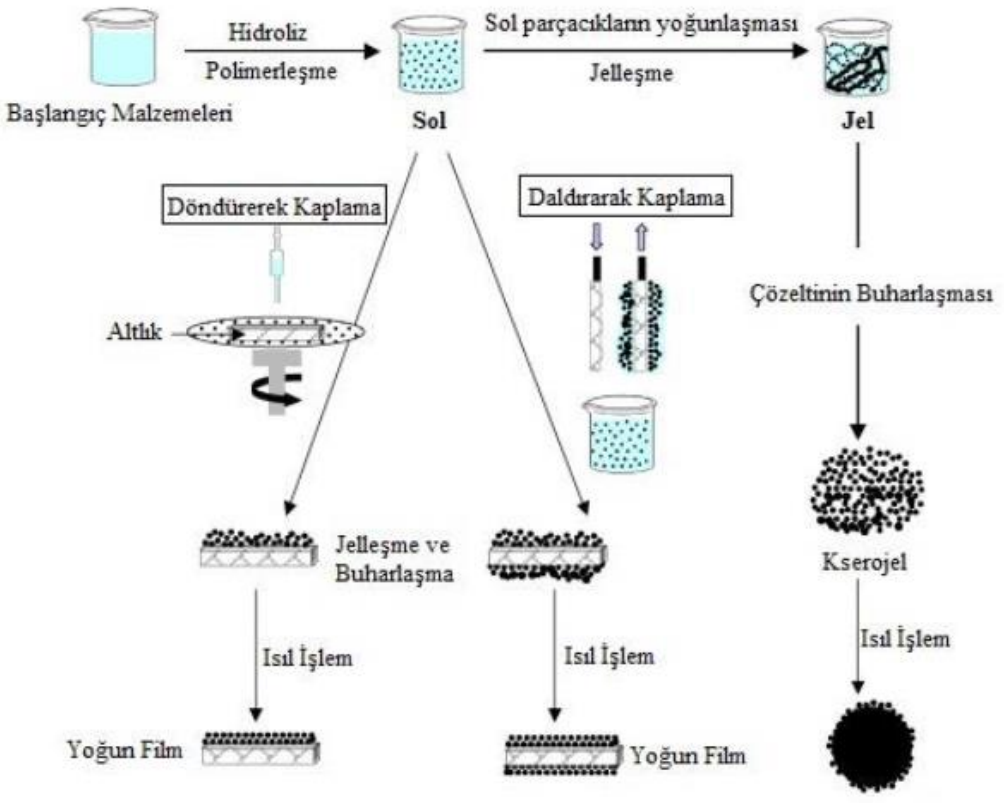


Şekil 2.2. Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi ile Yapılan Kaplamanın Şematik Gösterimi

Kaynak: (Coşğun, vd., 2021:12).

2.2. Sol – Jel Kaplama Yöntemleri

Sol-jel kaplama yöntemi, bir altlığın jel benzeri bir yapıdaki konsantre bir çözeltiye daldırılmasını ve sonrasında ısıl işlemle birlikte son ürünün oluşmasını içeren bir yöntemdir. *Sol*, bir sıvı içerisindeki katı partiküllerin kolloidal süspansiyon halinde bulunması anlamında kullanılır. Diğer bir ifadeyle, bir sıvı içindeki küçük parçacıkların kolloidal (1-100 nm çaplı katı partiküller) bir dağılımıdır. Bu kolloidal süspansiyonun bulunduğu çözeltide genişleyerek makroskobik boyutlara ulaştığındaki oluşan yapı ise *jel* olarak adlandırılmaktadır. Sol-jel tekniği, tek adımlı üretim süreci, moleküler düzeyde malzeme homojenliği ve altlık ile kaplama arasındaki kimyasal bağlanma gibi avantajlara sahiptir (Bosco vd., 2013). Sol-jel teknolojisi sayesinde farklı şekillerde üretilecek olan malzemelerin, tane boyutu, tabaka kalınlığı, farklı yapı ve kompozisyondaki parçacık dağılımı kolaylıkla kontrol edilebilir (Dimitriev vd., 2008). Şekil 2.3' te sol-jel prosesinin işlem basamakları gösterilmiştir (Znaidi, 2010:12).



Şekil 2.3. Sol-Jel Prosesinin Şematik Gösterimi

Kaynak: (Znaidi 2010:12).

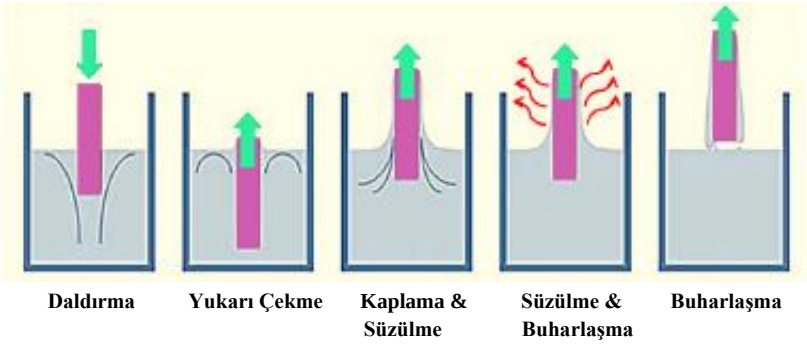
Sol – jel kaplama tekniği genel olarak şu yöntemler kullanılarak uygulanır (Özcan, 2020:180):

- Daldırmalı kaplama tekniği (Dip coating)
- Döndürerek kaplama tekniği (Spin coating)
- Püskürtme kaplama tekniği (Spray coating)

2.2.1. Daldırmalı Kaplama Tekniği (Dip Coating)

Daldırmalı kaplama tekniği, atmosferik koşullarda ve kontrol altındaki sıcaklıklarda, bir altlığın belirlenmiş bir hızda, hazırlanan çözeltinin içine daldırılıp geri çekilmesiyle gerçekleştirilen bir kaplama tekniğidir. Daldırmalı kaplama, homojen kaplamaların elde edilmesinde en çok tercih edilen teknik olarak öne çıkmaktadır. Daldırma sırasında altlığın sarsıntısız ve oldukça düzgün hareketi sağlanmalıdır. Düzgün ve ince kaplamanın sağlanması, akıcı bir yüzeye, alt tabakanın minimum titreşimine ve doğru hız kontrolüne bağlıdır. Kaplama kalınlığı genel olarak katının kalınlığı, çekiş hızı ve sıvının akışkanlığına bağlıdır (Bıçak, 2015:166).

Daldırmalı kaplama tekniği daldırma, kaplama, yukarı çekme, süzülme ve buharlaştırma şeklinde 5 aşamadan meydana gelir (Yao ve He, 2014:50). Daldırmalı kaplama tekniğinin işlem basamakları Şekil 2.4' te gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Daldırmalı Kaplama Tekniği İşlem Basamakları

Kaynak: (Yao ve He, 2014:50).

Alkol gibi uçucu olan çözücülerle yapılan kaplamalarda, süzülme evresine gerek yoktur. Hareket halindeki taşıyıcı, sole daldırıldığı andan itibaren akışkanlar mekaniği gereği kaplama alanı üzerinde sol içeren bir sınır tabaka oluşur. Kaplama ve süzülme aşamasında sözü edilen sınır tabaka, iç tabaka ve dış tabaka olmak üzere ikiye ayrılır. Kaplama oluşumu esnasında kaplama kalınlığına yukarı hareket eden taşıyıcının sıvı ile oluşturduğu sürtünme kuvveti, yer çekimi kuvveti, taşıyıcıya tutunmaya çalışan solun yüzey gerilimi, kaplama alanına ulaşan solün eylemsizlik momenti ve ayırıcı ya da birleştirici basınç kuvvetleri etki etmektedir (Bıçak, 2015:166).

Daldırmalı kaplama metodunda film kalınlığı Denklem 2.1. kullanılarak hesaplanabilir (Kol, 2018:85):

$$h = c_1 (\eta U / \rho g)^{1/2} \quad (2.1)$$

Burada sıvının viskozitesi (η), taşıyıcı hızı (U), sıvının yoğunluğu (ρ) ve yerçekimi ivmesi (g)'dir. Denklem 2.1'deki c_1 orantı sabitidir ve bu değer Newtonsal akışkanlar için 0.8 değerindedir (Kol, 2018:85).

Altık malzemesinin hızı ve sıvının viskozitesi yeteri kadar büyük olmadığında, viskoz sürüklenme ile sıvı buhar yüzey gerilimi (γLV) oranı ilavesiyle yeniden düzenlenerek Denklem 2.2. elde edilmiştir (Kol, 2018:85):

$$h = 0.94 \frac{(\eta U)^{2/3}}{\gamma^{1/6}_{LV} (\rho g)^{1/2}} \quad (2.2)$$

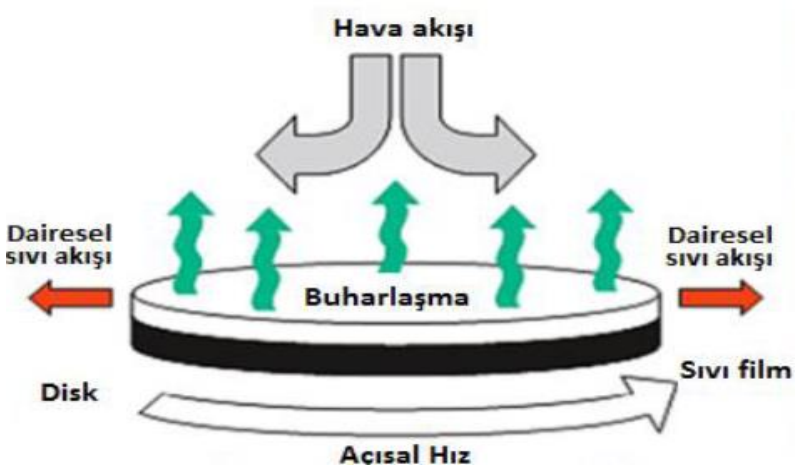
Yapılan kaplamalarda kalınlık hesabında, yapılan deney ile teori arasında bazı farkların olduğu sonucu çıkmıştır. Bu farklılıkların başlıca nedenleri pH, viskozite değerinin sabit olmaması, her sıvının Newton tipi akışkan özelliği göstermemesi ve buharlaşmanın hesaba katılmamasıdır (Kol, 2018:85).

Daldırma yönteminin avantajları; bir işlemle iki taraflı kaplama yapılabilmesi, iyi derecede homojeniteye sahip kaplamalar elde edilmesi, çevreye karşı iyi derecede kararlılığa sahip kaplamalar elde edilmesi, kullanılan oksitlerdeki kimyasal çeşitlilik, düzgün kalınlık eldesi, kalınlığın kontrol edilebilir olması, farklı şekillerdeki düz parçacıkların (çubuk, fiber, boru vb.) kolaylıkla kaplanabilmesi, fazla miktardaki numunenin aynı anda ekonomik bir şekilde kaplanabilmesi, kolay bir yöntem olmasından dolayı maliyetinin çok daha ucuz olması şeklinde sıralanabilir (Budakoğlu, 2006:70).

2.2.2. Döndürerek Kaplama Tekniği (Spin Coating)

Döndürerek kaplama tekniği, katı yüzeyde ince bir tabaka üretmek için tercih edilen yöntemlerden bir tanesidir. Küçük ebatlardaki yüzeyler ile çalışmaya uygundur. Bu kaplama tekniğinde merkez kuvvetlerin etkisi kullanılır. Kaplama aşamasında, katı yüzey üzerine kaplanmak istenen sıvı dökülür. Yüzeye uygulanan döndürme etkisi ile istenilen dönüş hızında yüzey üzerine kaplama işlemi yapılması sağlanır. Bu uygulamadan faklı olarak, dönen bir yüzey üzerine kaplama yapmak mümkündür. Dönen katı yüzeyin sahip olduğu açısal hız sebebiyle, sıvı damlası yüzey üzerinde yayılarak ince bir film tabakası oluşturur ve kalan sıvı yüzeyden uzaklaştırılır. Bu yöntem sayesinde, aynı özelliklerde, miktarda ve derişimde çözeltiler kullanılarak, yapısal olarak birbirinin benzeri yüzey özelliklerine ve kalınlığına sahip kaplamalar elde edilmesi mümkündür (Hall vd., 1998).

Döndürerek kaplama işlemi, hazırlanan altlık üzerine çözelti damlatılması, yüksek hızlı döndürme ile fazla çözücünün uzaklaştırılması, çözeltinin yayılması ve sonra kurutma işlemi ile çözeltinin buharlaştırılması sağlanarak jelleştirme ile kaplama işleminin tamamlanması aşamalarından meydana gelir (Şekil 2.5) (Norrman vd., 2005:27).

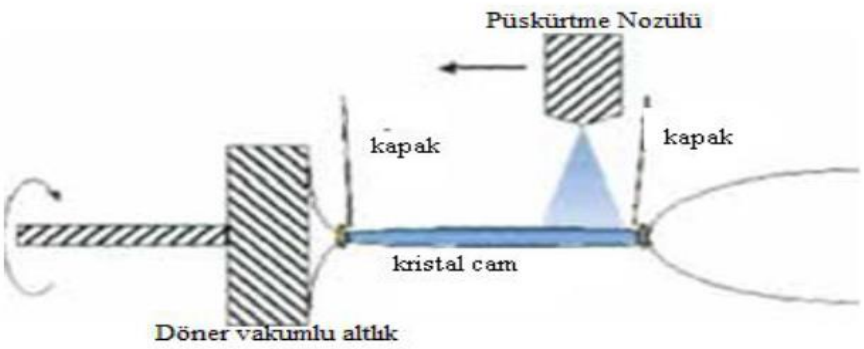


Şekil 2.5. Döndürmeli Kaplama Tekniğinin Şematik Gösterimi

Kaynak: (Norrman vd., 2005:27).

2.2.3. Püskürtme Kaplama Tekniği (Spray Coating)

Püskürtme kaplama yöntemi, kaplama yapmak amacıyla sentezlenen sulu çözeltilerin, uygulama yapılacak yüzey üzerine, hava/azot gibi gazlar yardımıyla püskürtme işlemini yapacak bir düzenek vasıtasıyla aerosol formunda gönderilmesidir (Durgut, 2020:48). Bu teknikle, sabit püskürtme sistemleri veya el tabancası ile düzgün olmayan yüzeyler (lamba, şişe, vb.) kolaylıkla kaplanabilmektedir. Kaplamanın kalınlığı, kullanılan tabancanın ağız büyüklüğü, çözelti viskozitesi, atış hızı ve mesafesine bağlı olarak değişmektedir. Sıcaklık, püskürtme oranı, film kalınlığı gibi deneysel değerler de film kalitesini etkiler. Bu tekniğin avantajları, kullanılacak miktar kadar kaplama çözeltisinin hazırlanabilmesi ve daldırma yöntemine göre daha hızlı olmasıdır. Dezavantajları ise; kaplama veriminin yaklaşık % 50 olması ve homojen kaplamaların elde edilmesi için optimum püskürtme şartlarını sağlamadaki zorluklardır (Budakoğlu, 2006:70). Şekil 2.6' da püskürtme tekniği kullanılarak yapılan bir kaplama uygulaması gösterilmiştir (Bıçak, 2015:166).



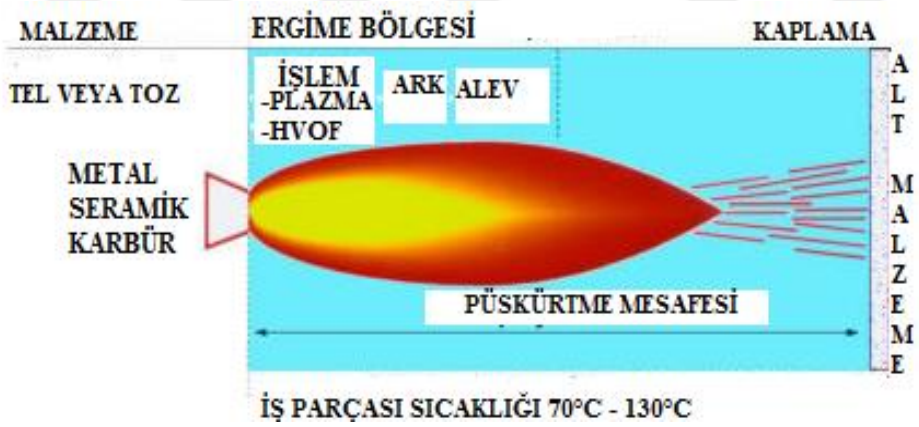
Şekil 2.6. Püskürtme Tekniği Şematik Gösterimi

Kaynak: (Bıçak, 2015:166).

2.3. Ergimiş/Yarı Ergimiş Fazdan Üretilen Kaplama Yöntemleri (Termal Sprey Püskürtme)

Termal sprey püskürtme yöntemi, malzemenin ergime sıcaklığı üzerine ya da yakın bir sıcaklığına çıkartılarak yapılan kaplama işlemleridir (Özcan, 2020:180). Bu yöntemde, belirli bir ısı kaynağıyla ergimiş veya yarı ergimiş hale gelen partiküller, işlem gazları veya atomizasyon jetleriyle kaplama yüzeyine doğru hızla püskürtülür. Yüzeye çarpan partiküller birikerek kaplama tabakasını oluştururlar (Smith ve Knight, 1996). Bu yöntemlerle tel, çubuk veya toz şeklindeki kaplama malzemeleri, bir püskürtme tabancasında yakıcı, yanıcı ve taşıyıcı gazların yardımıyla püskürtülerek bir kaplama oluşturulur (Ersöz, 2011:99). Kaplanacak malzemede herhangi bir özel şeklin olmaması da kaplanabilecek malzeme türünün geniş bir yelpaze oluşturmasına olanak sağlar. Bu nedenle oldukça tercih edilen bir yöntemdir. Termal sprey kaplama yönteminde diğer yöntemlerden farklı olarak daha kısa sürede (1- 10 mm/sn) kaplama yapılabilmektedir (Ersöz, 2011:99).

Termal sprey kaplama genel olarak ısıl püskürtme, alevle püskürtme, plazma püskürtme, patlamalı püskürtme, elektrik ark ile püskürtme, yüksek hızlı oksi yakıt (HVOF) püskürtme teknikleri kullanılarak yapılır (Özcan, 2020:180). Termal sprey kaplama yönteminin işlem basamakları Şekil 2.7' de verilmektedir (Özkavak, 2013:197).



Şekil 2.7. Termal Sprey Kaplama İşlem Basamakları

Kaynak: (Özkavak, 2013:197).

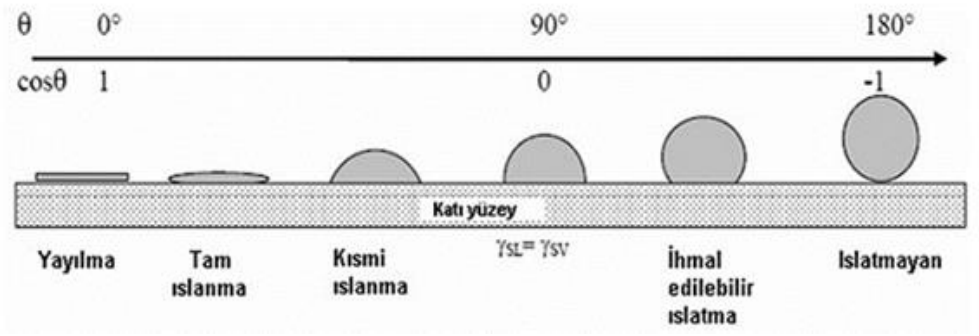
3. ISLANABİLİRLİK

Islanabilirlik, bir katı yüzeyin bir sıvıya karşı davranışını açıklayan ve katı/sıvı etkileşimleri hakkında bilgi vererek yüzeyleri karakterize etmeye yardımcı olan bir kavramdır (Karhan, 2021:7). Sıvı bir damla, katı bir yüzey üzerine bırakıldığında sıvının yüzey gerilimi, akışkanlığı ve yoğunluğu yüzey özellikleriyle birlikte sıvının kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Islanabilirliği belirleyen iki önemli yüzey özelliği, yüzey pürüzlülüğü ve yüzeyin kimyasal yapısıdır (Ersoy, 2015:18).

Islanabilirlik, temas açısı ölçümü ile belirlenmektedir. Bu ölçümlerde temas açısı 90 °' nin altında olan yüzeyler *hidrofilik*, 90 °' nin üzerinde olan yüzeyler *hidrofobik*, 10 °' den düşük olan yüzeyler *süperhidrofilik*, 150° ve üzerinde olan yüzeyler ise *süperhidrofobik* yüzeyler olarak tanımlanır (Ersoy, 2015:18).

3.1. Temas Açısı

Bir yüzeyin ıslatma özelliklerini açıklama yollarından biri, yüzey üzerinde duran sıvı damlacıklarının temas açısıdır. *Temas açısı*, katı, sıvı ve gazın temas noktasındaki sıvı-katı arayüzü ile eğrinin teğet çizgisi arasındaki açı olarak açıklanabilir. Şekil 3.1, bir yüzey üzerindeki suyun temas açılarını ve damlanın durumlarını göstermektedir (Njobuenwu, vd., 2007:9).



Şekil 3.1. Katı bir Yüzey Üzerindeki Su Damlasının Temas Açıları

Kaynak: (Njobuenwu, vd., 2007:9).

İngiliz bilim adamı Thomas Young' ın kohezyon üzerine yaptığı çalışmaları ve özellikle 1805' te yayınlanan "An Essay on the cohesion of fluids" başlıklı makalesi temas açısı teriminin başlangıcını işaret etmektedir. Makalede, temas açısının kosinüsü ile ara yüzey gerilimlerinin katı bir yüzey üzerinde biriken sıvı damlacığına uyguladığı kuvvetler arasındaki ilişki sözel olarak açıklanmıştır. Daha sonra bu ilişki, Young denklemi ile matematiksel olarak ifade edilmiştir (Biolin Scientific, 2022). O zamandan beri temas açısı, katıların karakterizasyonu ve ıslatma özellikleri sırasında deneysel olarak ölçülen en önemli değerlerden biri olarak kaldı

(Drelich vd., 2019). Ek olarak, yirmi birinci yüzyılın başlarında, bir sıvı damlası ile hemen hemen her şekil ve yüzey karakteristiğine sahip bir katı arasındaki durumun ölçülmesini sağlayan bir mikrobalans tanımlandı. Burada, farklı durumlarda sıvı-katı yüzey etkileşimleri ölçülebildi. Yüzey konumuna ve zamana göre etkileşimlerin profili yazılım tarafından otomatik olarak kaydedildi. Aynı zamanda, sıvının yüzeydeki durumunu kaydetmek için bir şarj bağlantılı kamera kullanıldı. Görüntüler daha sonra damlacık şeklini ve boyutlarını analiz etmek ve su damlasının yayılması ve geri çekilmesinin çeşitli aşamalarında temas açısını ölçmek için kullanıldı (Drelich vd., 2019).

Temas açısı kavramı yüzey gerilimi, adhezyon ve kohezyon kuvvetleri gibi kavramlarla ilişkilidir. *Yüzey gerilimi*, sabit basınç ve sıcaklık koşullarında sıvıların birim yüzey alanını sonsuz küçük miktarda artırmak için gerekli olan iş miktarı olarak tanımlanır. Yüzey gerilimi, aynı moleküllerin birbirinin arasındaki etkileşimlerden kaynaklanan *kohezyon kuvvetleri* nedeniyle oluşmaktadır. Bütün sıvılarda şiddeti sıvının türüne göre değişen moleküller arası çekim kuvvetleri (kohezyon kuvvetleri) bulunmaktadır (Bıçak, 2015:166). *Adhezyon ise*; yüzeyler arasındaki etkileşimlere bağlı olarak meydana gelen bir ara yüzey olayı olarak tanımlanabilir. Yüzey-kimyasal ilişkisine dayalı olarak gerçekleşen adhezyon mekanizması için mevcut bazı durumlar bulunmaktadır. Bunlar, elektrostatik etkileşimler, adsorpsiyon ve difüzyonun yer aldığı veya ikisinin birlikte yer aldığı mekanizmalardan meydana gelebilmektedir (Özkan, 2018:201).

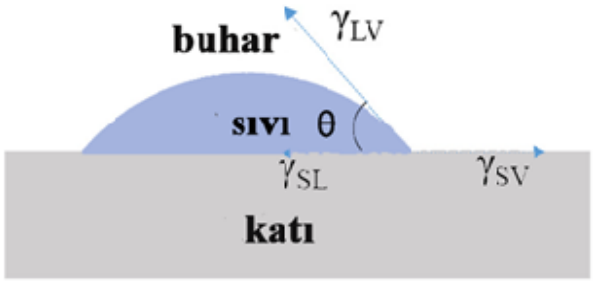
Bir katı yüzeyin ıslanabilirliği Young, Wenzel ve Cassie-Baxter denklemleri ile açıklanabilmektedir (Satı, 2021:72).

3.1.1. Young Teorisi

Young temas açısı, ideal olarak kabul edilen yüzeylerin denge temas açılarını ifade etmektedir. Bu temas açısının geçerli olabilmesi için, yüzeyin pürüzsüz, gözeneksiz, homojen ve deforme olmayan yüzey olması gerekmektedir. Ancak gerçekte yüzeylerin çoğu ideal değildir. Gerçek yüzeylerde ölçülmesi de mümkündür. Ölçülen bu temas açılarından en yüksek olanı ilerleyen, en düşük olanı ise gerileyen temas açısı değerleridir (Bıçak, 2015:166).

Temas açısı ölçümünde genel olarak Young-Laplace metodunu esas alır. Burada, yüzeydeki damlanın şekli optik goniometre ile ölçülür. Bir optik goniometrenin temel elemanları, örnek platformu, ışık kaynağı, lens ve görüntü alıcısıdır. Bilgisayar yazılımı damla profilindeki tüm noktalardan yararlanarak Young denklemini damlanın şekline uyarlar (Bıçak, 2015:166).

Şekil 3.2. ve Denklem 3.1' de gösterildiği gibi, Young Teorosi' ne göre yüzey gerilimi ile temas açısı arasındaki ilişki şu şekildedir (Çiğil vd., 2019:12).



Şekil 3.2. Young Teorisi İle Pürüzsüz Yüzeyde Temas Açısı

Kaynak: (Çiğil vd., 2019:12).

$cos\theta$ = ϒSV − ϒSL / ϒLV (3.1)

Burada; θ temas açısı, ϒSV, ϒSL ve ϒLV, sırasıyla katı-buhar, katı-sıvı ve sıvı-buhar yüzey serbest enerjileridir (Çiğil vd., 2019:12).

3.1.2. Wenzel Teorisi

Temas açısı için yüzey pürüzlülüğünün etkisi ile ilgili ilk çalışmalar T.N. Wenzel ile Cassie ve S. Baxter tarafından yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda, yüzey pürüzlülüğünün statik temas açısı üzerindeki etkisi ilk defa Wenzel tarafından incelenmiştir. Wenzel 1936 yılında Young denklemini daha da geliştirerek pürüzlülük ve temas açısı arasındaki ilişkiyi Denklem 3.2' deki şekilde ifade etmiştir. Wenzel, pürüzlü katı yüzeylerdeki boşlukları sıvı damlacığının tamamen doldurduğunu kabul etmektedir (Şekil 3.3) (Mülazim, 2011:138).



Şekil 3.3. Wenzel Teoremi İle Pürüzlü Yüzeyde Temas Açısı

Kaynak: (Whyman vd., 2010)

$\cos\theta_w = r\cos\theta_0$ (3.2)

Burada, θ_w, pürüzlü yüzey temas açısı θ_0, iç yüzey temas açısı ve r pürüzlülük faktörüdür (Wang vd., 2016).

3.1.3. Cassie-Baxter Teorisi

Cassie-Baxter Teorisi, Wenzel teorisinin geliştirilmiş şeklidir. Bu teoride sıvı, pürüzlü yüzeyde kompozit bir alan oluşturmakta ve yüzey üzerindeki boşlukları doldurmamaktadır. Bu boşlukların tamamen hava ile dolduğu ve oluşan havanın sıvıyı yukarıya doğru ittiği kabul edilmektedir (Şekil 3.4). Wenzel teorisi, gerçek sistemler için daha uygun sonuçlar vermektedir (Mülazim, 2011:138).



Şekil 3.4. Cassie-Baxter Teoremi İle Pürüzlü Yüzeyde Temas Açısı

Kaynak: (Whyman vd., 2010:4).

$$cos\theta_{CB} = f_{SL} cos\theta_0 - f_{LV} \quad (3.3)$$

Burada; θ_{CB} pürüzlü yüzey temas açısı, θ_0 iç yüzey temas açısı, f_{SL}, katı sıvı ara yüzeyin kesir alanı f_{LV} ise sıvı hava yüzeyin kesir alanı göstermektedir (Wang vd., 2016).

3.2. Süperhidrofobiklik

3.2.1. Doğal Süperhidrofobik Yüzeyler

"Süperhidrofobiklik", "süperhidrofiliklik", "süper ıslanma" ve diğer benzer terimlerin kökleri, Busscher ve ark. ve ardından Onda ve ark. ve Shibuichi ve ark. tarafından sırasıyla, 1991 ve 1996 yıllarına dayanmaktadır (Drelich vd., 2019). Süperhidrofobik yüzeyler, su temas açısı 150°' den büyük olan yüzeylerdir. Yüzey pürüzlülüğü ve yüzey gerilimi gibi faktörler doğal süperhidrofik yüzeyin temelini oluşturur (Rezayi ve Entezari, 2016). Süperhidrofobik yüzeyler kirlenmeme ve kendi kendini temizleme gibi özelliklerinden dolayı ilgi çekmektedir. Bilim insanlarının doğal süperhidrofobik yüzeyler üzerinde yaptıkları çalışmalarda, nilüfer çiçeği (lotus) gibi yaprakları su itici özelliğe sahip bitkilerden ilham alınmıştır (Cansoy, 2011:189). Kirli ve çamurlu ortamlarda bulunan nilüfer çiçeğinin yapraklarının devamlı temiz olması ve bu bitki yaprağının üzerine en ufak bir toz düştüğü zaman hemen yapraklarının sallanarak toz tanelerinin belli bir noktaya hareket etmesi süperhidrofobikliğin temelini oluşturmuştur. Yaprağın üzerine düşen yağmur damlalarının da bu noktalara doğru yönlendirildiği ve buradaki tozları süpürerek geride tamamıyla temiz bir yüzey bıraktığı görülmüştür (Şekil 3.5 (a)) (Mülazim, 2011:138). Bu duruma bitkinin yüzeyinin hiyerarşik (mikro ve nano ölçekli) yapısı ve düşük yüzey enerjisinin neden olduğu düşünülmüş ve lotus

bitkisinin yüzey topografyasının yüksek çözünürlükte incelenmesi sonucu yüzeydeki hiyerarşik mikro ve nano boyutlardaki yapıların var olması ile su damlasının yüzey ile daha az temas etmesine neden olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 3.5 (b)) (Mülazim, 2011:138). Ayrıca, nilüfer çiçeği düşük yüzey enerjisine sahip olduğu için üzerine düşen su damlası yüzeyde yayılmamakta ve küre şeklini korumaktadır. Bu durumda, su damlasının 150 °' den büyük temas açısına sahip olması ve 10°' den daha düşük açılarda yüzeyden kayarak uzaklaşması *lotus etkisi* olarak tanımlanmaktadır (Günerhan, 2021:84).



(a) **(b)**

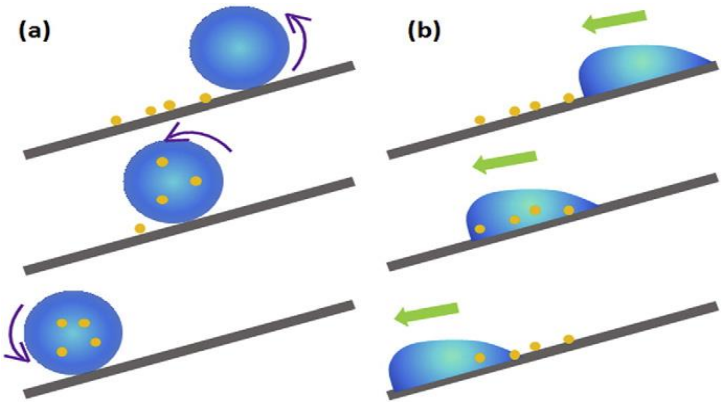
Şekil 3.5. (a) Nilüfer Çiçeği Yaprağı Üzerinde Duran Küresel Su Damlaları, **(b)** Nilüfer Çiçeği Yaprağının Bilgisayar Ortamındaki Görüntüsü

Kaynak: (Mülazim, 2011:138).

3.2.2. Yapay Süperhidrofobik Yüzeyler

Yapay süperhidrofobik yüzeyleri elde etmek için yapılan çalışmalarda,doğal süperhidrofobik yüzeyler örnek alınmıştır. Nilüfer yaprağının üzerinde hem su hem de organik - inorganik kirlilik oluşmaması nedeniyle kendini temizleme özelliğine sahip olması, süperhidrofobik yüzeylerin yapay olarak üretiminin yolunu açmıştır (Zhang, vd., 2016).

Yüksek temas açısına sahip bir yüzeye bırakılan damlanın yüzeyi temizlediği Şekil 3.6 (a)' de görülmektedir. Aynı şekilde düşük temas açısına sahip yüzey üzerine bırakılan bir damlanın yüzeyi temizlemeden yüzeyden ayrıldığı Şekil 3.6 (b)' de görülmektedir (Zhang, vd., 2016:12).



Şekil 3.6. **(a)** Yüksek Temas Açısına Sahip Bir Yüzey, **(b)** Düşük Temas Açısına Sahip Bir Yüzey

Kaynak: (Zhang, vd., 2016:12).

1990' lı yıllardan itibaren süperhidrofobik yüzeylerin senteziyle ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Sentezlerde uygulanan metotların çoğu, mekanik ve kimyasal yöntemle hidrofobik yüzeyin pürüzlülüğünü değiştiren işlemlerdir (Doğancı, 2007:92). Yapay olarak süperhidrofobik yüzey elde etmek için nano yapılandırma ve kimyasal etkilerin çok iyi incelenmesi ve uygulanması gerekmektedir. Süperhidrofobik bir yüzey elde etmek için, yüzeyin 273 μm' den daha küçük boyutlarda pürüzsüzlüğe sahip olması gerekir (Abbasov, 2022:48). Yapay süperhidrofobik yüzeyler oluşturabilmek için anodik oksidasyon elektrospinning, elektrokimyasal reaksiyon ve çöktürme ve aşındırma gibi birçok yöntem bulunmaktadır (Altındal, 2020:46). Ek olarak, yapay olarak süperhidrofobik yüzey elde etmede en çok tercih edilen metaller; alüminyum, bakır, magnezyum ve çelik olmuştur (Vazirinasab vd., 2017).

4. ALÜMİNYUM

Alüminyum, simgesi Al olan, periyodik cetvelin IIIA grubunda yer alan, atom numarası 13, kütle numarası 26,98 g/mol olan ve +3 değerlikli parlak renkli bir elementtir. Yoğunluğu 2,7 g/cm^3'tür. Doğada % 8 oranında ve boksit bileşikleri halinde bulunur. Silisyum ve oksijenden sonra dünyada en çok bulunan üçüncü elementtir. Bu kadar çok bulunmasına rağmen alüminyumun keşfi 1800' lü yıllarda gerçekleştirilmiştir. Alüminyumu ilk keşfeden İngiliz Sir Humpry Davy' dır. Ticari olarak üretimi ancak 1886 yılında Fransız Paul Louis Taussaint Heroult ve Amerikan Charlis Martin Hall tarafından yapılmıştır (Kaya, 2019:67).

4.1. Alüminyum Üretimi

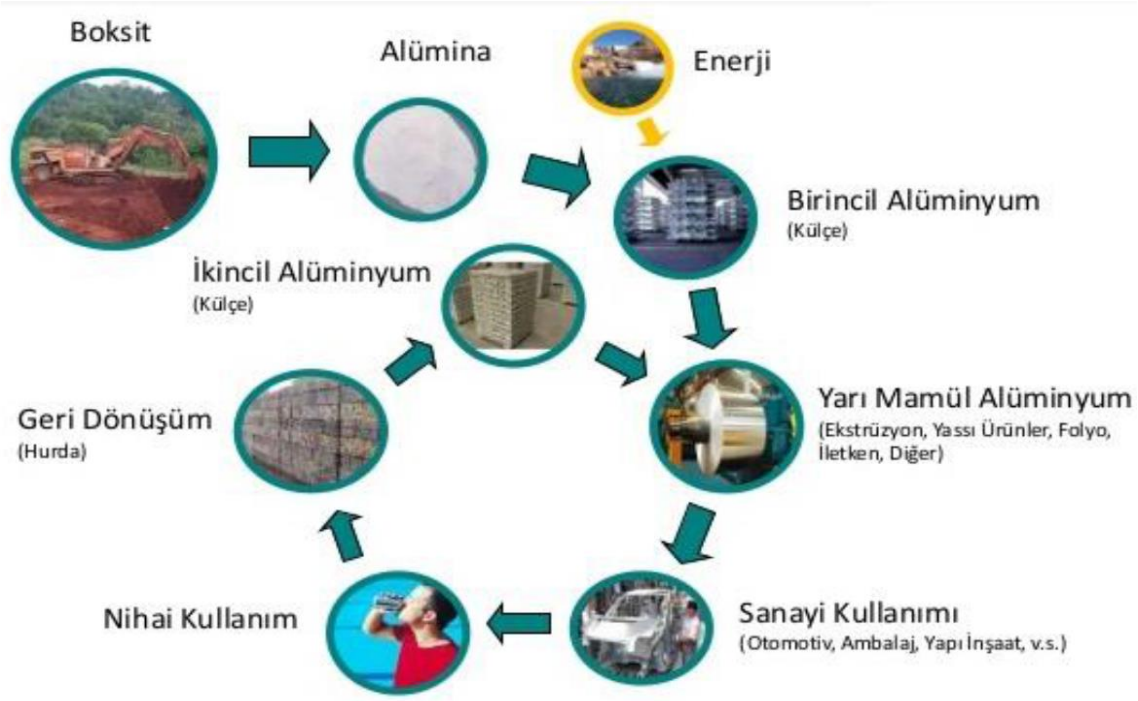
Alüminyum, dünyada bileşik olarak bulunan boksit mineralinin işlenmesi ile üretilir. Bu mineral uygun yöntemler ile öncelikli olarak alüminaya dönüştürülür. Boksit, başta demir ve silika olmak üzere çeşitli safsızlıklar içeren bir mineraldir. Sodyum hidroksit (NaOH) ile işlem sırasında boksit içinde bulunan alüminyum oksit, sodyum alüminat haline dönüşerek çözünür. Denklem 4.1' de üretimin ilk aşama reaksiyonu gösterilmiştir (Çakanyıldırım ve Gürü, 2021:24):

$$Al_2O_3 + 2NaOH \rightarrow 2NaAlO_2 + H_2O \quad (4.1)$$

NaOH boksit içerisinde bulunan demir oksit ve titanyum dioksit gibi safsızlıkları çözme yetisine sahip değildir. Silikatlar ise az miktarda da olsa çözelti fazına geçebilirler. Çözünen silikatları çözeltiden uzaklaştırmak için kireç kullanılır ve kalsiyum silikat çökeltisi halinde ortamdan uzaklaştırılırlar. Elde edilen sodyum alüminat çözeltisi süzülür ve hidroliz edilerek alüminyum hidroksit halinde çökeltilir. Oluşan alüminyum hidroksit çökeltisi filtre preslerden süzülür. Daha sonra ısıl işleme tabi tutularak alümina (Al_2O_3) haline getirilir Alümina yapısındaki oksijen karbon vasıtası ile aşağıda tepkimede örneklendiği gibi gaz fazında uzaklaştırılmaktadır. Bu tepkime için gerekli ortam sıcaklığı 1223-1263 K aralığındadır. Alüminyumun elde edilme reaksiyonu Denklem 4.2' de gösterilmiştir (Çakanyıldırım ve Gürü, 2021:24):

$$2Al_2O_3 + 3C \rightarrow 4Al + 3CO_2 \quad (4.2)$$

Alüminyumu elde etmek için işlem basamakları Şekil 4.1' de şematik olarak gösterilmiştir (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Dünyada ve Türkiye' de Alüminyum Raporu, 2018:27).



Şekil 4.1. Alüminyumun Üretim Basamakları

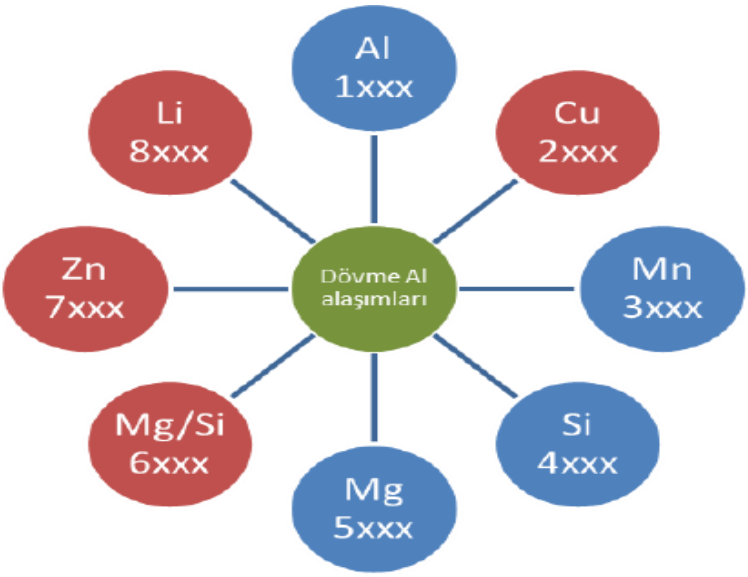
Kaynak: (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Dünyada ve Türkiye' de Alüminyum Raporu, 2018:27).

4.2. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

4.2.1. Dövme Alüminyum Alaşımlar

Alüminyum ve farklı metallerle sentez yapılarak, değişik özelliklere sahip alüminyum alaşımlar meydana getirilebilmektedir. Amerikan Alüminyum Birliği' ne göre bu alaşımlar dövme ve dökme alüminyum alaşım olarak 2 ana kategoriye ayrılmaktadır. Bu alaşımları gruplara ayırmak için 4 haneli sayılar kullanılmaktadır. İlk rakam alaşımın ana bileşenini, ikinci rakam orijinal alaşımın veya safsızlık sınırlarının modifikasyonlarını, son iki rakam ise alüminyum alaşımının tanımını veya alüminyumun saflığını göstermektedir (Davis, 1993:231).

Şekil 4.2' de dövme alüminyum alaşımların kendi içerisinde gruplara ayrıldığı görülmektedir.



Şekil 4.2. Dövme Alüminyumun Sınıflandırılması (2XXX, 6XXX, 7XXX, 8XXX alaşımları ısıl işlem yapılabilen, 1XXX, 3XXX, 4XXX, 5XXX alaşımları ısıl işlem yapılamayan alaşımlardır)

Kaynak: (Sujaddınov, 2016:84).

Dövme alüminyum alaşımlarının isimleri, kimyasal içerikleri ve kullanıldığı alanlar aşağıdaki gibidir (Kalan, 2019:90);

1XXX (Alaşımsız alüminyum): Saf alüminyum olarak bilinmektedir ve temel olarak kimya ve elektrik sanayisinde kullanılmaktadır.

2XXX (Bakırlı alüminyum alaşım): Ana bileşen bakırdır ve % 2 ile % 4 arasında bakır içerir. Hem işlenmiş hem de döküm alüminyum-bakır (Al-Cu) alaşımları ısıl işlem yapılabilen grupta yer almaktadır.

3XXX (Manganezli alüminyum alaşım): Ana bileşeni mangandır. Mangan, bu alaşım içerisinde mukavemeti ve kristalleştirme sıcaklığını arttırmak için kullanılmaktadır.

4XXX (Silisyumlu alüminyum alaşım): Ana bileşen silisyumdur. Bu alaşımda alüminyumun akışkanlığı, aşınma direnci ve korozyon dayanımı yüksektir. Termal genleşme katsayısı düşük alaşımlardır. Silisyumun alüminyum içerisinde tek başına bulunması ısıl işleme uygun olmayan bir alaşım meydana getirmektedir.

5XXX (Magnezyumlu alüminyum alaşım): Ana bileşeni magnezyumdur. Alüminyum içerisinde magnezyumun en fazla katı çözünürlüğü % 17,4' tür. Ancak mevcut bulunan alaşımlarda % 5' e kadar magnezyum içermektedir. Korozyon direnci ve kaynaklanabilme

özelliği iyidir. Binalar, zırhlı araçlar, kamyon ve tren gövdeleri, gemi ve bot yapımı, kimyasal tankerler, iskele ve köprü direkleri ve basınçlı kaplarda kullanılır.

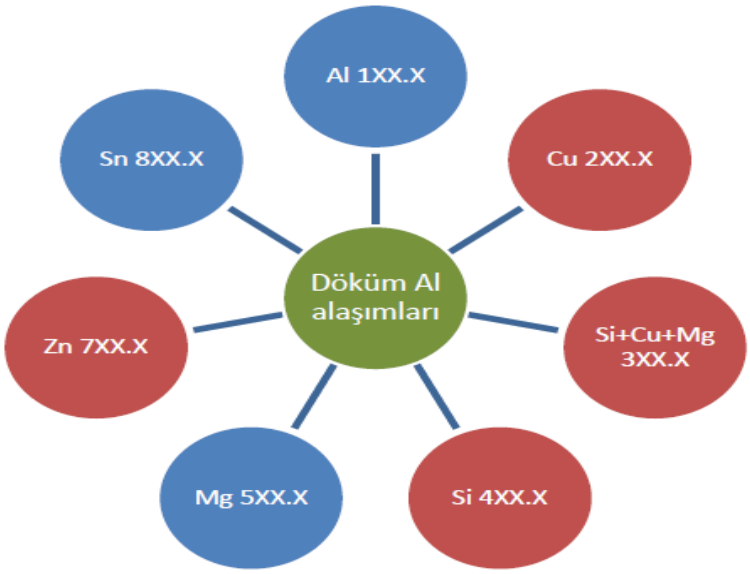
6XXX (Silisyum ve magnezyumlu alüminyum alaşımı): Ana alaşım elementi silisyum ve magnezyum'dur. Magnezyum ve silisyumun alüminyuma eklenmesi, magnezyum-silisit (Mg_2Si) bileşiğini oluşturur. Şekillendirilme kabiliyeti yüksek olan bu alaşımlar özellikle ektrüzyon ile üretilen parçaların imalatında kullanılır.

7XXX (Çinkolu alüminyum alaşımı): Başlıca alaşım elementi çinkodur. Bu alaşımlar uzun yıllardır bilinse de, döküm alaşımlarının sıcak çatlaması, dövme alaşımlarının ise stres korozyonu sonucu çatlamasına karşı hassasiyeti nedeniyle kullanımları sınırlı olmuştur. Çinkonun alüminyuma, bakır ve/veya magnezyum gibi diğer elementlerle birlikte ilave edilmesi yüksek mukavemete sahip ısıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarını meydana getirmiştir. Bu alaşımlar en çok havacılık, beyzbol sopaları, zırhlı araçlar ve bisiklet iskeletlerinde tercih edilmektedir.

8XXX (Kalay elementler ile alaşımları): Serisinin ana alaşım elementi kalaydır. Alüminyum alaşımlarına % 0,03 civarında, döküm alaşımlarına ise yaklaşık % 25' lik oranlara kadar ilave edilebilmektedir. Ticari sınıf alüminyumda % 0,01' e kadar kalay ilavesi tavlama sırasında yüzey kararmasına ve korozyona olan duyarlılığın artmasına neden olmaktadır. Bu etki az miktardaki (% 0,2) bakır ilavesi ile düşürülebilmektedir (Kalan, 2019:90).

4.2.2. Döküm Alüminyum Alaşımlar

Döküm alüminyum alaşımları ısıl işlem yapılabilen ve ısıl işlem yapılamayan olmak üzere 2 sınıfa ayrılmaktadır. Şekil 4.3' te dökme alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması görülmektedir (Sujaddınov, 2016:84).



Şekil 4.3. Isıl İşlem Durumlarına Göre Döküm Alaşımları (2XX.X, 3XX.X, 4XX.X, 7XX.X alaşımları ısıl işlem yapılabilen; 1XX.X, 5XX.X, 8XX.X alaşımları ise ısıl işlem yapılamayan döküm alaşımlarıdır)

Kaynak: (Sujaddınov, 2016:84).

Döküm alüminyum alaşımları aşağıdaki gibidir (Kalyoncu, 2020:47):

1XX.X: Saf alüminyum (%99' dan daha fazla)' dur ve genel olarak kimya ve gıda endütrisinde kullanılır.

2XX.X: Bakır temel alaşım elementi olup, sertlik özelliği veren bir elementtir. Bu alaşımda % 3 ile % 5 oranında kullanılmaktadır. % 5'ten fazla kullanıldığı taktirde mekanik işleme güçlüğünü arttırır ve elektrik iletkenliği ve korozyon direncini düşürür.

3XX.X: Silisyum temel alaşım elementidir. Bakır ve magnezyum gibi diğer elementler de bulunabilmektedir. Silisyum oranı en fazla % 5' tir. Bu alaşımın çekme mukavemeti çok yüksek değildir ve mukavemetin artması için silisyumu arttırmak gerekmektedir.

4XX.X: Silisyum temel alaşım elementidir. Silisyum oranı en fazla % 13' tür Silisyum ilavesi ile akışkanlık ciddi oranda iyi seviyeye gelmektedir. Ayrıca silisyum ilavesiyle birlikte korozyon direnci ve kaynaklanabilme kabiliyeti artmaktadır.

5XX.X: Magnezyum temel alaşım elementi olup, bu alaşıma yüksek mukavemet ve süneklik, iyi korozyon direnci kazandırır. % 8' den fazla magnezyum içeren alüminyum-magnezyum alaşımlarına ısıl işlem uygulanabilir ve mekanik özellikleri bu şekilde geliştirilebilir.

7XX.X: Çinko temel alaşım elementidir. Bu alaşımların ergime sıcaklığı yüksektir ve bu lehimlenecek dökümlerde avantajdır. İşlenebilirlik, korozyon direnci ve çekme özellikleri iyidir.

8XX.X: Kalay temel alaşım elementidir. Kalay, rulman uygulamalarında kullanılan bir elementtir. Kalay, serbest işleme özellikleri sağlamak için kurşun, kadmiyum ve bizmut ile düşük konsantrasyonlarda da kullanılmaktadır. Kalayın hafifliği, karşıt uygulamalarda yükleri en aza indirir ve ısı dağılımı rulman ömrünü arttırmaya yardımcı olmaktadır (Kalyoncu, 2020:47).

Sanayide kullanılan döküm alüminyum alaşımlarının % 90' ı, silisyum temel alaşım elementi olan bakır ve magnezyum gibi diğer elementlerin de yapısında bulunduğu 3XX.X serisi alaşımlardır (Sujaddınov, 2016:84).

4.3. Alüminyumun Kullanım Alanları

Alüminyum günümüzde hafifliği, dayanıklılığı, yüksek korozyon direnci, % 100 geri dönüşebilir özelliği, elektrik iletkenliği ve kolay şekillenebilir özellikleri ile birçok endüstrinin en önemli malzemesi konumundadır. Otomotiv, havacılık, ulaştırma sektörünün çeşitli alanları, inşaat, tıp, gıda, havacılık, uzay ve savunma sanayi gibi birçok endüstrinin temel malzemelerinden biridir (Türkiye Demir ve Demir Dışı Metaller Meclisi Sektörü Raporu. 2020).

Avrupa'da kullanılan alüminyumun yaklaşık üçte biri ulaşım sektöründe kullanılmaktadır. Uçaklarda, otomobillerde, ulaşım sistemlerinde yük taşımacılığı ve yolcu kompartımanlarının yapımında, gemi sanayiinde gittikçe artan oranlarda alüminyum tercih edilmektedir. Alüminyumun en hızlı gelişen kullanım alanlarından bir tanesi de ambalaj sektörüdür. Çok farklı ambalaj malzemeleriyle sağlanan korumayı, alüminyum birkaç mikron kalınlıkla çok daha etkin bir şekilde sağlayabilmektedir. Alüminyumun homojen yapısı, ince folyo şeklinde üretilebilmesi, hava geçirmezliği ve kolay şekillenebilmesi onu ideal bir ambalaj malzemesi yapmaktadır. Alüminyumun bir diğer kullanım alanı da içecek kutularıdır. Dünyada kullanılan metal kutuların % 80' i alüminyumdur. Bunun nedenleri; hafif, açılması kolay, darbeye dayanıklı, sağlam, geri kazanılabilir oluşu ve çabuk soğutma özellikleridir. Bu kullanım alanlarının dışında alüminyum ve alaşımları; elektrik/elektronik sektöründe, inşaat sektöründe (çatı ve cephe kaplamaları, merdivenlerde, kapı ve pencerelerde, sera yapımında, köprü inşaatında, çatı ve inşaat iskelesinde vb.) ve savunma sanayiinde (roket ve füze sistemleri vb.) yaygın olarak kullanılmaktadır (Şenel, vd., 2015).

5. DENEY TASARIMI VE TAGUCHİ YÖNTEMİ

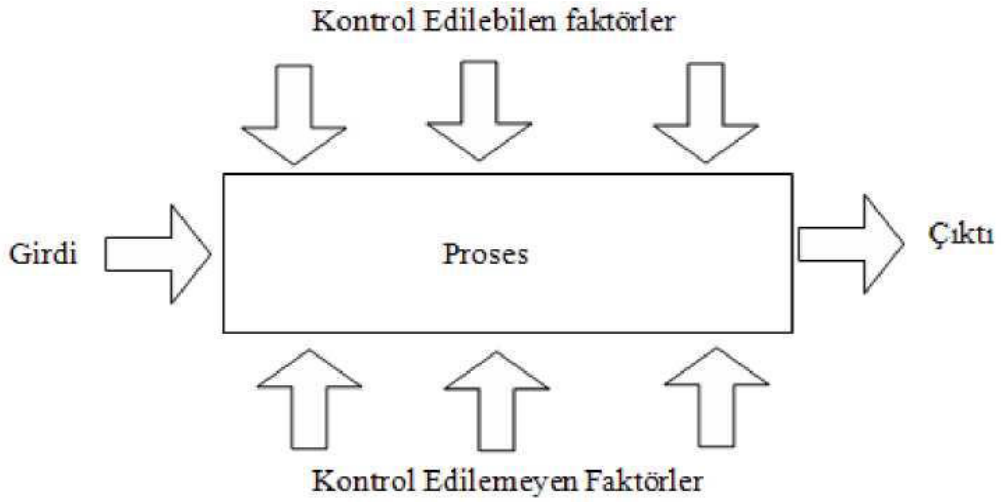
Deney tasarımı, ilk olarak 1920' li yıllarda İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından, tarım alanında yaptığı çalışmalar sırasında bulunmuş ve geliştirilmiştir. Bu yöntem Amerika'da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesinde uygulanmış ve Amerika' yı tarım alanında dünyada iyi bir seviyeye taşımıştır (Kaya, 2017:94).

Endüstri ve sanayi anlamında sürekli gelişen dünya üzerinde işletmelerin ürettikleri ürünleri müşteri beklentisinin üzerinde geliştirme çabaları sürekli ve açık rekabetin göstergesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Üretilen ürünlerde sorun olmaması ve ürünün işlevini en iyi şekilde yerine getirmesi, kaliteli ve müşterinin eline daha hızlı ulaşan ama aynı zamanda da ekonomik ürünlerin üretimi için sanayi kuruluşları ve işletmelerin gösterdikleri çaba deneysel tasarımın daha hızlı yayılmasında etkili olmuştur (Şahin, 2019:79).

5.1. Taguchi Deney Tasarımı

Taguchi deney tasarım metodu, kontrol edilebilen değişkenlerin belirli seviyelerde zaman ve maliyet açısından etkin, aynı zamanda kontrol edilemeyen faktörlerin tüm kombinasyonlarına karşı ürünler/prosesler tasarlar. Taguchi deney tasarım tekniği; ürünlerin kalitesinin olmasının yanı sıra, kalite geliştirmede çok daha az deneme ile daha iyi sonuç alma imkânını vermektedir (Kaya, 2017:94). Taguchi deney tasarımı yönteminde elde edilen deney sonuçları sinyal/gürültü (S/N) oranına dönüştürülerek değerlendirilir. Diğer bir nokta ise deney tasarımının dengeli olmasıdır, yani faktörlerin birbirinden bağımsız olarak değerlendirebilmesini sağlaması ve bunun içinde tasarımda faktörlerin farklı seviyeleri için her test edilen şart altında eşit sayıda örnekleme yapılmasıdır. Taguchi'nin standart tasarımları bu sistem üzerine kurulmuştur (Karaca, 2018:84).

Şekil 5.1' de Taguchi deney tasarımına ait prosesin genel gösterimi verilmiştir (İçen, 2019:88).



Şekil 5.1. Taguchi Deney Tasarımı Genel Gösterimi

Kaynak: (İçen, 2019:88).

Makinelerin kombinasyonu, metotlar, insanlar veya çıktı üreten diğer kaynaklar *proses* olarak tanımlanabilir. *Faktörler* diğer adıyla *deney değişkenleri* ise; deney sonucunu etkileyen kontrol altında olan veya olmayan çevre değişkenleridir. Deneyde kullanılacak faktörlerin belirlenmesi deneyin planlama prosesini doğrudan etkilediği için çok önemlidir. Örneğin; deneyi etkileyen numune türü, aşınmada uygulanan yük, aşındırıcı türü ya da aşındırıcı tipi gibi faktörler kontrol edilebilen faktörlerdir. Kontrol edilmeyen faktörler ise; deney sırasında kontrol edemediğimiz bizim elimizde olmayan durumlarda ortaya çıkan sıcaklık, nem veya titreşim gibi faktörlerdir (İçen, 2019:88).

Taguchi Deney Tasarımı yöntemine göre yapılacak bir çalışmada izlenecek adımlar şu şekildedir (Yang, vd., 1998):

- Faktörlerin seçimi ve aralarındaki etkileşimlerin değerlendirilmesi (beyin fırtınası, akış diyagramı, sebep sonuç diyagramı gibi metotlar kullanılarak),
- Faktörlerin seviyelerinin belirlenmesi,
- Doğru ve dengeli tasarımın seçimi,
- Faktörlerin ve/veya aralarındaki etkileşimlerin dengeli deney düzenindeki kolonlarla eşleştirilmesi,
- Deneylerin daha önceki adımlarda planlanan şekilde gerçekleştirilmesi,
- Sonuçların analizi,
- Onama deneylerinin yapılması (Yang, vd., 1998).

5.1.1. Faktör ve Seviyelerin Belirlenmesi

Faktör ve seviyelerin belirlenmesi diğer bir ifadeyle beyin fırtınası tekniği; yapılacak çalışma ile ilgili problem belirlendikten sonra deney şeklinin nasıl olacağını tartışmak üzere prosesle ilgili uzmanların bir araya gelerek önerilerde bulunmasıdır. Bu öneriler ışığında faktör ve seviyeler belirlenebilmektedir. Faktör, zaman birimindeki saniye gibi nicelik olabileceği gibi, farklı alüminyum alaşımlar veya bir anahtarın kapalı/açık olması durumlarındaki gibi nitelik de olabilir. Bir faktörün seviyeleri, deneyde incelenmekte olan faktörlerin alabileceği değerlerdir. Nicelik faktörlerinde seçilen her bir değer, bir seviye şekline gelir (Tozkoparan, 2010:76).

Deneyde ilk önce performansı etkileyeceği varsayılan tüm faktörler göz önünde bulundurulur. İlk deneyde az seviyesi olan çok sayıda faktör kullanımı tercih edilmelidir, çünkü ilk deneyin amacı bazı önemsiz faktörleri elemine etmek ve mamulün problemi ile ilgili ya da kalite değerini arttırmaya katkıda bulunan önemli birkaç faktörü belirlemektir. Performans karakteristiğini etkileyen faktörler belirlendikten sonra bu faktörlerin kaç değişik seviyede inceleneceğinin belirlenmesi gerekmektedir. Faktörlerin kademeleri en az iki olmak üzere üç veya daha çok olabilir. Ancak seviyeleri iki veya üç olarak belirlemek büyük kolaylıklar sağlamaktadır (Tozkoparan, 2010:76).

5.1.2. Ortogonal Diziler

Deneysel çalışmalarda, çok sayıda faktör ve seviye bulunması maliyet ve zaman kaybına neden olmaktadır. Taguchi yöntemi, deneylerin tam faktöriyel yapıda tüm kombinasyonlarının denenmesi yerine, ortogonal dizinleri kullanarak kesirli faktöriyel yapıda kombinasyonlar ile hem zaman ve maliyetten kazanç sağlamakta, hem de en iyi performans karakteristiği değerini veren faktör seviyelerini tespit etmektedir (Yılmaz, 2020:144). Ortogonal diziler kullanılarak hangi denemede hangi faktörün hangi seviyesinin kullanılacağının belirlenmesi Taguchi deney tasarım yönteminin temelini oluşturur. Uzun çalışmalar sonucunda standart deneme planları belirlenmiş ve bunların ortogonal dizileri ile özdeş olduğu görülmüştür. Taguchi, bu diziler baz alınarak yapılacak denemeler ile tam faktöriyel bir denemenin sonuçlarının aynı olacağı iddiasında bulunmuş ve haklılığını yaptığı pek çok uygulama ile göstermiştir (Öztop, 2007:68). Örnek verecek olursak, 2 seviyeli 7 faktörden oluşan bir deneyde geleneksel yol tercih edildiğinde deney sayısı $2^7 = 128$ olur. Burada 2 seviye sayısını, 7 ise faktör sayısını göstermektedir. Birkaç tane deney yapılması durumunda tamamlanmış faktöriyel deneyler kabul edilebilir ancak çok sayıda faktör incelendiğinde pek kullanışlı değildir. Hem zaman hem de finansman açısından

düşünüldüğünde bu yöntemin tercih edilmesi ve uygulanması çok zordur. Oysa istatistikçiler kısmi faktöriyel deneyler diye bilinen daha etkili test planları geliştirmişlerdir. Kısmi faktöriyel deneyleri, tüm faktör etkileri ve sadece bazı etkileşimleri kestirebilmek için tüm kombinasyonların sadece bir kısmını kullanmaktadır. Taguchi tarafından gerçekleştirilen 8 denemeli L8 dizisi bu çalışma için uygundur. Yapılacak 8 deney ile istenilen analizler yapılabilir ve 128 – 8 = 120 deney yapmak için geçen süreden ve maliyetten tasarruf edilir (Tozkoparan, 2010:76).

Ortogonal diziler L_AB^c şeklinde gösterilirler. Burada L Latin kareyi, A deney sayısını, B faktör seviyelerini, c ise ortogonal dizideki kolon sayısını göstermektedir (Serencam ve Uçurum, 2019). Ortogonal dizi üçe ayrılmaktadır. Bunlar 3 seviyeli, 2 seviyeli ve 2 ve 3 seviyelidir. Belirlenen bu diziler standart olup Taguchi deney tasarım yönteminin işlem basamaklarını oluştururlar. Bu metod kullanılarak yapılacak tüm deneyler, bu standart dizilerden birini seçip kullanmak zorundadır. Aksi takdirde başlangıçta faktörlere uygun dizi bulunamadıysa, faktörlerde bir takım yeni düzenlemeler yapıp dizilerden birini bulmak gerekmektedir. Sıklıkla kullanılan diziler *2 seviyeliler* için L_4, L_8, L_{12} ve L_{32} iken *3 seviyeliler* için L_9, L_{18}, L_{27} dizileri bulunmaktadır. Her iki seviyenin karıştırıldığı dizilerden bazıları L_{18}, L_{36}, L_{54} dizileridir (Kaya, 2019:67).

5.1.3. Ortogonal Dizilerin Seçimi ve Serbestlik Derecesi

Ortogonal dizilerin seçiminde, öncelikle her bir faktörün serbestlik derecesi ve serbestlik derecelerinin toplamı olan toplam serbestlik derecesi hesaplanmaktadır. Toplam serbestlik derecesi, hangi ortogonal diziye uygunsa o tercih edilmektedir. Toplam serbestlik derecesi hesaplanırken, faktörler arasında etkileşimin olup olmadığını da göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Bir faktörün serbestlik derecesi seviye sayısının 1 eksiğidir. Serbestlik derecesinin elde edilmesinin sağlayan Denklem 5.1.' de verilmiştir (Tozkoparan, 2010:76).

$$\nu A = kA - 1 \tag{5.1}$$

Burada; νA A faktörünün serbestlik derecesi, kA A faktörünün seviye sayısı'dır.

Eğer varsa karşılıklı etkileşimin incelenmesi (karışık ortogonal düzende) durumunda (AxB) serbestlik derecesi, faktörlerin serbestlik dereceleri çarpımına eşittir ve Denklem 5.2.' de gösterilmiştir (İçen, 2019:88).

$$\nu (AxB) = \nu A \times \nu B \tag{5.2}$$

Burada; ν (AxB) (AxB)' nin serbestlik derecesi, νA A faktörünün serbestlik derecesi, νB B faktörünün serbestlik derecesi' dir.

Böylece deneyin asgari serbestlik derecesi; faktörlerin ve varsa karşılıklı etkileşimlerin serbestlik derecelerinin toplamına eşittir. Deney planı toplam serbestlik derecesi ise, seçilen ortogonal dizideki deney sayısının 1 eksiği olmaktadır ve Denklem 5.3.' de gösterilmiştir (İçen, 2019:88).

$$\nu T = N - 1 \tag{5.3}$$

Burada; νT deney planı toplam serbestlik derecesi, N deney sayısı' dır.

Serbestlik derecesi hesaplandıktan hemen sonra ortogonal dizi seçimi yapılır. Dizinin deneme sayısına hangisi uygun düşerse o derece serbestlik derecesini vermektedir. Toplam serbestlik derecesi en fazla seçilecek olan dizinin deneme sayısından sadece bir eksik olabilir. Eşit olması durumunda bir üst diziyi seçmek zorunlu olacaktır. Dolayısıyla mevcut serbestlik derecesine l eklendiği durumda eldeki dizilerden hangisine eşit olursa o seçilmelidir. Ancak hiç birine eşit olmaması durumunda ve herhangi ikisinin arasında kalıyorsa bir alt değil bir üstteki seçilir (İçen, 2019:88).

5.1.4. Varyans (ANOVA) Analizi

ANOVA, deney tasarımındaki işlem parametrelerinin kalite karakteristiği üzerindeki anlamlılığını belli bir güven seviyesinde ölçen istatistik tabanlı bir araçtır. Diğer bir ifadeyle deneyde kullanılan faktörün hangi oranda çalışmaya etki ettiğini gösterir (Pinar ve Kara, 2016).

Varyans analizi toplam varyasyonu bileşenlerine ayıran matematiksel bir tekniktir ve serbestlik derecesi, karelerin toplamı, ortalama kareler (varyans) vb. gibi niceliklerin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Temel olarak üretim esnasında kontrol edilemeyen değişkenlerin analizine dayanmaktadır. İşlem 1929' larda İngiliz istatistikçisi Fisher sayesinde geliştirilmiştir. İsminin baş harfinden esinlenerek yönteme F testi de denmektedir. Varyans analizi tek faktörlü, iki faktörlü ve çok faktörlü olmak üzere geniş bir kullanım alanı sunmaktadır. Taguchi deney tasarım yöntemi ortogonal dizileri 2 ve 3 kademeli olduklarından dolayı varyans analizi çoğunlukla ikili veya üçlü kademe için bu aşamada kullanılır (Kaya, 2017:94).

Taguchi deney tasarım yöntemi genel olarak, deneysel çalışmalarda değişkenlerin önem seviyesini gösteren F değerleri ve katkı oranları yüzdesi kullanılır. ANOVA işlemi % 95 güvenirlik ve % 5 önem seviyelerinde uygulanmaktadır. Deneyde kullanılan kontrol faktörlerin etki düzeylerinin belirlenmesinde, etki değeri en fazla olan F değeri sonuca en çok etki eden

değer olarak belirlenir. Bu değerin belirlenmesinde F değeri sonuçları birbirleri ile kıyaslanmaktadır (Kır ve Apay, 2020).

5.1.5. Sinyal Gürültü (S/N) Oranı

Taguchi deney tasarım yöntemi, sonuçları analiz etmek için elektrik kontrol teorisinden örnek alınmış *sinyal gürültü (S/N) oranı* olarak isimlendirilen bir istatistiksel performans ölçümü kullanmaktadır. Burada "S" sinyal oranını, "N" ise gürültü oranını ifade eder. Birimi desibeldir (db) (Pinar ve Kara, 2016). S sistemdeki gerçek değeri, N ise deney düzeneğine katılamayan fakat deney sonucuna etki eden oranları tanımlamaktadır. Gürültü kaynakları, elde edilmek istenen performans karakteristiklerinin hedef değerden sapmasına sebep olan tüm değişkenlerdir (Kır ve Apay, 2020). S/N hedeflenen amaç fonksiyonuna (karakteristik değere) göre değişmektedir. Bir başka ifadeyle, istenen bir sinyalin seviyesini arka plandaki gürültü seviyesiyle karşılaştıran bir ölçüdür (Pinar ve Kara, 2016).

Taguchi deney tasarım yönteminde hedef türüne göre uygulamadaki problemler üçe ayrılmış ve her biri için farklı bir S/N oranı tanımlanmıştır (Yılmaz, 2020:144):

"En küçük en iyi" durumunda, y'nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumda S/N oranı Denklem 5.5.' de şöyle tanımlanmaktadır (Yücel, 2011:85):

$$\text{S/N} = -10 \cdot \log\left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} y_i^2\right) \tag{5.5}$$

"En büyük en iyi" durumda y'nin hedef değeri sonsuzdur ve sinyal/ gürültü oranı Denklem 5.6.' da şöyle tanımlanmaktadır:

$$\text{S/N} = -10 \cdot \log\left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{y_i^2}\right) \tag{5.6}$$

"Hedef değer en iyi" durumunda, y için belli bir hedef değer verilmiştir ve Denklem 5.7.' de şöyle tanımlanmaktadır:

$$\text{S/N} = 10 \cdot \log\left(\frac{\bar{y}^2}{s^2}\right) \tag{5.7}$$

Denklemlerde; "y_i" ölçülen temas açı değerini, "i" gözlem değerini, "n" çalışma için geçerli deney sayısını ve "s^2" varyansı ifade etmektedir (Yücel, 2011:85).

6. LİTERATÜR TARAMASI

Wang ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, soğuk ve yağmurlu koşullara dayanıklı yüzeyler elde etmek amacıyla, alüminyum yüzeyler üzerine iki farklı hidrofobik kaplama uygulamışlardır. Kaplamalar için alüminyum bar ve alüminyum çubuk kullanılmıştır. Öncelikle numuneler aseton ile temizlenmiş ve 70 °C' de 4 saat kurutulmuştur. Ardından bir silikon kauçuk kaplama uygulanarak 48 saat oda sıcaklığında kurutulmuştur. Elde edilen numuneler asetonla temizlenerek % 30' luk hidroklorik asit (HCI) ile aşındırılmıştır. Daha sonra numuneler deiyonize su ile temizlenmiş ve 30 dk boyunca aseton-stearik asit çözeltisine daldırılmıştır. Son olarak 70 °C' de 30 dk kurutma işlemi yapılmıştır. Elde edilen süperhidrofobik yüzeyler SEM analiziyle incelenmiştir. Yüzeylerin temas açıları ölçülerek iklimlendirme odasında buzlanma testleri yapılmıştır. Buna göre; -10 ile 17,5 °C arasında temas açı değerlerinin 150°' den fazla olabileceği görülmüştür. SEM görüntülerinde ise; stearik asit kaplı yüzeylerde çok sayıda çıkıntı olduğu ve bu nedenle su damlalarının yüzeyle teması azalarak süperhidrofobik yüzeylerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın buzlanma önleyici kaplama üretiminin yolunu açacağı ve çeşitli alanlarda uygulanabileceği vurgulanmıştır (Wang vd., 2010).

Wu ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, lotus yapraklarından esinlenerek nano/mikro boyutta yapılarla modifiye edilmiş süperhidrofobik alüminyum yüzeyler geliştirmişlerdir. Kaplamalar için alüminyum alaşımlar kullanılmıştır. Öncelikle yüzeyler zımparalanmış, ardından 15 dk boyunca ultrasonik banyoda etanolle temizlenip oda sıcaklığında kurutulmuştur. Alüminyum alaşımlarının nano/mikro yüzey yapıları asit aşındırma yöntemi, galvanik hücre korozyon yöntemi, fosforik asit-dikromat yöntemi ve anodik oksidasyon yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Asit aşındırma işlemi için, örnekler okzalik asit ve HCI' nin belli oranlardaki karışımında 15 saat bekletilmiştir. Daha sonra deiyonize su ile yıkanıp kurutulmuştur. Kurutulmuş olan alüminyum alaşımlar 30 dk boyunca stearik asitin % 1' lik etanollü çözeltisine daldırılmış ve oda sıcaklığında 24 saat boyunca kurutulmuştur. Elde edilen numuneler SEM ve temas açı ölçüm cihazları kullanılarak incelenmiştir. SEM analizi sonuçlarına göre; lotus yaprağına benzer yapılar elde edildiği gözlemlenmiş olup, film kalınlığının 5-30 μm aralığında olduğu belirlenmiştir. Temas açı değeri ise 166° olarak ölçülmüştür. Böylelikle bu yapının süperhidrofobik bir yüzey olduğu görülmüştür. Bu yöntemin kolay ve maliyetinin düşük olmasından dolayı çok fazla tercih edileceği belirtilmiştir (Wu vd., 2015).

Lee ve Hwang yapmış oldukları çalışmada, sol-jel kaplama metodunu kullanarak alüminyum-silisyum alaşımı üzerinde önce silikajel tabakası oluşturmuşlar ve daha sonra bu yüzey üzerine

süperhidrofobik kaplama uygulamışlardır. Yaklaşık 1 mm kalınlığındaki alüminyum-silisyum alaşımı, 40 °C sıcaklıktaki 400 ml deiyonize su içerinde çözünmüş 20 g NaOH içeren bir çözeltiye 10 dk boyunca daldırılıp ardından oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kurutulan örnekler 27 °C' deki hacimce % 10 ' luk nitrik asit (HNO_3) çözeltisine 1 dk boyunca daldırılmıştır. Son olarak numune hacimce % 0,1 ' lik heptadekafloro-1,1,2,2-tetrahidrodesil triklorosilan ile karıştırılmış bir n-heksan çözeltisi içinde 10 dk bekletilmiş ve oda sıcaklığında kurutulmuştur. Elde edilen yüzeylerin karakterizasyon çalışmaları SEM, X-Işını Fotoelektron Spektroskopi (XPS), EDS ve temas açı ölçüm cihazları kullanılarak yapılmıştır. SEM görüntülerine göre; elde edilen süperhidrofobik yüzeyin oluşma esnasında silisyumun mikro boyutta yapılar oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu yapılar belli bir düzen içerinde oluşmuş ve kaplama kalınlığı 3-5 µm olarak görülmüştür. Maksimum kaplama kalınlığı ise 7 µm olarak ölçülmüştür. Temas açısı ölçümlerinde 5 µl damla ile 166°' lik bir açı elde edilmiştir. XPS analizine göre; sodyum hidrat ile muamele edilmiş yüzeyde sodyum varlığı görülmüştür. Ancak daha sonra yapılan nitrik asit ile muamele işleminden sonra sodyum varlığının azaldığı gözlemlenmiştir. Alüminyum-silisyum alaşımının kaplama işleminin kolay, ucuz ve zaman kazandıran bir yöntem olması sebebiyle, yeni uygulamalar oluşturma potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir (Lee ve Hwang, 2016).

Li ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, alüminyum alaşım üzerinde önce süperhidrofobik yüzey, daha sonra buzfobik yüzey elde etmişlerdir. Bu çalışmanın modifikasyon işlemi hidrotermal reaksiyon yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bunun için, belirli ölçülerde kesilmiş alüminyum alaşımlar kullanılmıştır. Numuneler önce asetonla ve daha sonra deiyonize su ile ultrasonik banyoda temizlenmiştir. Ardından 1,5 M sulu NaOH çözeltisine 1 dk daldırılmış ve deiyonize su ile ultrasonik banyoda temizlenmiştir. Elde edilen numuneler 0,0125 M sulu çinko asetat çözeltisine daldırılmıştır. Ardından 4:1 oranında amonyak ilave edilmiştir. Elde edilen çözelti teflon kaplı çelik otoklava yerleştirilmiştir. Otoklavda 60 °C sıcaklıkta 5 saat boyunca bekletilen numuneler deiyonize su ile yıkanmış ve oda koşullarında kurutulmuştur. Elde edilen numuneler önce n-hekzan içerisine daldırılmış ve buradan çıkarılan numuneler 5 mM stearik asit çözeltisine 5 saat boyunca daldırılmıştır. Ardından etanolle yıkanan numuneler kurutulmuş ve süperhidrofobik yüzey elde edilmiştir. Buzfobik yüzey elde etmek için numune üzerine 8 µl su damlatılmış ve sıcaklık -10 °C' de olacak şekilde kontrol edilmiştir. Zamanla yüzey üzerindeki damlalar donmuş ve buz küplerine dönüştüğü görülmüştür. Elde edilen yüzeylerin karakterizasyon çalışmaları SEM, X- ışını kırınım yöntemi (XRD), ve temas açı ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır. SEM analiz sonucuna göre; lotus yapraklarına da benzeyen mikro/nano

ölçeklerinde yapılar görülmüştür. Temas açısı ölçümlerinde ise; 167.3°' lük bir açı elde edilmiştir. Bu çalışma ile metalik malzemeler üzerinde süperhidrofobik yüzeyle birlikte buzfobik yüzeylerin de ekonomik şekilde üretilebileceği öne sürülmüştür (Li vd., 2013).

Zhang ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, alüminyum folyo üzerine elektrolizle yükseltgeme yoluyla nano yapılar oluşturmuşlardır. Ardından modifikasyon işlemi yapılarak süperhidrofobik filmler elde etmişlerdir. Öncelikle aseton ile ultrasonik banyoda alüminyum folyolar üzerindeki kirlilikler temizlenmiştir. Elde edilen alüminyum folyolara 2,6 M fosforik asit ve 1,6 M gliserin içeren sulu çözeltide 70 °C sıcaklıkta 120 dk boyunca 3.2 mA/cm^2 akım yoğunluğunda yüksek saflıkta nikel kullanılarak anodizasyon işlemi yapılmıştır. Yapılan eloksal işleminden sonra elde edilen numunler 70 °C sıcaklıkta 60 dk süreyle stearik asite daldırılmıştır. Ardından numuneler su ve etanol karışımı ile temizlenmiştir. Daha sonra polimer moleküllerini daha güçlü yapıda tutmak için 30 dk boyunca 80 °C sıcaklıkta ısıtma yapılmıştır. Elde edilen yüzeylerin karakterizasyonu SEM, XRD, XPS, Atomik kuvvet Mikroskobu (AFM) ve temas açı ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır. XPS analizi sonucunda, film yüzeyinin stearik asit molekülleri ile kaplandığını doğrulayan karbon sinyali tespit edilmiştir. XRD analizi sonucunda oluşan yoğun piklerin, Al ve Al_2O_3 fazı olduğu tespit edilmiştir. SEM analizi ile, 80-120 nm çapında nano küreler gözlemlenmiştir. AFM analizi ile, nano parçacıkların düzenli bir şekilde olduğunu ve bu kürelerin 50-150 nm kalınlıkta olduğu tespit edilmiştir. 156°' lik temas açı değeri elde edilmiş ve yapının süperhidrofobik bir kaplama olduğu görülmüştür. Bu teknik ile alüminyum folyo ile ısı geçişlerinin daha verimli hale geleceği ve bu yöntemin daha kolay ve ekonomik olacağı vurgulanmıştır (Zhang vd., 2012).

Liu ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, bir alüminyum cevheri olan hidroksit minerali olarak da isimlendirilen böhmit minerali ile alüminyum folyo üzerinde süperhidrofobik bir yüzey eldesini incelemişlerdir. Bu çalışmada nano veya mikro yapıdaki lotus yapraklarının süperhidrofobik özelliğinden yararlanılmıştır. Öncelikle 50 mM $AlCI_3$ ve 0,75 M trietanolamin 20 ml'lik sulu çözeltisi teflon kaplı otoklava konulmuştur. Ardından alüminyum folyo bu çözelti içerisine daldırılmıştır. 100 °C sıcaklıkta 5 saat süreyle bekletilmiştir. Elde edilen numuneler birkaç kez deiyonize su ile yıkanmış ve oda sıcaklığı şartlarında kurutulmuştur. Ardından 5 mM' lık stearik asitin etanollü çözeltisine 10 saat boyunca daldırılmıştır. Numuneler etanolle temizlenmiş ve kurutulmuştur. Elde edilen yüzeylerin karakterizasyonu SEM, XRD, Fourier Dönüşümlü Infrared Spektroskopisi (FTIR) ve temas açı ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır. SEM analizi sonuçlarında, alüminyum folyo üzerinde böhmit filmlerinin oluştuğu gözlenmiştir. Bu oluşan çiçek benzeri yapıların çaplarının 1 ile 3 μm

arasında bir büyüklükte olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çok sayıda nanometre ölçeğinde mikro çıkıntılar görülmüş ve bu parçaların birleşmesi sonucunda iğne şeklindeki mikro yapılar tespit edilmiştir. XRD analiz sonuçlarına göre; alüminyum folyo üzerinde keskin ve yoğun şekilde kübik bir yapının olduğu görülmüştür ve bu yapının böhmit fazı olduğu değerlendirilmiştir. FTIR analizi sonucunda, alüminyum folyo üzerinde böhmit fazının spektrumları görülmüştür. Temas açı cihazında yapılan ölçümlerde ise; 3 µl damla kullanılmış ve 169°' lik bir açı elde edilerek bu yapının süperhidrofobik bir kaplama olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın, endüstriyel ürünlerde uzun süreli depolama amacıyla alüminyum folyonun tercihini artıracağı düşünülmüştür (Liu vd., 2011).

Zhang ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, sprey kaplama yöntemiyle, gelişmiş mekanik özelliklere sahip süperhidrofobik alüminyum alaşımların elde edilmesini incelemişlerdir. Bu çalışmada öncelikle alüminyum alaşımlar etanol ile 20 dk temizlenmiş ve ardından kurutulmuştur. Numuneler aşındırma işlemi için hacimce % 15' lik HCI çözeltisine 45 dk daldırılmıştır. Daha sonra etanol ve damıtılmış su ile 30 dk temizlenmiş ve kurutulmuştur. Nanokompozit sprey kaplama için, A-SiO2 ve GR653L kompozit malzemesi kullanılmıştır. Bu iki malzeme karıştırılmadan önce hacimce 1:1 oranında izopropil alkol içerisinde 15 dk bekletilmiştir. Ardından 5-15 cm mesafeden oda koşullarında 20 psi basınç altında sıkıştırılmış ve 2,5 cm/s döngü hızıyla sprey kaplama işlemi yapılmıştır. Elde edilen numunelerin mekanik dirençleri kum, zımpara, çarpma ve yüksek basınçlı su jeti kullanılarak denenmiştir. Numuneler 45°' lik bir açı ile sabitlenmiştir ve 10 ile 100 kPa basınç altında 10 dk boyunca su püskürtülmüştür. Kum testleri içinde yine eğimli şekilde sabitlenen numuneler üzerine yüzeyden 30 cm uzaklıkta olacak şekilde 1 dk boyunca kum dökülmüştür. Zımpara testi için 10 kPa basınç altında 2000 kum zımpara kullanılmıştır. Elde edilen yüzeylerin karakterizasyon çalışmaları ise SEM ve temas açı ölçüm cihazları kullanılarak yapılmıştır. SEM analizi sonuçlarına göre; numunelerin taban bölgesinde 100-200 µm genişliğinde ve üstte 30-60 µm boyutunda çıkıntıların olduğu tespit edilmiştir. Temas açı cihazında yapılan ölçümlerde 168,7°' lik bir açı elde edilmiş ve yapının süperhidrofobik bir kaplama olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, hasarlı bir yüzeyin nanokompozit bir malzemeyle sprey kaplama yöntemi kullanılarak yenilenmesi değerlendirilmiştir. Ayrıca bu kaplamanın hem düzlemsel hem de kavisli yüzeylerde süperhidrofobik yapıların oluşturulmasına imkan vereceği tahmin edilmiştir (Zhang vd., 2014).

Rezayi ve Entezari yapmış oldukları çalışmada, daldırma yöntemini kullanarak alüminyum yüzey üzerine süperhidrofobik bir yapının elde edilmesini incelemişlerdir. Bu çalışma için

alüminyum plakalar kullanılmıştır. Yüzeyin aşındırılması için 1500 numaralı zımpara kullanılmıştır. Ardından alüminyum plakalar distile su ile yıkanmış ve kurutulmuştur. Ardından 0,01 M çinko asetat ve 0,1 M trietilamin içeren 40 °C sıcaklıktaki 50 ml' lik sulu çözeltiye daldırılmış ve ara ara karıştırılmıştır. Buradan alınan numuneler distile su ile yıkanmış ve 1 saat boyunca 100 °C' de kurutulmuştur. Yüzeyinde çinko oksit (ZnO) parçacıkları biriktirilmiş alüminyum plakalar modifiye işlemi için stearik asitin etanollü çözeltisine daldırılmıştır. Ardından etanolle yıkanmış ve 80 °C' de 10 dk kurutulmuştur. Elde edilen yüzeylerin karakterizasyon çalışmaları SEM, XRD, FTIR ve temas açı ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır. SEM analiz sonuçlarına göre; yüzey üzerinde oluşturulan ZnO parçacıklarının üzerine nano yapıların varlığı gözlemlenmiştir. Eğer bu nano yapılar daha düşük yoğunlukta ise su damlaları burada oluşmuş olan çukurlara dolacağı ve daha az temas açısına sahip bir yüzey olacağı öngörülmüştür. XRD analizinde; alüminyum ve ZnO piklerinin olduğu görülmüştür. FTIR analizine göre; stearik asitin pikleri 2843 cm^{-1} ve 2915 cm^{-1} arasında görülmüştür. ZnO' nun elde edildiği pik 515 cm^{-1} olarak görülmüştür. Temas açısı ölçümlerinde 163,7°' lik bir açı elde edilmiş ve yapının süperhidrofobik bir kaplama olduğu görülmüştür (Rezayi ve Entezari, 2016).

Guo ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, alüminyum folyo ve çinkonun sulu çözeltisi arasında gerçekleşen bir reaksiyonla alüminyum yüzey üzerinde süperhidrofobik bir yüzey elde etmek için inceleme yapmışlardır. Bu çalışma için alüminyum folyo kullanılmıştır. Alüminyum folyolar asetonla ultrasonik banyoda temizlenmiş ve kurutulmuştur. Ardından aşındırma işlemi için 1,5 M sulu NaOH çözeltisine 1 dk daldırılmıştır. Ardından deiyonize su ile temizlenmiş ve kurutulmuştur. Yaklaşık 3 g çinko nitrat 100 ml suda çözülmüş ve üzerine 4 ml amonyak ilave edilmiştir. Ardından elde edilen çözelti sürekli karıştırılmış ve bulanıklaşan çözelti beyaz bir yoğun çözelti haline gelmiştir. Daha önce hazırlanmış olan alüminyum folyolar bu çözeltiye dökülmüş ve 70 °C'de 3 saat ısıtılmıştır. Elde edilen numuneler deiyonize su ile yıkanmış ve oda sıcaklığında kurutulmuştur. Ardından 5 mM etanollü stearik çözeltisine 6 saat boyunca oda sıcaklığında daldırılmıştır. Daha sonra etanolle temizlenmiş ve 80 °C' de 2 saat kürlenerek süperhidrofobik yüzeyler elde edilmiştir. Karakterizasyon çalışmaları SEM, XRD, XPS ve temas açı ölçüm cihazları kullanılarak yapılmıştır. SEM analizi sonuçlarında, çiçek yapısına benzeyen mikrokürelerin ve düz olan bölgelerde kıvrımlı nano duvarların olduğu görülmüştür. Kaplama kalınlığı 6-10 μm olarak ölçülmüştür. XRD analiz sonuçlarına göre; saf alüminyum folyodan gelen piklere ek olarak, özellikle 25°' nin altında iki yoğun pik görülmüştür. Yüzey bileşiminin tespiti için yapılan XPS analizinde, tüm yüzeylerde alüminyum ve çinko piklerinin

olduğu görülmüştür. Temas açısı ölçümlerinde 10 µl damla ile 160°' lik bir açı elde edilmiş ve yapının süperhidrofobik olduğu görülmüştür. Bu çalışmada lotus yapraklarına benzer yapıların ekonomik bir şekilde üretildiği belirtilmiştir (Guo vd., 2011).

Yin ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, alüminyum plakalar üzerine düşük yüzey enerjili süperhidrofobik kaplamaların elde edilmesini incelemişlerdir. Bu çalışma için alüminyum plakalar kullanılmıştır. Plakalar, üzerlerindeki kirliliklerin giderilmesi için aseton ile ultrasonik banyoda yıkanmış ve oda şartlarında 24 saat kurutulmuştur. Ardından 2,5 ml hidroflorik asit (HF), 40 ml HCl ve 12,5 ml saf sudan oluşan bir çözelti hazırlanmıştır. Alüminyum plakalar sırasıyla 1, 3, 5, 10, 15, 20, 30 ve 45 s olacak şekilde hazırlanan çözeltiye daldırılmıştır. Ardından ultrasonik banyoda deiyonize su ile temizlenmiştir. Daha sonra 100 °C' de 2 saat kürlenmiştir. Elde edilen numuneler perfluoroalkiltrietoksisilan (PFO) kullanılarak modifiye edilmiştir. Ağırlıkça % 5' lik PFO' nun metanollü çözeltisi, ağırlıkça % 10 deiyonize su ve 0,1 M ağırlıkça % 1,5' luk HCI kullanılarak çözelti hazırlanmıştır. Ardından 4 defa bu çözeltiye daldırılmıştır. Elde edilen numuneler 100 °C' lik etüvde 6 saat kurutulmuştur. Yüzey yapısının incelenmesi için SEM cihazı kullanılmıştır. Asit ile 1 s dağlanan yüzeyde şekli dikdörtgene benzeyen çukurlu yapı görülmüştür. Dağlama süresinin 1 s'den 10 s'ye çıkmasıyla çukur yapısının derinleştiği görülmüştür. 15 s' lik işlemde oluşan çukurların tamamına yakını birbiriyle bağlı hale geldiği ve 200-400 nm'lik nano yapıların olduğu tespit edilmiştir. XPS analizi ile, kaplamadan önce ve sonraki yapılar incelenmiştir. Temas açısı ölçümlerinde en yüksek 162,2°' lik bir açı elde edilmiş ve bu yüzeyin süperhidrofobik bir yapıda olduğu görülmüştür. Bu çalışma ile su itici bir malzemenin üretildiği ve hem uygulamada hem de araştırmada çevresel faktörlerin öneminin incelendiği belirtilmiştir (Yin vd., 2012).

Fu ve He yapmış oldukları çalışmada, alüminyum folyo üzerine süperhidrofobik bir yüzeyin, kimyasal aşındırma ve mekanik pürüzlendirme yöntemlerinin bir arada kullanıldığı bir yöntemle elde edilmesini incelemişlerdir. Bu çalışma için öncelikle zımpara kağıdı ile folyoların yüzeyi muamele edilmiştir. Ardından su ve aseton ile ultrasonik banyoda yıkanmış ve kurutulmuştur. Belirli konstantrasyonlarda hazırlanan bakır nitrat ve nitrik asitin sulu çözeltileri ile aşındırma işlemi yapılmıştır. Mekanik olarak aşındırılan numuneler 90 °C sıcaklıkta 30 s - 20 dk aralığında tekrar aşındırma işlemine tabi tutulmuştur. Ardından etanol ve saf su ile yıkanmıştır. Modifikasyon için desiltrietoksisilan (DTS)'ın 10 mM'lık etanollü çözeltisine 24 saat boyunca daldırılmıştır. Ardından elde edilen numuneler etanolle yıkanmış ve 150 °C' de 5 saat kürlenmiştir. Elde edilen numunelerin yüzeyi SEM analizi ile incelenmiştir. Mikro ölçekte çok sayıda çukur ve gözenek yapılarının olduğu görülmüş ve bu

çukurların 40 ila 100 nm çapında ve duvar kalınlığının 12-15 nm olduğu tespit edilmiştir. Temas açı ölçüm cihazı kullanılarak 159.7°' lik bir açı elde edilmiştir. Böylelikle yapının süperhidrofobik bir yüzey olduğu görülmüştür (Fu ve He, 2008).

Lomga ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, dayanıklı, kendi kendini temizleyebilen ve buğulanmayı önleyen süperhidrofobik yüzeylerin elde edilmesini incelemişlerdir. Bu çalışmada alüminyum plakalar kullanılmıştır. Aşındırma işlemi için NaOH' ın 5, 8 ve 10 g/l derişimlerindeki sulu çözeltilerine 5 - 180 dk arasında değişen sürelerde daldırma yapılmıştır. Ardından aseton ile yıkanmış ve 24 saat oda koşullarında kurutulmuştur. Yüzey enerjisinin düşürülmesi için, etanollü laurik asitin 20 g/l derişiminde hazırlanan çözeltisine 30 dk boyunca daldırılmıştır. Daha sonra deiyonize su ile yıkanan numuneler 24 saat oda koşullarında kurutulmuştur. Elde edilen numunelerin yüzey morfolojisi SEM cihazında incelenmiş ve çiçek yaprakları şeklinde yapıların olduğu görülmüştür. Sürenin arttığı durumlarda çukurlu ve çatlak yapıların daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. AFM cihazı ile yapılan incelemede ise; süngerimsi bir tabakanın olduğu görülmüştür. AFM ve SEM analizleri ile alüminyum yüzey üzerinde mikro boyuttaki yapıların varlığı tespit edilmiştir. Temas açısı ölçümlerinde ise en iyi sonuç 180 dk aşındırmada elde edilen 168,2°' lik açı olmuştur. Böylece yapının süperhidrofobik olduğu görülmüştür (Lomga vd., 2017).

Feng ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, kolay ve ekonomik bir yöntemle alüminyum yüzey üzerinde korozyona karşı dirençli süperhidrofobik yapıların elde edilmesini incelemişlerdir. İlk olarak zımparalama işlemi yapılmıştır. Ardından ultrasonik banyoda deiyonize su ve asetonla temizlenmiş ve kurutulmuştur. Daha sonra elde edilen alüminyum plakalar aşındırma işlemi için sıcak su içerisinde bekletilmiş, sonra deiyonize su ile yıkanmış ve kurutulmuştur. Modifikasyon işlemi için 60 °C'deki 5 mM stearik asitin etanollü çözeltisine daldırılmıştır. Ardından deiyonize ile yıkanmış ve kurutulmuştur. Yüzey özelliklerinin tespiti için SEM analizi yapılmıştır. Bu analizde, yüzeyin düzensiz olduğu görülmüştür. Sıcak su ile yapılan aşındırma işleminden sonra bu düzensizliğin olduğu kısımlarda gözenekli yapıların varlığı tespit edilmiştir. Modifikasyon işleminde ise; pürüzlü ve çukurlu gözeneklere sahip alüminyum plaka üzerinde çok sayıda yapraklı çiçek şekillerinde yapıların olduğu gözlemlenmiştir. Temas açısı analizinde 10 µl damla ile yapılan ölçümlerde temas açısı 155° olarak ölçülmüştür. Böylelikle yapılan çalışmada süperhidrofobik yüzeyin elde edildiği tespit edilmiştir. FTIR analizine göre; kaynar su ile dağlama aşındırma işleminden sonra yapılan ölçümlerde çok fazla farklılık olmadığı bununla birlikte modifikasyon işleminden sonra çok net ve belirgin şekilde iki absorpsiyon pikinin varlığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada, aşındırma

işlemi için kostik bir kimyasal yerine sıcak su kullanılarak yapılması, hem çevre dostu hem de ekonomik olarak önemli olduğu vurgulanmıştır. Bununla birlikte basit ve kolay maliyetle metal alaşımların korozyon direncinin arttırılmasının öncelikli tercih sebebi olabileceği belirtilmiştir (Feng vd., 2013).

Liao ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, kimyasal aşındırma metodu kullanılarak mikro/nano yapılı süperhidrofobik alüminyum yüzeyin elde edilmesi incelenmiştir. Bu çalışma için alüminyum folyo kullanılmıştır. Numunelere öncelikle zımparalama işlemi uygulanmıştır. Ardından deiyonize su ile yıkanmış ve kurutulmuştur. Ardından 1 M' lık bakır klorür çözeltisine 8 s daldırılmıştır. Ardından deiyonize su ile yıkanmış ve bekletilmeden HCl çözeltisine 10 s daldırılmıştır. Aşındırma işlemi tamamlanan numuneler, modifikasyon için oda sıcaklığında 60 dk boyunca ağırlıkça % 2' lik hekzadesiltrimetoksisilan çözeltisine daldırılmıştır. Ardından 90 °C' deki etüvde 30 dk kürlenmiştir. Yüzey özellikleri SEM cihazı ile analiz edilmiştir. Zımpara yapılmadan önce alüminyum yüzeyin daha pürüzsüz olduğu görülmüştür. Aşınma işleminden sonra dağınık halde ve 5-10 μm ölçeğinde yapılarla birlikte, 8 μm çapında dairesel tanelerin de olduğu gözlemlenmiştir. XRD analizinde; modifikasyon çözeltisi olarak kullanılan hezgadesiltrimetoksisilanın numune üzerindeki varlığı açık şekilde görülmüştür. Soğuk hava şartlarının yüzey üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Bunun için, yüzey üzerine sıcaklığı takip etmek için bir sensör yerleştirilmiştir. Soğuk havayı simüle etmek için şırınga iğnesi ile yüzey arası 8 cm olacak şekilde dizayn edilmiştir. Bir soğutma ünitesi kullanılarak yüzeyin sıcaklığı -15 °C'den 0 °C'ye kadar kontrol edilmiştir. Şırınga içerisindeki çözelti sıcaklığı -7 °C'ye ayarlanmış ve yüzeyin buzlanma önleyici özelliği incelenmiştir. Bunun için her yüzeye 10 μl numune damlatılmıştır. Numune opak şekle geldiğinde buza dönüştüğü görülmüştür. Temas açısı ölçümlerinde ise 161,9°' lik bir açı elde edilmiştir. Sonuç olarak; alüminyum, iletim hatlarında çok tercih edilen bir metal olduğu için buz birikmesi gibi sorunlar çok fazla yaşanmakta olup, elektrik kesintilerine yol açtığı, yapılan bu çalışma ile bu hatlarda kullanılan alüminyum tellerin yüzey yapısı geliştirilerek bu gibi durumların ortadan kaldırılmasının hedeflendiği belirtilmiştir (Liao vd., 2014).

Li ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, alüminyum yüzey üzerinde oluşturulan süperhidrofobik bir kaplamayı, korozyana karşı koruma amacıyla, ekonomik ve basit bir şekilde geliştiren bir yöntemi incelemişlerdir. Bu çalışma için alüminyum şeritler kullanılmıştır. İlk olarak alüminyum şeritlerin yüzeyleri zımparalanmıştır. Etanol ve deiyonize su ile ultrasonik banyoda temizlenmiş ve kurutulmuştur. Ardından elde edilen numuneler oda şartlarında 4 M HCl içerisinde 1 - 8 dk arasında değişen sürelerde aşındırılmıştır. Ardından deiyonize su ile

ultrasonik banyoda temizlenmiştir. Korozyonu engellemek için ikinci bir aşındırma işlemi için, 0,1 M potasyum permanganat ($KMnO_4$) çözeltisine sırasıyla 60, 120, 180 ve 240 dk daldırılmıştır. Deiyonize su ile temizlenen numuneler modifikasyon işlemi için, trikloro(1H,1H,2H,2H-heptadekaflorodesil)silanın 20 mM' lık çözeltisine 10 saat daldırılmıştır. Ardından 100 °C' deki fırında 2 saat kurutulmuştur. Yüzeylerin morfolojik özellikleri SEM analizi ile tespit edilmiştir. Modifikasyondan sonra elde edilen 108°' lik temas açısında kalınlığın 1 mm olduğu görülmüştür. Farklı zamanlarda yapılan aşındırmalarda süre arttıkça mikro/nano yapılı çukurların arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte 1 mm kalınlığın hala korunduğu görülmüştür. Temas açısı 4 µl damla kullanılarak ölçülmüş ve 155,7°' lik bir açı elde edilmiştir. Bu şekilde süperhidrofobik bir yapının oluştuğu görülmüştür. Bu çalışmada çok düşük bir maliyetle korozyonu engelleme özelliğine sahip yüksek verimlilikte süperhidrofobik bir yapı elde edilmiş ve bu verimliliğin % 75 olduğu belirtilmiştir (Li vd., 2015).

Hacıoğlu yapmış olduğu çalışmada, alüminyum alaşımlar için en yüksek temas açısı ve en düşük kayma açısını veren kimyasal aşındırmanın etkinliklerini Taguchi metodu kullanarak belirlemiştir. Bu çalışmada alüminyum yüzeyler üzerine kimyasal aşındırma işlemi uygulayarak nano/mikro yapılar oluşturmuş ve ardından üç farklı kimyasal malzeme ile yüzey enerjisini düşürmüştür. Bu işlemleri Taguchi deneysel tasarım yöntemi ile optimize etmiştir. Deneyler için alüminyum plaka kullanmıştır. Aşındırma işlemi için HCl ve hidrojen peroksit (H_2O_2), modifikasyon için perflorononaik asit ve stearik asit kullanmıştır. Aşındırma işlemi için, öncelikle belirli numaralardaki zımparalarla alüminyum plakanın yüzeyi zımparalanmıştır. Ardından etanol ve deiyonize ile temizlenmiş ve kurutulmuştur. Numuneler daha sonra deiyonize su HCl çözeltisine daldırılmıştır. Belirli bir süre sonra üzerine H_2O_2 ilave edilmiştir. Buradan elde edilen numuneler deiyonize su ile yıkanmış ve kurutulmuştur. Ardından modifikasyon için etanollü stearik asit çözeltisine daldırılmıştır. Bu veriler Taguchi deney tasarım sisteminde optimize edilmiştir. Bunun için 5 farklı faktör seçilmiştir. Bunlar; alüminyum plakanın HCI ve su karışımına daldırma süresi, alüminyum plakanın H_2O_2, HCl ve su karışımı ile daldırma süresi, su/HCl oranı, yüzey enerjisinin düşürülmesi için kullanılacak stearik asit derişimi ve alüminyum plakanın stearik asit ile etkileşim süresi olarak seçilmiştir. Minitab programından yararlanılarak L25 ortgononal düzende deneysel tasarım yöntemi kullanılmıştır. En büyük en iyidir optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. ANOVA analizi yapılarak hangi faktörün en etkili olduğu tespit edilmiştir. Alüminyum alaşım plakanın stearik asit ile muamele süresi % 44.45 ile en fazla etki eden faktör olmuştur. En az etki HCl, H_2O_2 ve

su karışımında bekleme süresi olmuştur. Yapılan çalışma sonucunda belirlenen faktör/seviye kombinasyonuna göre doğrulama deneyi gerçekleştirilmiş ve temas açı değeri 163,3° olarak ölçülmüştür. Elde edilen bu sonucun, yapılan çalışmanın Taguchi sisteminde başarılı bir deney tasarımı kullanıldığını gösterdiği belirtilmiştir (Hacıoğlu, 2019:68).

Mohamed ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, alüminyum yüzeye süperhidrofobik bir yapı kazandırmak için poliviniliden florür (PVDF) ve ZnO' dan elde edilen nanokompozit karışımın yüzey üzerine uygulanmasını incelemişlerdir. Bu çalışmayı Minitab 15 programını kullanarak optimize etmişlerdir. Bu çalışma için alüminyum yüzeyler 10 dk su 10 dk aseton ile olmak üzere iki defa ultrasonik banyoda temizlenmiştir. Ardından oda sıcaklığında kurutulmuştur. Homojen bir çözelti elde etmek için PVDF 50 °C'de dimetil formamid içinde 1 saat boyunca karıştırarak çözündürülmüştür. Ardından ZnO' nun 0.5, 1 ve 1.5 g miktarları hekzan ve stearik asit karışım çözeltisine 30 °C' de ayrı ayrı ilave edilmiştir. Bu çözelti daha önce hazırlanan PVDF çözeltisine ilave edilmiştir. Elde edilen bu çözelti alüminyum yüzey üzerine sprey kaplama yöntemi kullanılarak uygulanmıştır. Karakterizasyon çalışmaları için SEM, FTIR ve temas açı analizleri yapılmıştır. Farklı büyütmelerde yapılan SEM ölçümlerinde, süngerimsi bir görünümde mikro yapıların olduğu görülmüştür. FTIR analizi ölçümlerinde, 1410 – 1070 cm^{-1} olan bölge absorpsiyon bölgesi ve PVDF' in kristalleşmesi 3025 – 2985 cm^{-1} olan bölgede tespit edilmiştir. Temas açısı ölçümlerinde ise 159°'' lik bir açı elde edilmiş ve yapının süperhidrofobik olduğu görülmüştür. Bu çalışmayı optimize etmek için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Minitab 15 programından yararlanarak L9 ortogonal düzende deney matrisi oluşturulmuştur. Bunun için 4 faktör belirlenmiştir. Bu faktörler; sprey kaplama püskürtme mesafesi (25, 30 ve 35 cm), ZnO oranı (0.5, 1 ve 1.5 g), PVDF oranı (2.5, 3,75 ve 5 g) ve stearik asit (0.15, 0.25 ve 0.35 g)' dir. Yapılan deneysel çalışmada en iyi sonuç, ZnO (1.5 g), PVDF (5 g), püskürtme mesafesi (35 cm) ve stearik asit (0.25 g) şeklinde bulunmuştur. Hangi faktörün en çok etki ettiğini tespit etmek için yapılan ANOVA analizinde ZnO' nun en büyük etkiyi gösterdiği tespit edilmiştir. Bu çalışmanın % 95 oranında başarılı olduğu saptanmış olup, Taguchi deney tasarım metodunun bu çalışma için uygun olduğu belirtilmiştir (Mohamed vd., 2014).

Poorebrahimi ve Norouzbeigi yapmış oldukları çalışmada, daldırma yöntemi kullanarak alüminyum folyo üzerine süperhidrofobik bir yüzey oluşturmuşlardır. Bu çalışmanın optimize edilmesinde deneysel tasarım yöntemlerinden bir tanesi olan Taguchi sistemi kullanılmıştır. Öncelikle, 1200 numaralı zımpara kağıdı ile alüminyum yüzey zımparalanmıştır. Ardından aseton ile ultrasonik banyoda 10 dk temizlenmiştir. Ardından aşındırma işlemi için, alüminyum

folyo 1 mL 1 M HCI, 1 ml 1 M HNO_3 ve 48 ml sudan oluşan 50 mL' lik bir çözeltiye 5 s süreyle daldırılmış ve ultrasonik banyoda deiyonize su ile yıkanmıştır. Modifikasyon işlemi için, 50 mM alüminyum nitrat ve 38,5 mM amonyak homojen bir çözelti oluncaya kadar karıştırılmıştır. Alüminyum folyo 70°C' de 5 saat boyunca bu çözeltiye daldırılmıştır. Ardından elde edilen numuneler deiyonize su ile temizlenmiş ve kurutulmuştur. Son aşamada alüminyum folyo 2 mM derişimindeki stearik asitin etanollü çözeletisine 50 °C' de 12 saat daldırılmıştır. Ardından etanolle 2 defa yıkanmış ve kurutulmuştur. Elde edilen yüzeylerin morfolojik özellikleri SEM analizi ile tespit edilmiştir. Bu analizle, yüzeyde yaprak benzeri mikro çıkıntıların olduğu görülmüştür. Yapılan XRD analizinde, belirli açılarda elde edilen piklerin keskinliği ve yoğunluğu kristalize olmuş iyi bir fazın olduğunu göstermiştir. FTIR analizinde ise, modifikasyon işleminden sonra 2848 - 2916 cm^{-1} olan bölgede absorpsiyon pikleri görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğünün tespiti için AFM analizi yapılmıştır. Bu analizde, numunelerin yüzeylerinin çok düzenli olmadığı ve film yüzeyinde girinti ve çukurların olduğu tespit edilmiştir. Son olarak yapılan temas açısı ölçümlerinde en yüksek açı 164.4° olarak elde edilmiştir. Yapılan bu çalışmaların daha kısa sürede ve daha ekonomik olarak yapılması için deneysel tasarım yöntemlerinden bir tanesi olan Taguchi sisteminden yararlanılmıştır. Bunun için, L_{16} ortogonal deney matrisinden yararlanılmıştır. Bu matris 6 faktörlü ve 4 seviyeli olmak üzere tasarlanmıştır. Bu faktörler; amonyak/Al^{-3} oranı (0.77, 1.54, 5.19, 7.79), yüzey tipi değiştirici çözelti derişimi (2, 5, 10, 15 mM), reaksiyon zamanı (5, 10, 15, 20 saat), modifikasyon süresi (12, 24, 40, 48 saat), reaksiyon sıcaklığı (70, 90 °C), yüzey tipi değiştirici (palmitik asit, stearik asit) şeklinde düzenlenmiştir. En iyi sonuçlar; amonyak/Al^{-3} oranı 7.79, yüzey tipi değiştirici çözelti derişimi 5 mM, reaksiyon zamanı 20 saat, modifikasyon süresi 40 saat, reaksiyon sıcaklığı 90 °C, yüzey tipi değiştirici stearik asit olarak bulunmuştur. Faktörlerin birbiri arasındaki etki değerleri ANOVA analizi ile tespit edilmiştir. Buna göre, en büyük etkiyi % 32.45 ile amonyak/Al^{-3} oranı, en az etkiyi ise % 0.975 ile reaksiyon sıcaklığının yaptığı görülmüştür (Poorebrahimi ve Norouzbeigi, 2015).

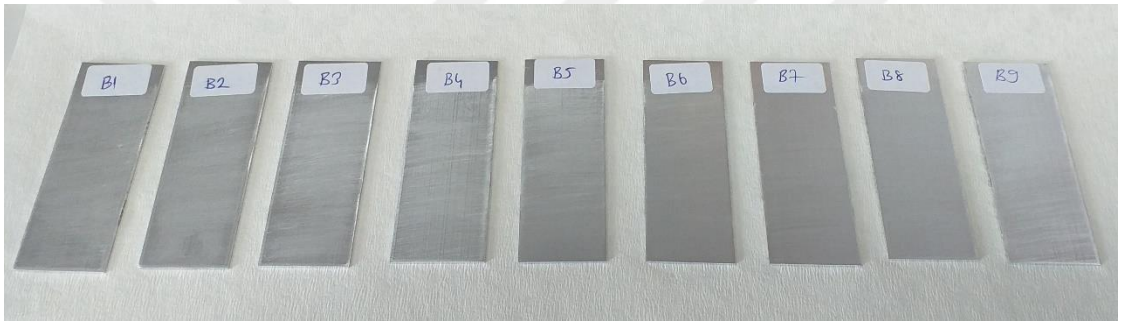
Zalnezhad ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, polimer yüzeyler üzerine süperhidrofobik yapıların elde edilmesini incelemişlerdir. Bu çalışmada polimer malzeme olarak plastikleştirilmemiş polivinil klorür kullanılmıştır. Öncelikle 6 g nanosilika, 22 ml propanol ve 70 ml saf sudan oluşan bir çözelti hazırlanmıştır ve 500 rpm'de belirli süre karıştırılmıştır. Ardından hazırlanan bu çözeltiye 1 mL dimetildiklorosilan ilave edilmiştir. Her biri 1 dk aralıkta olmak üzere dimetildiklorosilandan 2 defa daha ilave edilmiştir. Elde edilen çözelti 40 °C' de 30 dk boyunca karıştırılmıştır. Daha sonra oda sıcaklığı şartlarına kadar

soğutulan çözelti üzerine 75 mL toluen ilave edilmiş ve 600 °C' de 10 dk karıştırılmıştır. Son olarak elde edilen karışım distile su ile yıkanmıştır. Toluen fazında kalmış olan nanosilikalar karışımdan alınmış ve 130 °C' deki vakumlu fırında 24 saat kurutulmuş ve ardından öğütülmüştür. Böylelikle nanosilikalar üretilmiştir. Daha sonra sıcak pres makinesi kullanılarak belirli boyutlarda plastikleştirilmemiş polivinil klorür hazırlanmış ve etanolle ultrasonik banyoda temizlenmiştir. Ardından 0.1 g termopoliüretan 40 ml dimetilformamid içinde çözülmüş ve 40 °C' de 40 dk boyunca 500 rpm' de karıştırılmıştır. Elde edilen bu çözelti plastikleştirilmemiş polivinil klorür üzerine 5 s boyunca 400 rpm hızında döndürülerek kaplanmıştır. Ardından, elde edilen öğütülmüş olan nanosilikalar, termopoliüretan ile kaplanmış plastikleştirilmemiş polivinil klorür üzerine döndürülerek kaplanmış ve sıcak olarak preslenmiştir. Elde edilen yüzeyler için yapılan AFM ve SEM analizlerinde genel olarak düzgün bir yüzey yapısına sahip olmakla birlikte nano ölçekte pürüzlülüklerin olduğu tespit edilmiştir. Üzerindeki kaplamanın dayanıklılığı için soyma testi yapılmıştır. Temas açı ölçümlerinde en iyi sonuç 156.7° olmuştur. Yapılan bu çalışmalar Taguchi deney tasarımında optimize edilmiştir. Bunun için L16 ortogonal sistemde çalışma yapılmıştır ve bunun için 6 faktörlü bir deney tasarımı planlanmıştır. Bu faktörler; nanosilika derişimi (5, 10,15, 20 gL^{-1}), pres sıcaklığı (125, 140, 155, 170°C), döndürme zamanı (5, 10 saat), döndürme hızı (400, 700 rpm), pres basıncı (2, 3 atm), pres süresi (2, 4 dk) şeklinde yapılmıştır. Bu veriler kullanılarak yapılmış olan deneylerin sonuçları taguchi sisteminde optimize edilmiştir ve en iyi sonuç; nanosilika derişimi 10 g L^{-1}, pres sıcaklığı 155 °C, döndürme zamanı 5 saat, döndürme hızı 400 rpm, pres basıncı 2 atm ve pres süresi 4 dk olarak elde edilmiştir. Taguchi sistemiyle deney sayısının önemli ölçüde azaldığı ve birçok parametrenin aynı anda değerlendirildiği görülmüştür (Zalnezhad vd., 2017).

7. MALZEME VE YÖNTEM

7.1. Malzemeler

Deneysel çalışmalarda kaplama yüzeyi olarak 7 cm x 2 cm x 1,5 mm boyutlarında 6063 kod numaralı alüminyum plakalar kullanılmıştır (Şekil 7.1). Alüminyum plakalar, Bilecik 1. Organize Sanayi Bölgesi' nde bulunan Arslan Alüminyum A.Ş. firmasından temin edilmiştir. 6063 alüminyum alaşımın kimyasal bileşimi Tablo 7.1' de verilmiştir (Aydın, vd., 2009). Zımparalama işlemleri için 400, 600 ve 800 zımpara kağıtları kullanılmıştır. Aşındırma işlemleri için hidroklorik asit (HCI - %37'lik, Merck), sodyum hidroksit (NaOH - %97'lik, Merck) ve asetik asit (CH_3COOH - %99,8'lik, Sigma-Aldrich)kullanılmıştır. Modifikasyon için dodesiltrietoksisilan ($C_{18}H_{40}O_3Si$ - (%99,8'lik, Sigma-Aldrich) ve palmitik asit ($C_{16}H_{32}O_2$ - %99'lık, Sigma-Aldrich) kullanılmıştır. Etil alkol (%99,5'lik) Sigma-Aldrich' ten temin edilmiştir.



Şekil 7.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Alüminyum Plakalar

Tablo 7.1. 6063 Alüminyum Alaşımın Kimyasal Bileşimi

AA 6063 Al-Alaşımın Kimyasal Bileşimi (ağırlıkça %)								
Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Zn	Cr	Diğer Elementler	
							Herbiri	Toplam
0,10	0,35	0,45-0,90	0,10	0,20-0,60	0,10	0,10	0,05	0,15

Kaynak: (Aydın, vd., 2009:10).

7.2. Yöntem

7.2.1. Taguchi Deney Tasarımı

Yapılan çalışmada Taguchi deney tasarım tekniği kullanılmıştır. Deney tasarımı için Minitab 18 programı kullanılmıştır. Burada, süperhidrofobik özelliğe sahip alüminyum yüzeylerin elde edilmesi için zımparalama, aşındırma ve modifikasyon aşamalarını içeren bir deneysel planlama yapılmıştır. Kıyaslama yapabilmek amacıyla aşındırma basamağı için, sadece asit ile aşındırma ve baz + asit ile aşındırma olarak iki farklı şekilde çalışmalar yapılmış

ve bu farklı aşındırmaların modifikasyonları da farklı malzemelerle yapılmıştır. Buna göre; öncelikle bu 2 farklı çalışma için faktör ve seviyeler belirlenmiştir.

Asit aşındırma kullanılarak yapılan kaplama çalışmalarında, zımparalamada 400, 600 ve 800' lük zımpara kağıtları ile zımparalama, aşındırmada 4 M HCI ile 2, 4 ve 6 dk muamele ve modifikasyonda 0.01M dodesiltrietoksisilan ile 8, 16 ve 24 saat muamele olacak şekilde 3 faktör ve 3 seviye belirlenmiş ve L_9 ortogonal dizin kullanılmıştır. Tablo 7.2' de asit aşındırma ile yapılan çalışmalara ait faktör ve seviyeler yer almaktadır. Tablo 7.3' te ise; faktör ve seviyelerin uygun ortogonal dizine yerleştirilmesi gösterilmiştir.

Tablo 7.2. Asit Aşındırma İşlemini İçeren Çalışma İçin Faktör ve Seviyeler

Seviye/Faktör	**Zımpara (A)**	**4 M HCI ile aşındırma (dk) (B)**	**10 mM (0.01M) dodesiltrietoksisilan ile modifikasyon (saat) (C)**
Seviye 1	400	2	8
Seviye 2	600	4	16
Seviye 3	800	6	24

Tablo 7.3. Asit Aşındırma İşlemini İçeren Çalışma İçin Faktör ve Seviyelerin L_9 (3^3) Ortogonal Dizine Yerleştirilmesi

Deney No	**Zımpara (A)**	**4 M HCI aşındırma (dk) (B)**	**10 mM (0.01M) dodesiltrietoksisilan ile modifikasyon (saat) (C)**
1	400	2	8
2	400	4	16
3	400	6	24
4	600	2	16
5	600	4	24
6	600	6	8
7	800	2	24
8	800	4	8
9	800	6	16

Baz + asit aşındırma kullanılarak yapılan kaplama çalışmaları için, zımparalamada 400, 600 ve 800' lük zımpara kağıtları ile zımparalama, aşındırmada önce 1 M NaOH ile 10 dk muamele ve ardından 20 ml H_2O: 8 ml HCI: 1 ml CH_3COOH ile 3, 5 ve 10 dk muamele ve modifikasyonda kütlece % 2' lik palmitik asit ile 15, 30 ve 60 dk muamele olacak şekilde 3 faktör ve 3 seviye belirlenmiş ve L_9 ortogonal dizin kullanılmıştır. Tablo 7.4' te baz + asit

aşındırma ile yapılan çalışmalara ait faktör ve seviyeler gösterilmiştir. Ayrıca, faktör ve seviyelerin uygun ortogonal dizine yerleştirilmesi Tablo 7.5' te yer almaktadır.

Tablo 7.4. Baz + Asit Aşındırma İşlemini İçeren Çalışma İçin Faktör ve Seviyeler

Seviye/Faktör	Zımpara (A)	20 ml H_2O: 8 ml HCI: 1 ml CH_3COOH aşındırma (dk) (B)	Kütlece %2' lik palmitik asit ile modifikasyon (dk) (C)
Seviye 1	400	3	15
Seviye 2	600	5	30
Seviye 3	800	10	60

Tablo 7.5. Baz + Asit Aşındırma İşlemini İçeren Çalışma İçin Faktör ve Seviyelerin L_9 (3^3) Ortogonal Dizine Yerleştirilmesi

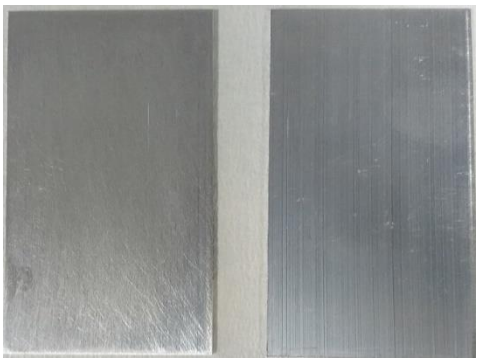
Deney No	Zımpara (A)	20 ml H_2O: 8 ml HCI: 1 ml CH_3COOH aşındırma (dk) (B)	Kütlece %2' lik palmitik asit ile modifikasyon (dk) (C)
1	400	3	15
2	400	5	30
3	400	10	60
4	600	3	30
5	600	5	60
6	600	10	15
7	800	3	60
8	800	5	15
9	800	10	30

Yapılan 2 farklı deney tasarımına göre deneysel çalışmalar yapılarak verilerin değerlendirilmesi için, Taguchi deney tasarımı için deneysel çalışmalarda elde edilen temas açı değerlerini yüksek olarak bulmak istediğimizden dolayı "en büyük en iyi" fonksiyonu kullanılmıştır. Yapılan ANOVA analizi ile faktörlerin etki seviyeleri belirlenmiştir.

7.2.2. Deneysel Çalışmalar

7.2.2.1. Asitle aşındırma işlemini içeren deneysel çalışmalar

Yüzeylerin daha düzgün ve eşit pürüzlülükte olması için alüminyum plakalara, 400, 600 ve 800 numaralı zımpara kağıtları ile zımparalama işlemi yapılmıştır. Plakaların üzerindeki kalıntı ve kirlilikleri uzaklaştırmak için deiyonize su ile ultrasonik banyoda 2 dk yüzeyler temizlenmiş ve ardından oda sıcaklığında 1 saat kurutulmuştur. Zımpara yapılmış ve yapılmamış alüminyum plakalar Şekil 7.2' de gösterilmiştir.



(a) **(b)**

Şekil 7.2. (a) Zımpara Yapılan Alüminyum Yüzey, **(b)** Zımpara Yapılmayan Alüminyum Yüzey

Temizlenen yüzeylerin aşındırılması için 4 M HCI çözeltisi hazırlanmış ve Taguchi sisteminde elde edilen ortogonal düzene uygun şekilde, plakalara 2, 4 ve 6 dk daldırma işlemi uygulanmıştır (Şekil 7.3). Aşındırma işleminden sonra plakalar ultrasonik su banyosunda yaklaşık 10 dk süre ile temizlenmiş ve oda sıcaklığında 1 saat kurutulmuştur.



Şekil 7.3. Asit Aşındırma İşlemi

Modifikasyon işlemi için 10 mM (0,01 M) derişimde dodesiltrietoksisilanın etanollü çözeltisi hazırlanmış ve Taguchi sisteminde elde edilen ortogonal düzene göre, 8, 16 ve 24 saat daldırma işlemi uygulanmıştır (Şekil 7.4). Modifikasyon işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen numuneler etanol ile yıkanmış ve 150 °C' de 5 dk kürleme işlemi yapılmıştır. Süperhidrofobik kaplama uygulanan alüminyum yüzeyler bu şekilde elde edilmiştir.



Şekil 7.4. Asit Aşındırma Yapılan Alüminyum Plakalar İçin Modifikasyon İşlemi

7.2.2.2. Ardışık baz + asit aşındırma işlemini içeren deneysel çalışmalar

Asit aşındırma ile yapılan çalışmada olduğu gibi, düzgün ve eşit pürüzlülükte yüzeyler elde edebilmek için alüminyum plakalara, 400, 600 ve 800 numaralı zımpara kağıtları ile zımparalama işlemi yapılmıştır. Üzerlerindeki kalıntı ve kirliliklerin uzaklaştırılması için alüminyum plakalar deiyonize su ile ultrasonik banyoda 2 dk temizlenmiş ve oda sıcaklığında 1 saat kurutulmuştur.

Aşındırma işlemi için, 1 M NaOH çözeltisi hazırlanmış ve alüminyum plakalar 10 dk çözelti içine daldırılmıştır. Ardından plakalar deiyonize su ile ultrasonik banyoda yaklaşık 2 dk yıkanmış ve 110 °C' de 10 dk kurutulmuştur. Daha sonra, 20 ml H_2O: 8 ml HCI: 1 ml CH_3COOH oranındaki çözelti oda sıcaklığında hazırlanmıştır. Taguchi sisteminde elde edilen ortogonal düzene uygun şekilde, 3, 5 ve 10 dk daldırma işlemi uygulanmıştır (Şekil 7.5). Alüminyum plakalar deiyonize su ile ultrasonik banyoda yaklaşık 2 dk yıkanmış 110 °C' de 10 dk kurutulmuştur.



Şekil 7.5. Baz + Asit Aşındırma İşlemi

Modifikasyon işlemi için kütlece %2’ lik palmitik asitin etanollü çözeltisi hazırlanmıştır. Çözelti sıcaklığı 70 °C olarak ayarlanmıştır. Hazırlanmış olan bu çözeltilere Taguchi sisteminde elde edilen ortogonal düzene göre, 15, 30 ve 60 dk için daldırma işlemi

uygulanmıştır (Şekil 7.6). Modifikasyon işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen numuneler bekletilmeden etanol ile yıkanmıştır ve 80°C' de 30 dk kurutulmuştur. Süperhidrofobik kaplama uygulanan alüminyum yüzeyler bu şekilde elde edilmiştir.



Şekil 7.6. Baz + Asit Aşındırma Yapılan Alüminyum Plakalar İçin Modifikasyon İşlemi

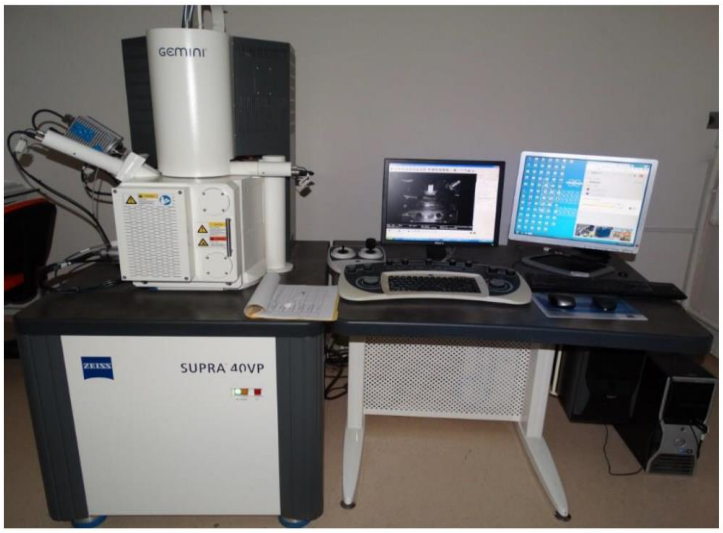
7.3. Karakterizasyon

Kaplanan yüzeylerin süperhidrofobik karakterini belirlemek için Biolin Scientific Attension – Theta Lite temas açı ölçer cihazı ile 4 µL Merck su kullanılarak yüzeylerin temas açı değerleri belirlenmiştir. Ölçümler farklı bölgelerden olmak üzere 3 tekrarlı olarak yapılmıştır. Temas açı ölçümleri için kullanılan cihaz Şekil 7.7' de gösterilmiştir.



Şekil 7.7. Temas Açısı Ölçüm Cihazı

Kaplanan yüzeylerin yüzey morfolojisi ve mikro/nano yapıları Zeıss Supra 40 VP marka Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM - EDX) ile incelenmiştir (Şekil 7.8).



Şekil 7.8. SEM-EDX Cihazı

Alüminyum yüzeyler üzerinde elde edilen kaplamaların kalınlığı Fischer MP0 cihazı ile ölçülmüştür ve kullanılan cihaz Şekil 7.9' da gösterilmiştir. Kaplama kalınlığı ölçümleri "µm" cinsinden 3 tekrar şeklinde yapılmış ve ortalamaları alınmıştır.



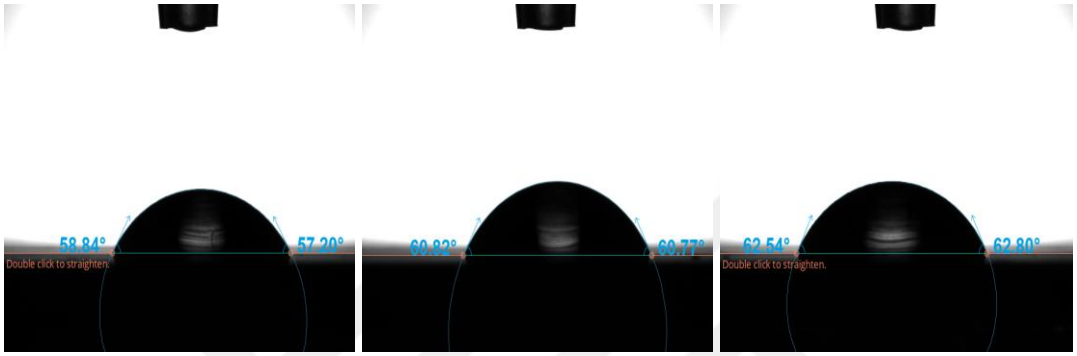
Şekil 7.9. Kaplama Kalınlık Ölçer Cihazı

8. BULGULAR VE TARTIŞMA

8.1. Karakterizasyon

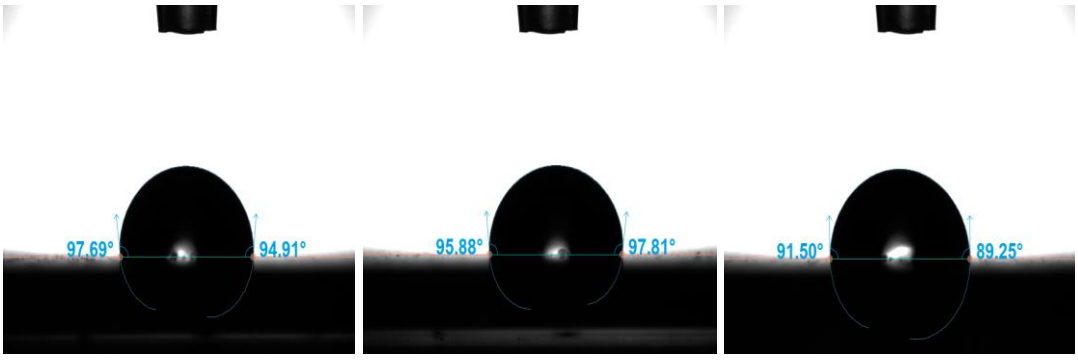
8.1.1. Temas Açı Ölçümü

Alüminyum plakaların yüzeylerinin ıslanabilirlik durumunu incelemek için hiçbir işlem yapılmadan önce, zımparalandıktan sonra ve kaplama yapıldıktan sonra yüzeylerin temas açı ölçümleri yapılmıştır. Hiçbir işlem görmemiş alüminyum plaka için alınan 3 temas açı ölçümü Şekil 8.1' de gösterilmiştir. Yapılan ölçümlere hiçbir işlem yapılmamış saf alüminyum plakanın ortalama temas açısı değeri 60° olarak belirlenmiştir.

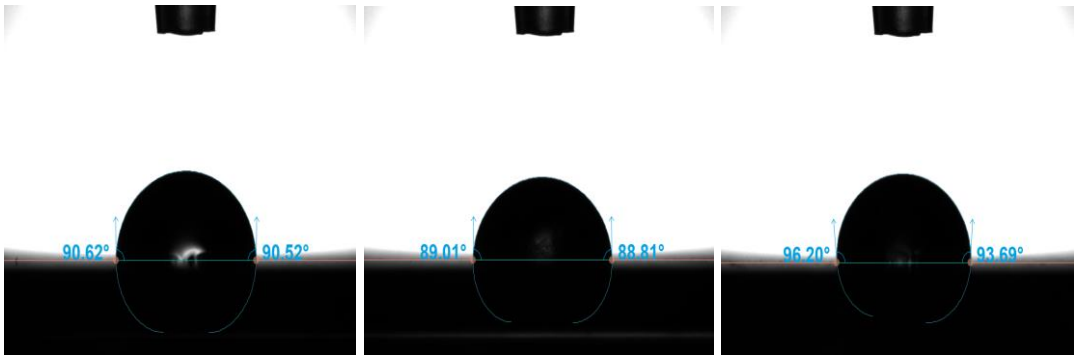


Şekil 8.1. İşlem Görmemiş Alüminyum Plakanın Temas Açı Ölçümleri

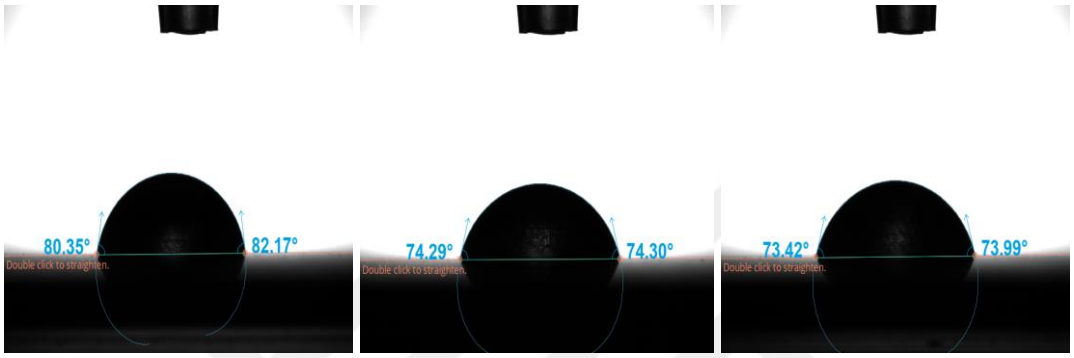
Alüminyum plakaların zımparalama işlemi yapıldıktan sonra ölçülen temas açıları Şekil 8.2' de gösterilmiştir. 400, 600 ve 800' lük zımpara kağıtları ile zımparalanan alüminyum yüzeylerin herbiri için alınan 3 temas açı ölçümü sırasıyla Şekil 8.2 (a), (b) ve (c)' de yer almaktadır. Buna göre; 400, 600 ve 800' lük zımpara kağıtları ile zımparalanan yüzeylerin ortalama temas açı değerleri sırasıyla 94°, 91° ve 75° olarak belirlenmiştir.



(a)



(b)

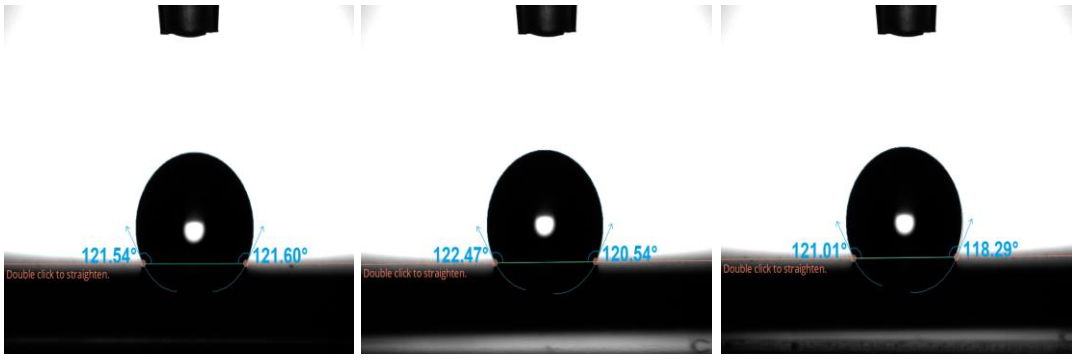


(c)

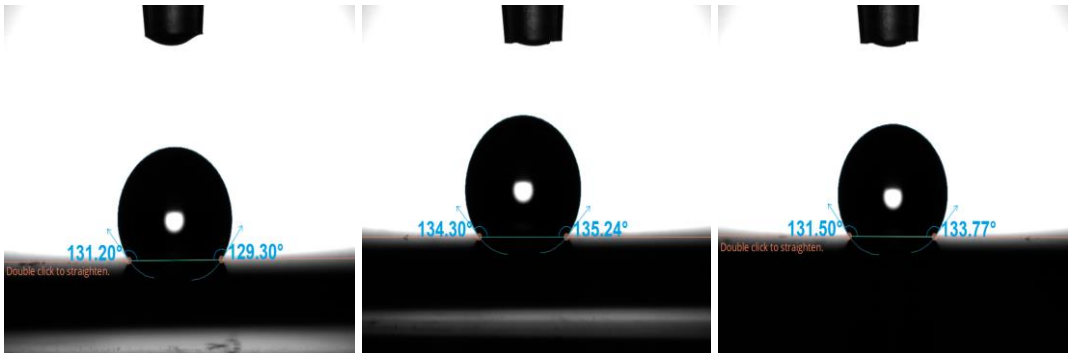
Şekil 8.2. (a) 400, **(b)** 600 ve **(c)** 800’ lük Zımpara Kağıtları İle Zımparalama Yapılan Alüminyum Plakaların Temas Açı Ölçümleri

Şekil 8.2 (a), (b) ve (c)’ ye göre; 400, 600 ve 800’ lük zımpara kağıtları ile zımparalanan yüzeylerin ortalama temas açı değerleri sırasıyla 94°, 91° ve 75° olarak belirlenmiştir. Zımpara kağıdının numarası büyüdükçe ölçülen temas açı değerinin azaldığı görülmüştür.

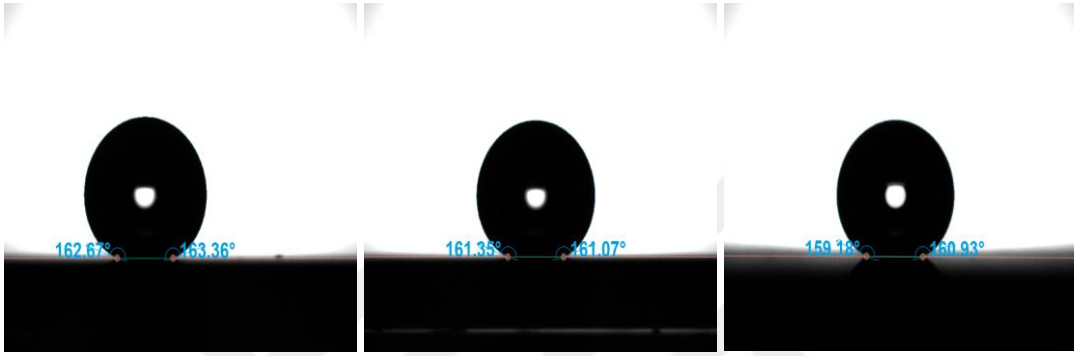
Taguchi deney tasarımına göre, asit aşındırma uygulanan 9 deneysel çalışmada elde edilen alüminyum yüzeyler için alınan 3’ er temas açı ölçümleri Şekil 8.3’ te yer almaktadır.



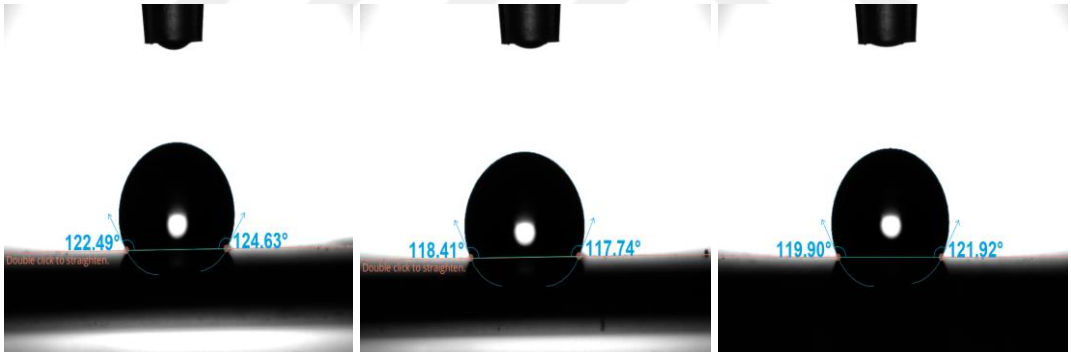
(a)


131.20°
129.30°
Double click to straighten.
134.30°
135.24°
131.50°
133.77°
Double click to straighten.

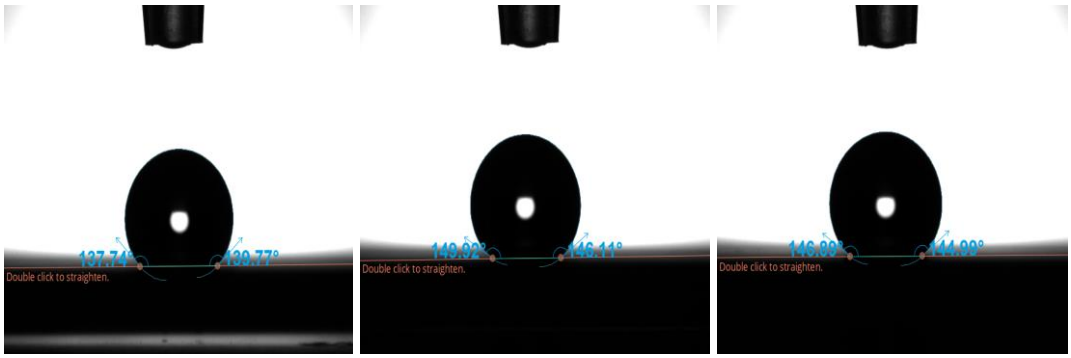
(b)


162.67°
163.36°
161.35°
161.07°
159.18°
160.93°

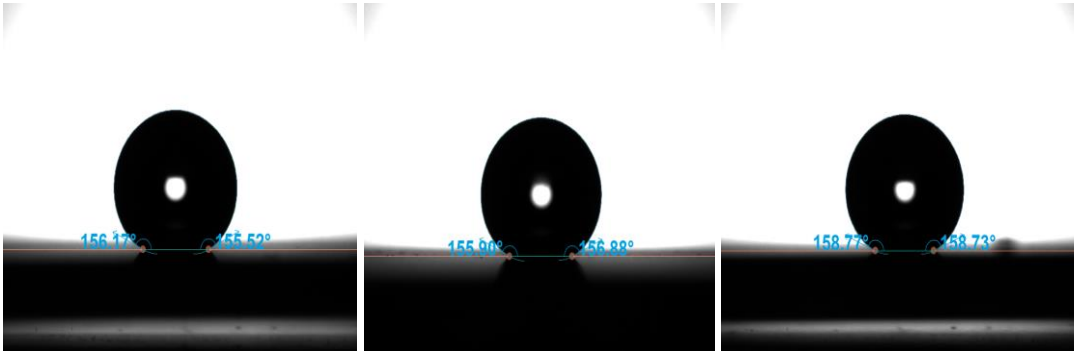
(c)


122.49°
124.63°
Double click to straighten.
118.41°
117.74°
Double click to straighten.
119.90°
121.92°

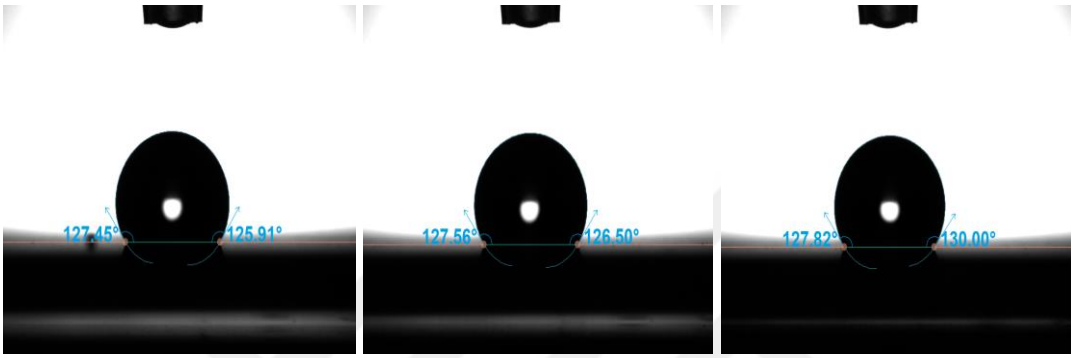
(d)


137.74°
139.77°
Double click to straighten.
149.02°
146.11°
Double click to straighten.
146.09°
141.09°
Double click to straighten.

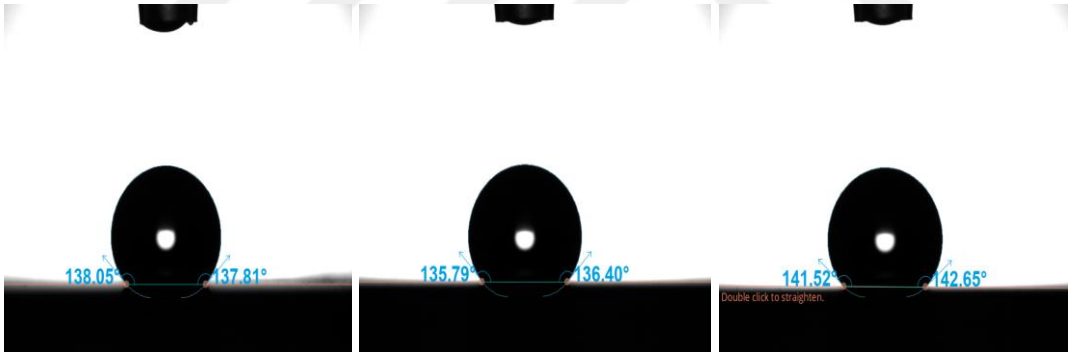
(e)


156.17°
155.52°
155.90°
156.88°
158.77°
158.73°

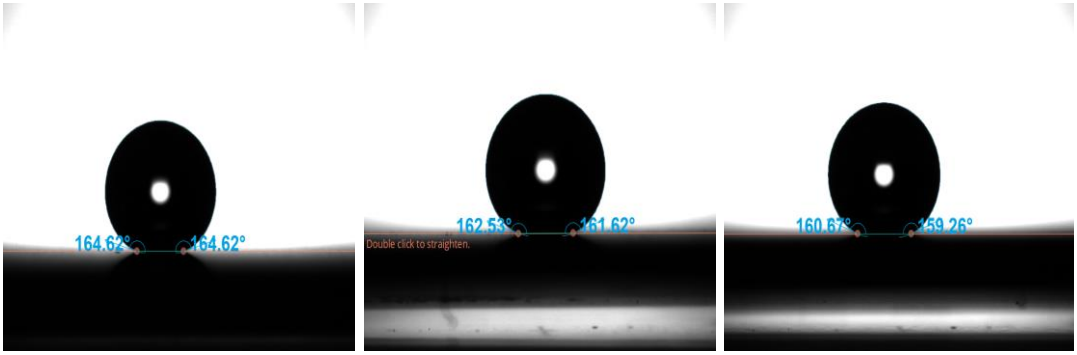
(f)


127.45°
125.91°
127.56°
126.50°
127.82°
130.00°

(g)


138.05°
137.81°
135.79°
136.40°
141.52°
142.65°
Double click to straighten.

(h)

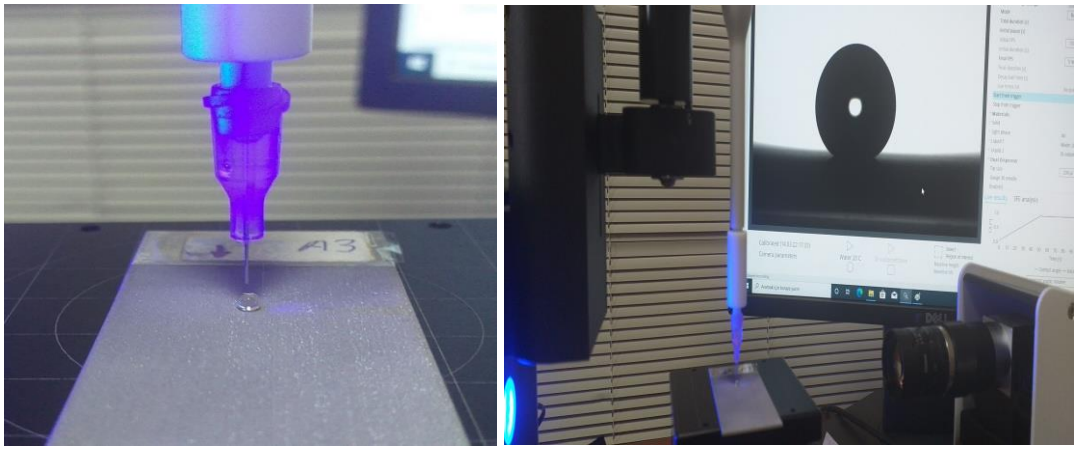


(ı)

Şekil 8.3. Asit Aşındırma Uygulanan **(a)** Deney 1, **(b)** Deney 2, **(c)** Deney 3, **(d)** Deney 4, **(e)** Deney 5, **(f)** Deney 6, **(g)** Deney 7, **(h)** Deney 8, **(ı)** Deney 9 İçin Temas Açı Ölçümleri

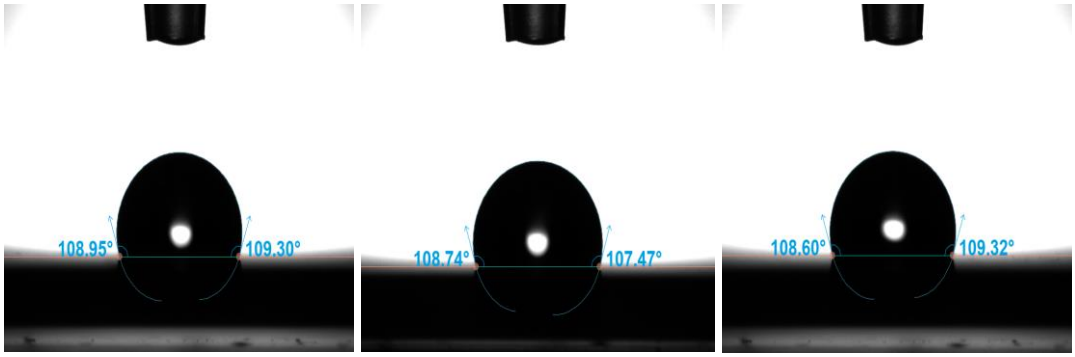
Şekil 8.3' te görüldüğü gibi, asit aşındırma uygulanan, Taguchi deney sistemine göre (a) Deney 1, (b) Deney 2, (c) Deney 3, (d) Deney 4, (e) Deney 5, (f) Deney 6, (g) Deney 7, (h) Deney 8, (ı) Deney 9 için ortalama temas açı değerleri sırasıyla 121°, 133°, 161°, 121°, 144°, 157°, 128°, 138°, 162° olarak belirlenmiştir. Temas açı sonuçlarına göre; süperhidrofobik karakteri tanımlamada gerekli olan 150° ve üzeri temas açı değerinin Deney 3, 6 ve 9 için elde edildiği görülmektedir.

Şekil 8.4' te ise; asit aşındırma yapılarak kaplanan ve süperhidrofobik özellik elde edilen bir alüminyum plakanın üzerinde damlatılan suyun yüzeydeki görüntüsü verilmiştir. Şekil 8.4' te görüldüğü gibi; yüzeydeki damlanın dağılmadan küresel şeklini koruduğu belirlenmiştir.

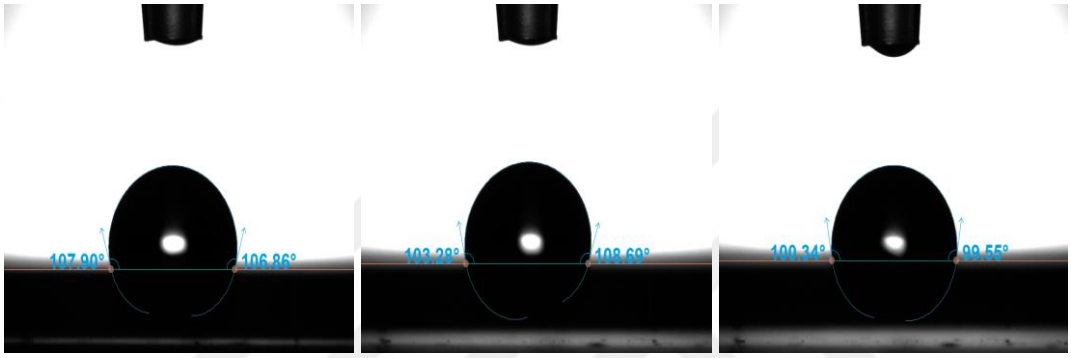


Şekil 8.4. Asit Aşındırma Yapılarak Kaplanan Bir Alüminyum Plakanın Üzerindeki Su Damlasının Görüntüsü

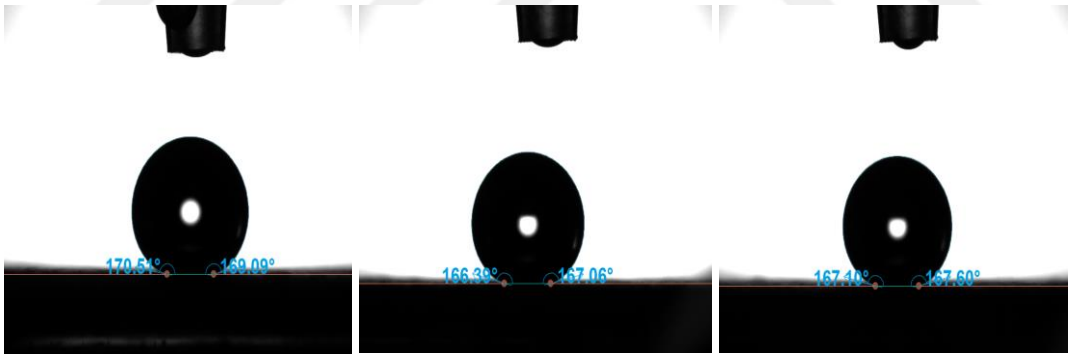
Baz + asit aşındırma uygulanan ve Taguchi deney tasarımına göre yapılan 9 deneysel çalışma sonucunda elde edilen alüminyum yüzeylerin her biri için alınan 3' er temas açı ölçümleri Şekil 8.5' te yer almaktadır.


108.95°
109.30°
108.74°
107.47°
108.60°
109.32°

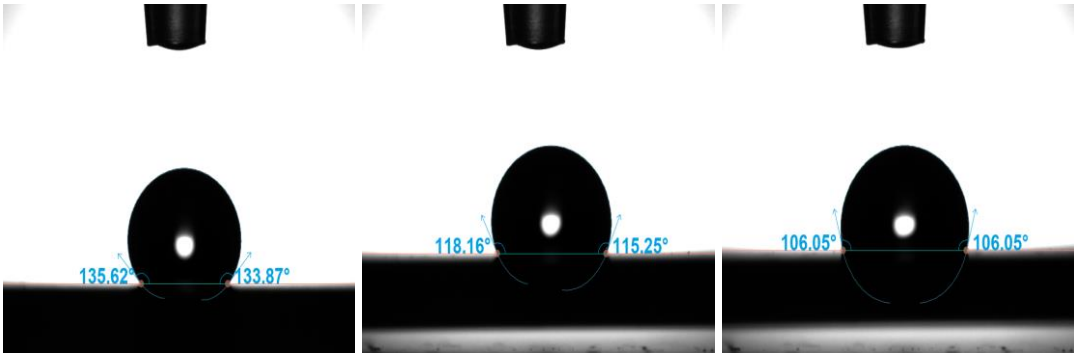
(a)


107.90°
106.86°
103.29°
108.69°
100.34°
99.55°

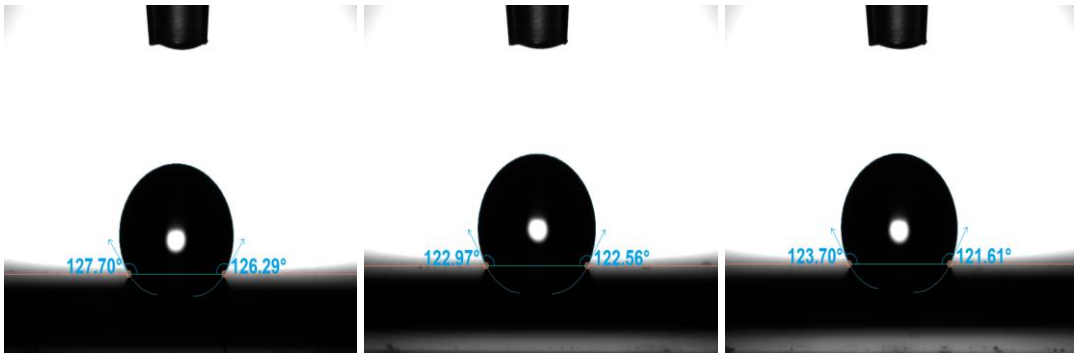
(b)


170.51°
169.09°
166.39°
167.06°
167.10°
167.60°

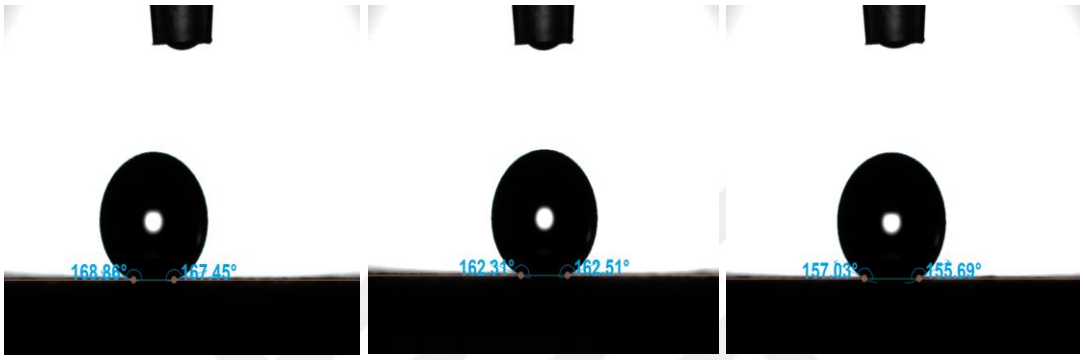
(c)


135.62°
133.87°
118.16°
115.25°
106.05°
106.05°

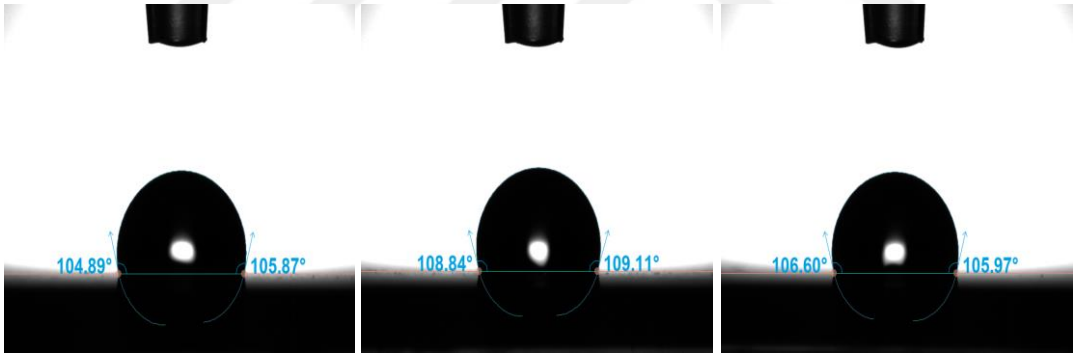
(d)


127.70°
126.29°
122.97°
122.56°
123.70°
121.61°

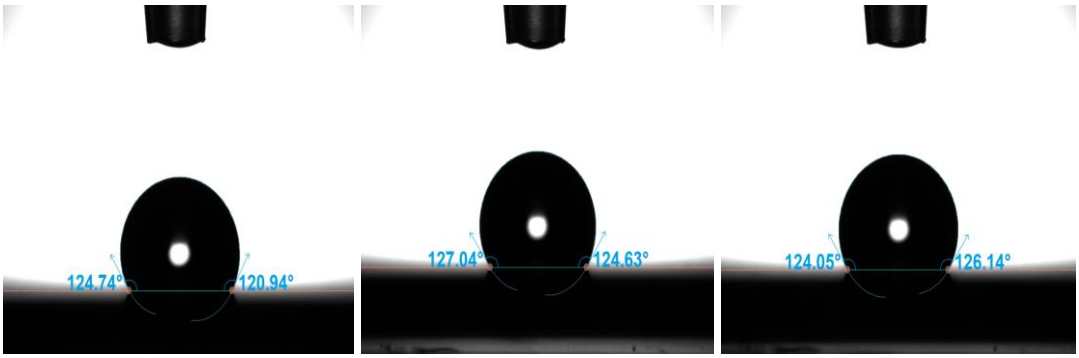
(e)


168.88°
167.45°
162.31°
162.51°
157.03°
155.69°

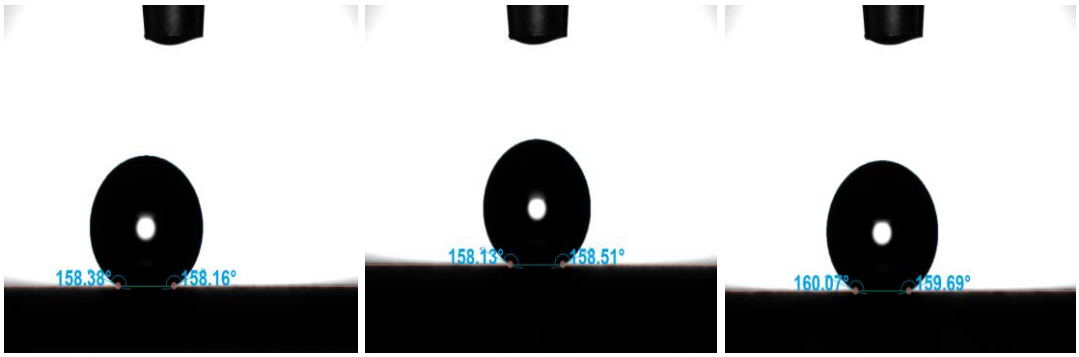
(f)


104.89°
105.87°
108.84°
109.11°
106.60°
105.97°

(g)


124.74°
120.94°
127.04°
124.63°
124.05°
126.14°

(h)

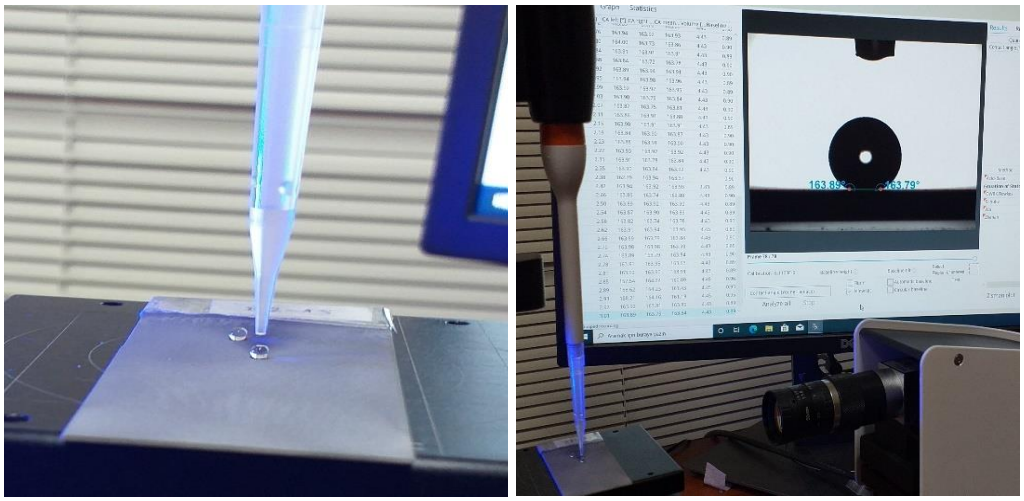


(ı)

Şekil 8.5. Baz + Asit Aşındırma Uygulanan **(a)** Deney 1, **(b)** Deney 2, **(c)** Deney 3, **(d)** Deney 4, **(e)** Deney 5, **(f)** Deney 6, **(g)** Deney 7, **(h)** Deney 8, **(ı)** Deney 9 İçin Temas Açı Ölçümleri

Şekil 8.5' te verildiği gibi, baz + asit aşındırma uygulanan, Taguchi deney sistemine göre yapılan (a) Deney 1, (b) Deney 2, (c) Deney 3, (d) Deney 4, (e) Deney 5, (f) Deney 6, (g) Deney 7, (h) Deney 8, (ı) Deney 9 için ortalama temas açı değerleri sırasıyla 109°, 105°, 168°, 119°, 124°, 162°, 106°, 125°, 158° olarak belirlenmiştir. Temas açı sonuçlarına göre; 150° ve üzeri temas açı değerinin Deney 3, 6 ve 9 için elde edildiği görülmektedir.

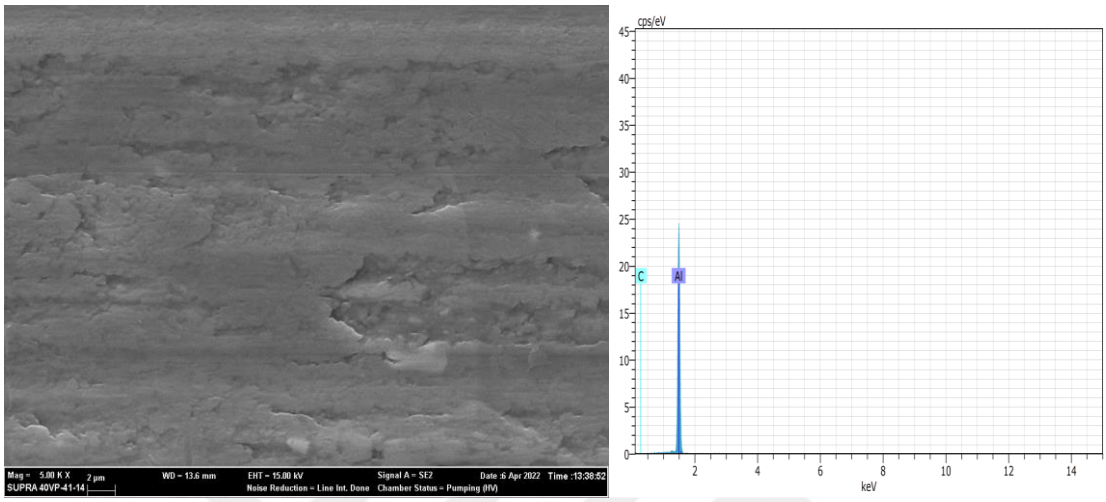
Şekil 8.6' da ise; baz + asit aşındırma yapılarak kaplanan süperhidrofobik özellikteki bir alüminyum plakanın üzerindeki su damlasının görüntüsü yer almaktadır. Şekil 8.6' da görüldüğü gibi; süperhidrofobik yüzeydeki su damlasının dağılmadığı ve küresel şekilde kaldığı belirlenmiştir.



Şekil 8.6. Baz + Asit Aşındırma İle Kaplanan Bir Alüminyum Plakanın Üzerindeki Su Damlasının Görüntüsü

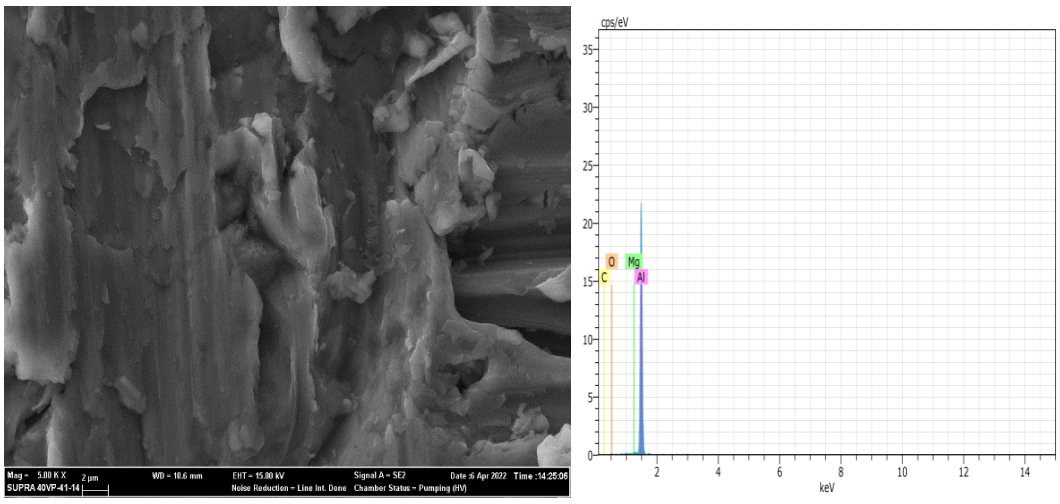
8.1.2. SEM Analizi

İşlem görmemiş, zımparalanmış ve kaplama uygulanarak süperhidrofobik özellik kazandırılan yüzeylerin yüzey morfolojisini incelemek için SEM analizi yapılmıştır. Hiçbir işlem görmemiş bir alüminyum plakanın SEM-EDX analiz görüntüsü Şekil 8.7' de görülmektedir.

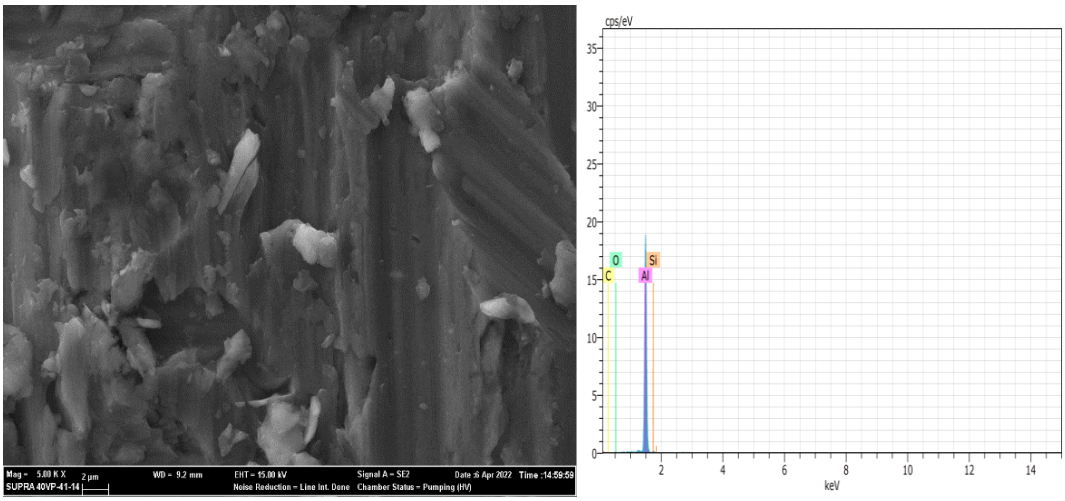


Şekil 8.7. İşlem Görmemiş Bir Alüminyum Plakanın SEM-EDX Analiz Görüntüsü

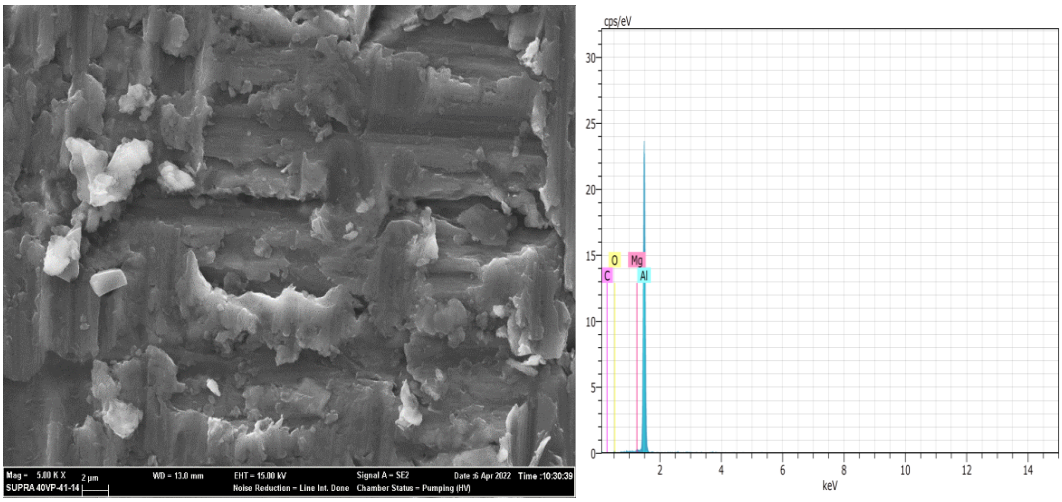
Zımparalama işlemi yapılmış alüminyum plakaların SEM görüntüleri ise Şekil 8.8' de yer almaktadır. 400, 600 ve 800' lük zımpara kağıtları ile zımparalanan alüminyum yüzeylerin SEM-EDX analizleri sırasıyla Şekil 8.8 (a), (b) ve (c)' de verilmiştir.



(a)



(b)

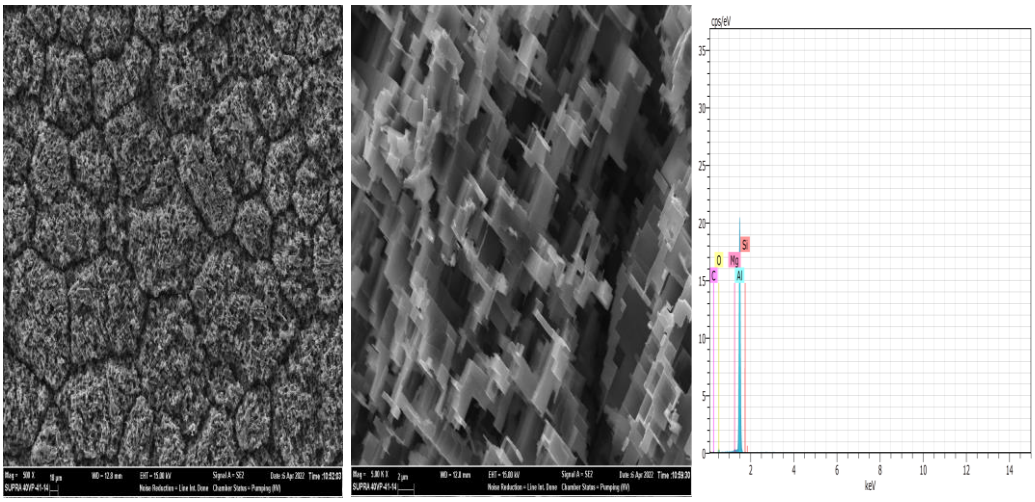


(c)

Şekil 8.8. (a) 400, **(b)** 600 ve **(c)** 800’ lük Zımpara Kağıtları İle Zımparalama Yapılan Alüminyum Plakaların SEM – EDX Görüntüsü

Şekil 8.8’ e göre, düz bir yüzeye sahip olan işlem görmemiş alüminyum plakanın zımparalama işlemleri ile yüzeyinin aşındırıldığı görülmüştür. Ayrıca Şekil 8.8 (a), (b) ve (c)’ de görüldüğü gibi, zımpara kağıdının numarası arttıkça alüminyum plakada var olan çıkıntılı ve tanesel yapıların zımparalama işlemi ile azaltıldığı görülmektedir.

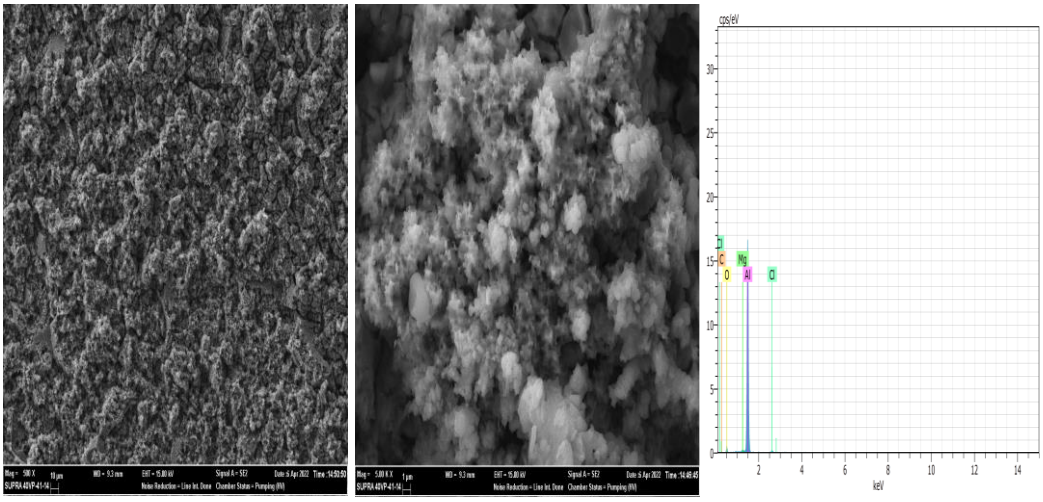
Asit aşındırma uygulanarak kaplanan yüzeylerden en yüksek temas açı değeri olan ortalama 162°’ nin elde edildiği Deney 9 için SEM-EDX analizleri yapılmıştır. Deney 9 uygulanarak süperhidrofobik özellik kazandırılan alüminyum yüzeyin farklı büyütmelerdeki SEM-EDX görüntüsü Şekil 8.9’ da yer almaktadır.



Şekil 8.9. Asit Aşındırma İşlemi İçeren Deney 9 İle Elde Edilen Alüminyum Yüzeylerin SEM - EDX Görüntüsü

Şekil 8.9' da yer alan SEM görüntülerinde, kaplama işlemi yapılan yüzeylerde çok sayıda düzenli çıkıntıların olduğu gözlemlenmiştir. Oluşan bu çıkıntıların yaklaşık 2-4 µm arasında olduğu yine SEM görüntülerinde görülmektedir.

Baz + asit aşındırma işlemi uygulanarak kaplanan yüzeylerden en yüksek temas açı değeri olan ortalama 168°' nin elde edildiği Deney 3 için de SEM-EDX analizleri yapılmıştır. Şekil 8.10' da, Deney 3 uygulanarak süperhidrofobik bir yüzey elde edilen alüminyum plaka için farklı büyütmelerdeki SEM-EDX görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 8.10. Baz + Asit Aşındırma İşlemi İçeren Deney 3 İle Elde Edilen Alüminyum Yüzeylerin SEM - EDX Görüntüsü

Şekil 8.10’ a göre, baz + asit aşındırma işlemi içeren Deney 3 uygulanarak kaplanan yüzeyde çok sayıda mikro/nano boyutta kürelerle birlikte çıkıntı şeklinde yapıların da olduğu görülmüştür. Bu yapıların 0,5 nm ile 2 µm boyutları arasında olduğu gözlemlenmiştir.

8.1.3. Kaplama Kalınlığı Ölçümü

Deneysel çalışmalarda, en yüksek temas açının elde edildiği asit aşındırma içeren Deney 9 ve baz + asit aşındırma içeren Deney 3 ile yüzeyler üzerine uygulanan kaplamaların kalınlıkları ölçülmüştür. Kıyaslama yapabilmek amacıyla işlem görmemiş ve zımparalanmış plakalar için de ölçümler yapılmıştır. Buna göre; söz konusu tüm yüzeyler için ölçülen kaplama kalınlıkları Tablo 8’ de verilmiştir.

Tablo 8.1. Kaplama Kalınlığı Ölçüm Sonuçları

Numune Adı	1.Ölçüm (µm)	2.Ölçüm (µm)	3.Ölçüm (µm)	Ortalama (µm)
İşlem görmemiş alüminyum plaka	1,70	1,50	1,80	1,66
400’ lük zımpara kağıdı ile zımparalanan alüminyum plaka	1,30	1,60	1,80	1,56
600’ lük zımpara kağıdı ile zımparalanan alüminyum plaka	0,72	0,84	1,20	0,92
800’ lük zımpara kağıdı ile zımparalanan alüminyum plaka	0,84	0,96	0,80	0,86
Asit aşındırma içeren Deney 9 ile elde edilen kaplama	13,40	13,70	13,30	13,46
Baz + asit aşındırma içeren Deney 3 ile elde edilen kaplama	12,90	13,70	11,80	12,80

Tablo 8.1’ de yer alan kaplama kalınlığı ölçümlerine göre; işlem görmemiş alüminyum plaka için, yüzey üzerindeki üretimle birlikte oluşan çizikler ve kontrol edilemeyen diğer malzemelerden kaynaklı olarak kaplama kalınlığı ortalama 1,66 µm şeklinde ölçülmüştür. Zımpara işlemi yapılan alüminyum plakalarda, kullanılan zımpara kağıdının numarası büyüdükçe kalınlığın azaldığı görülmüştür. Kaplama uygulanarak en yüksek temas açıların elde edildiği asit ve baz + asit aşındırma uygulanan iki yüzeyin kaplama kalınlıkları sırasıyla ortalama 13,46 µm ve 12,80 µm şeklinde elde edilmiştir. Buna göre; yapılan çalışma ile kaplama uygulanan plakaların ortalama kaplama kalınlıklarının, işlem görmemiş alüminyum plakanın kaplama kalınlığının yaklaşık 8 katı olduğu belirlenmiştir.

8.1.4. Kaplama Reaksiyon Mekanizmaları

8.1.4.1. Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin Reaksiyon Mekanizmaları

Asit aşındırma işlemi uygulanan çalışmalarda, HCl kullanılarak yüzey pürüzlendirilmiştir. Aktif bir metal olan alüminyum asit ortamında kolay bir şekilde pasive olmaktadır. Buna göre; Reaksiyon 8.1, 8.2 ve 8.3' te verildiği gibi alüminyum yüzeyde üç farklı reaksiyon gerçekleşir (Liu vd., 2013):

$$2Al + 6H^+ + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 6H_2 \quad (8.1)$$

$$Al_2O_3 + 6Cl^- + 6H^+ \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2O \quad (8.2)$$

$$2Al + 6Cl^- + 6H^+ \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2 \quad (8.3)$$

Reaksiyonlarda, yüzeyde oyuk oluşumu için halojenür iyonu çok önemlidir. Metal ve alaşım kristal fazında yüksek yüzey enerjisine sahip birçok alan (kristal sınırı, faz sınırı, çizgi kusurları ve nokta kusurları gibi) vardır. Bu alanlar daha kolay aşınır, bu da hiyerarşik kaba içbükey-dışbükey plato yapısıyla sonuçlanır. Metal yüzeyin yeterli pürüzlülüğünün elde edilmesi için aşındırma süresinin değiştirilebildiği bilinmektedir. Ayrıca metal veya alaşım mikro yapısının farklı kimyasalların farklı aşındırıcı etkileri ile ayarlanabilmektedir (Liu vd., 2013).

8.1.4.2. Baz + Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin Reaksiyon Mekanizmaları

Zımpara kağıdı ile zımparalanan alüminyum yüzeylerin mikro pürüzlülüğü NaOH ile artırılmıştır. NaOH, $Al(OH)_4^-$ ve $Al(OH)_3$ üreterek alüminyum üzerindeki pasif geçirimsiz alüminyum hidroksit ve alüminyum oksit tabakasını reaksiyona sokar ve yüzeyde koni benzeri mikro özellikler oluşturur. İlgili reaksiyonlar Reaksiyon 8.4, 8.5 ve 8.6' da yer almaktadır (Esmaeilirad, vd. 2016):

$$2Al + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3 + 3H_2 \quad (8.4)$$

$$Al(OH)_3 + NaOH \rightarrow Na^+ + [Al(OH)_4]^- \quad (8.5)$$

$$Al_2O_3 + 2NaOH + 3H_2O \rightarrow 2Na^+ + 2[Al(OH)_4]^- \quad (8.6)$$

NaOH ile aşındırılan alüminyum yüzeylerde 20 ml H_2O: 8 ml HCI: 1 ml CH_3COOH çözeltisi ile mikro özellikli pürüzlü bir yapı geliştirilmiştir. CH_3COOH' ın yalın alüminyum yüzeylerde etkin olup, alüminyum oksit tabakasını çözemediği bilindiğinden, alüminyumu aşındırarak süperhidrofobik özellik için gerekli olan düzgün pürüzlü yüzeyi elde etmek amacıyla

CH_3COOH ve HCl çözeltisi kullanılmıştır. İlgili reaksiyonlar Reaksiyon 8.7, 8.8 ve 8.9' da verilmiştir (Esmaeilirad, vd. 2016):

$$Al_2O_3 + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 6H_2O \quad (8.7)$$

$$2Al + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2 \quad (8.8)$$

$$2Al + 6CH_3COOH \rightarrow 2Al(CH_3COO)_3 + 3H_2 \quad (8.9)$$

8.2. Taguchi Deney Tasarımı

8.2.1. Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin Deney Tasarımı

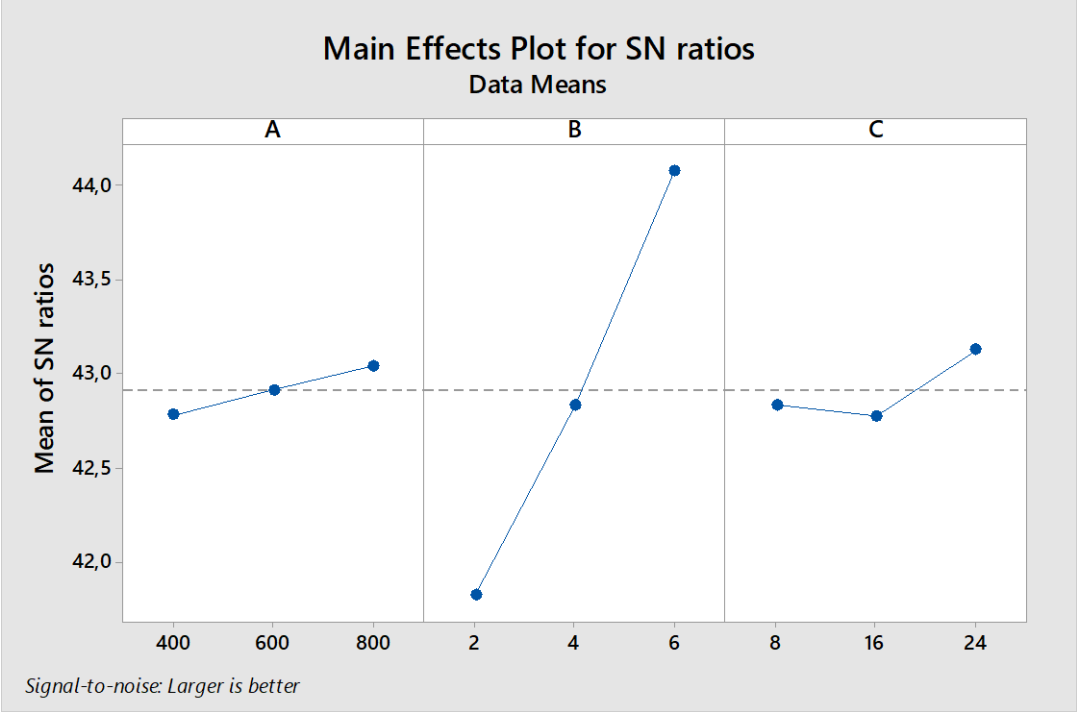
Asit aşındırma işlemi uygulanan çalışmalar için deney tasarımında, Taguchi deney tasarım tekniği kullanılmış ve 3 faktör (A: zımpara, B: aşındırma süresi ve C: modifikasyon süresi) ve her bir faktör için 3 seviye belirlenmiştir. Bu şekilde L_9 ortogonal dizinde yapılan çalışma için, en yüksek temas açı değerinin elde edilmesi hedeflendiğinden "en büyük en iyidir" yaklaşımı kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda 3 tekrarlı olarak elde edilen ve ortalamaları alınan temas açı sonuçları ve buna göre programdan elde edilen S/N oranları Tablo 8.2' de, S/N oranlarının her bir seviye için ortalamaları ise Tablo 8.3' te verilmiştir. Ayrıca, Grafik 8.1 S/N oranları için etkinlik değerlerini göstermektedir.

Tablo 8.2. Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin L_9 Deney Tasarımı ile Temas Açısı ve S/N Değerleri

Deney No	Faktörler			Temas Açısı	S/N (dB)
	A	B	C		
1	400	2	8	122	41,72
2	400	4	16	133	42,47
3	400	6	24	161	44,13
4	600	2	16	121	41,65
5	600	4	24	144	43,16
6	600	6	8	157	43,91
7	800	2	24	128	42,07
8	800	4	8	138	42,86
9	800	6	16	162	44,19

Tablo 8.3. Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin S/N Oranlarının Her Bir Seviye İçin Ortalama Değerleri

Faktörler	Seviye		
	1	2	3
A	42,78	42.91	43,04
B	41,82	42,83	44,08
C	42,84	42,77	43,13



Grafik 8.1. Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalarda S/N Oranlarının İçin Etkisi

Grafik 8.1' de görüldüğü gibi; zımpara faktörünün üçüncü seviyesi olan 800' lük zımpara (A3), aşındırma süresi faktörünün üçüncü seviyesi olan 6 dk (B3) ve modifikasyon süresinin yine üçüncü seviyesi olan 24 saat (C3) değerlerinin bu deney tasarımı için optimum tasarım parametreleri olduğu görülmüştür (A3B3C3).

Deney sonuçları ile elde edilen S/N oranları kullanılarak varyans analizleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre; faktörlerin temas açısı değerleri üzerindeki etkileri tespit edilmiş ve sonuçlar Tablo 8.4' te verilmiştir.

Tablo 8.4. Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin Varyans Analizi

Faktörler	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Ortalama Karelerin Toplamı (Varyans)	Faktör Etkisi (%)	F Testi	P Testi
A	2	24,00	12,00	1,13	1,16	0,463
B	2	2034,67	1017,33	95,52	98,45	0,010
C	2	50,67	25,33	2,38	2,45	0,290
Hata	2	20,67	10,33	0,97		
Toplam	8	2130,00		100,00		

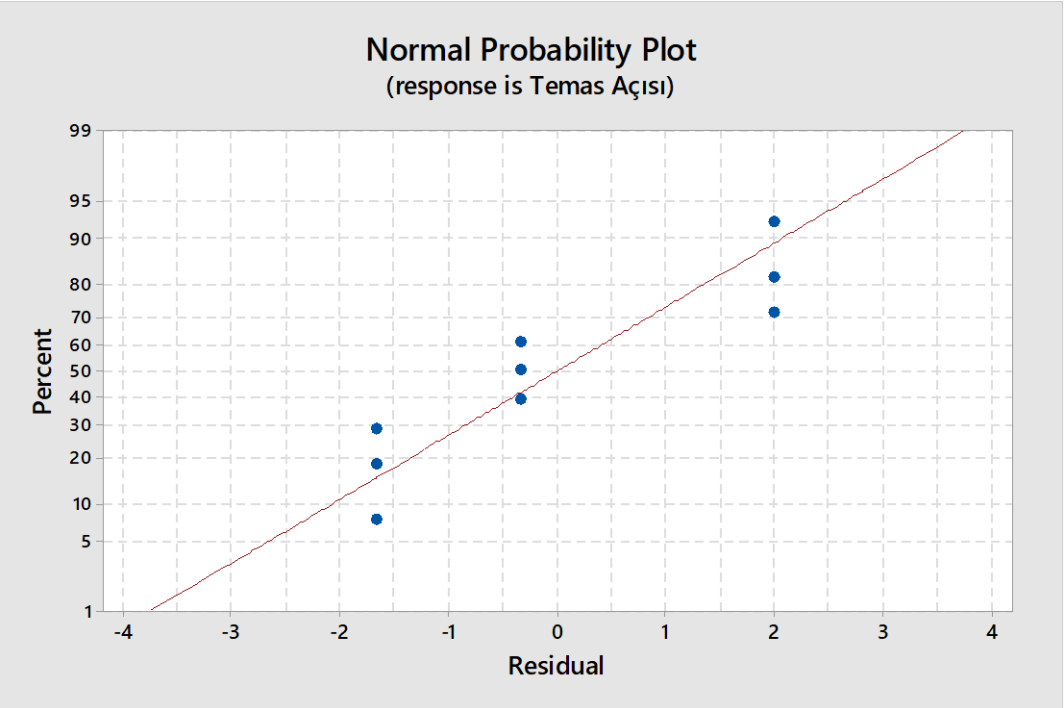
Tablo 8.4' te yer alan F-Testi, her deney faktörünün deney sonuçlarını ne ölçüde etkilediğini gösterir. Buna göre aşındırma süresi en etkin parametre olarak belirlenmiştir. P değeri ise önem/olasılık kavramını ifade eder. Burada % 95 güven aralığı dikkate alınır ve P < 0.05 olan faktör deney için anlamlı olmaktadır. Varyans analizi sonucunda, yaptığımız çalışmada aşındırma süresi (B) faktörünün istatiksel açıdan anlamlı olduğu görülmüştür. Model özeti Tablo 8.5' te verilmiştir.

Tablo 8.5. Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin Model Özeti

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
3,05505	99,11 %	96,46 %	378	82,07 %

(Regresyon denklemi; sonuç= 93,00+0,01000A+9,083B+0,333C)

Varyans analizinden elde edilen sonuçların anlamlı olup olmadığını belirleyebilmek için temas açısına ait normal olasılık diyagramı incelenmiştir (Grafik 8.2). Grafik 8.2' de görüldüğü gibi, temas açısına ilişkin deneysel sonuçlarının dağılımının normal dağılıma uygun olduğu görülmektedir.



Grafik 8.2. Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalarda Normal Olasılık Diyagramı

Taguchi deney tasarım tekniğine göre, optimal sonuçları verecek faktörlerin tahmini ve değerlendirilmesinden sonra, optimizasyonda son aşama olarak doğrulama deneyleri yapılmakta ve optimizasyonun doğruluğu kontrol edilmektedir. Bilinen temas açı sonuçları için rastgele seçilen bir değer ile doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiş olup, doğrulama deney sonuçları Tablo 8.5' te gösterilmiştir. Tablo 8.5' te, doğrulama deneylerinde elde edilen fark ve hata değerlerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 8.6. Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin Doğrulama Deney Sonuçları

A3B3C2	**Taguchi Tahmini**	**Doğrulama Deneyi**	**Mutlak Fark**	**%Mutlak Hata**
S/N Oranı	44,07	44,19	0,12	% 0,27
Temas Açısı	160	162	2	% 1,23

8.2.2. Baz + Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin Deney Tasarımı

Baz + asit aşındırma işlemi uygulanan çalışmalar için kullanılan Taguchi deney tasarım tekniğinde belirlenen 3 faktör (A: zımpara, B: aşındırma süresi ve C: modifikasyon süresi) ve her bir faktör için 3 seviye için L_9 ortogonal dizinde yapılan çalışma için "en büyük en iyidir" yaklaşımı kullanılmıştır. 3 tekrarlı olarak elde edilen ve ortalamaları alınan temas açı sonuçları ve buna göre programdan elde edilen S/N oranları Tablo 8.6' da, S/N oranlarının her

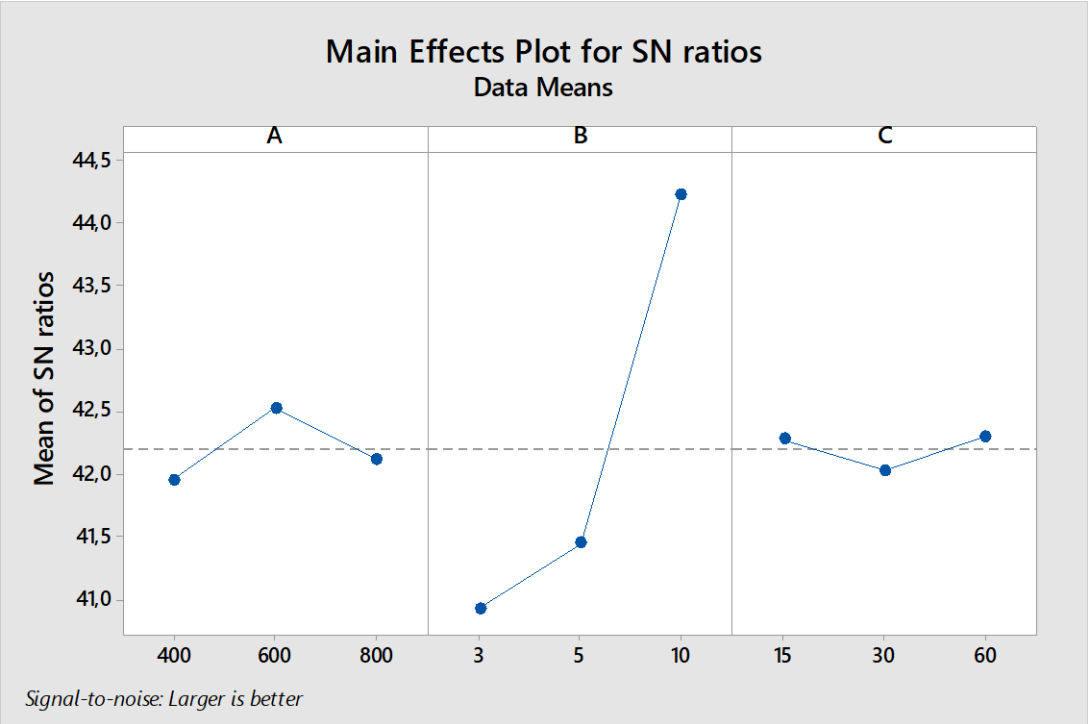
bir seviye için ortalamaları ise Tablo 8.7' de verilmiştir. Ayrıca, Grafik 8.3 S/N oranları için etkinlik değerlerini göstermektedir.

Tablo 8.7. Baz + Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin L_9 Deney Tasarımı ile Temas Açısı ve S/N Değerleri

Deney No	Faktörler			Temas Açısı	S/N (dB)
	A	B	C		
1	400	3	15	109	40,74
2	400	5	30	105	40,58
3	400	10	60	168	44,50
4	600	3	30	119	41,51
5	600	5	60	124	41,86
6	600	10	15	162	44,19
7	800	3	60	106	40,50
8	800	5	15	125	41,86
9	800	10	30	158	43,97

Tablo 8.8. Baz + Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin S/N Oranlarının Her Bir Seviye İçin Ortalama Değerleri

Faktörler	Seviye		
	1	2	3
A	41,95	42.52	42,12
B	40,92	41,44	44,22
C	42,27	42,02	42,29



Grafik 8.3. Baz + Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalarda S/N Oranlarının Etkisi

Grafik 8.3' te görüldüğü gibi; zımpara faktörünün üçüncü seviyesi olan 600' lük zımpara (A2), aşındırma süresi faktörünün üçüncü seviyesi olan 10 dk (B3) ve modifikasyon süresinin üçüncü seviyesi olan 60 dk (C3) değerlerinin bu deney tasarımı için optimum tasarım parametreleri olduğu görülmüştür (A2B3C3).

Elde edilen S/N oranları kullanılarak varyans analizleri yapılmıştır. Buna göre; faktörlerin temas açısı değerleri üzerindeki etkileri tespit edilmiş ve sonuçlar Tablo 8.8' de verilmiştir.

Tablo 8.9. Baz + Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin Varyans Analizi

Faktörler	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Ortalama Karelerin Toplamı (Varyans)	Faktör Etkisi (%)	F Testi	P Testi
A	2	82,89	41,44	1,66	0,38	0,723
B	2	4649,56	2324,78	93,26	21,44	0,045
C	2	36,22	18,11	0,73	0,17	0,857
Hata	2	216,89	108,44	4,35		
Toplam	8	4985,56		100,00		

Tablo 8.8' de yer alan ve faktörlerin sonuçlara etkisini gösteren F-Testine göre, aşındırma süresi (B) en etkin parametre olarak belirlenmiş ve varyans analizi sonucunda,

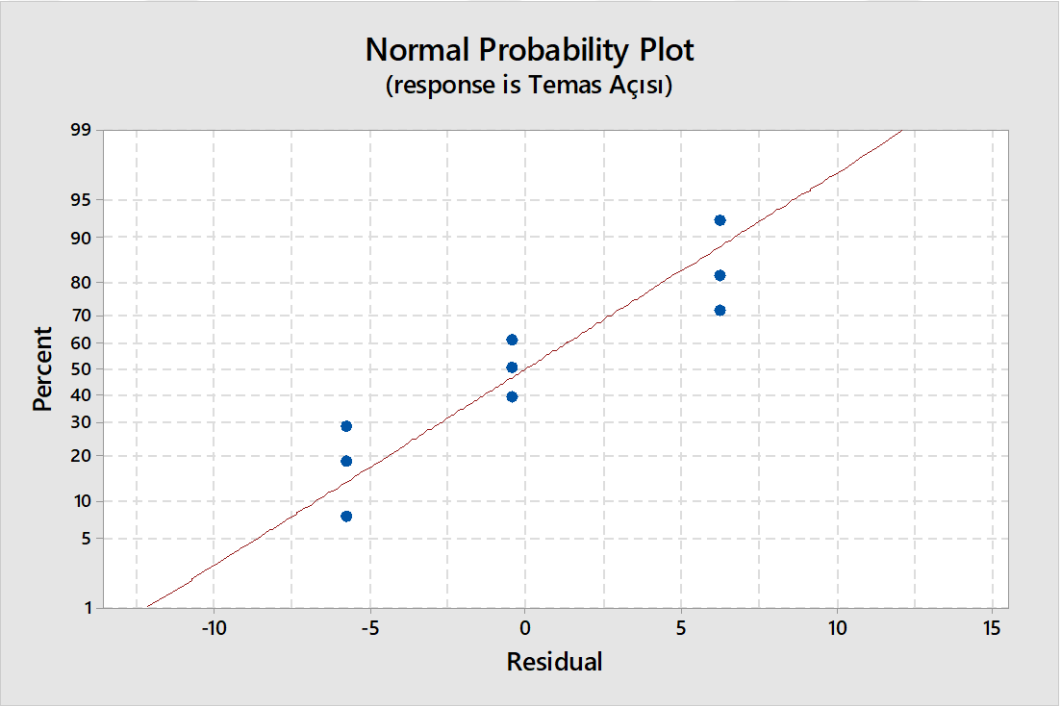
aşındırma süresi için P < 0.05 olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Model özeti Tablo 8.9' da verilmiştir.

Tablo 8.10. Baz + Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin Model Özeti

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
10,4137	95,81 %	83,25 %	4392	15,19 %

(Regresyon denklemi; sonuç= 79,0+0,0058A+7,78B+0,027C)

Varyans analizinden elde edilen sonuçların anlamlılığını belirleyebilmek için temas açısına ait normal olasılık diyagramı incelenmiştir. Grafik 8.4' te görüldüğü gibi, temas açısına ilişkin deneysel sonuçlarının dağılımının normal dağılıma uygun olduğu görülmektedir.



Grafik 8.4. Baz + Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalarda Normal Olasılık Diyagramı

Yapılan deneysel çalışmanın optimizasyonunda son aşama olarak doğrulama deneyleri yapılmakta ve optimizasyonun doğruluğu kontrol edilmektedir. Bilinen temas açı sonuçları için rastgele seçilen bir değer ile doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiş olup, doğrulama deney sonuçları Tablo 8.9' da gösterilmiştir. Tablo 8.9' da, doğrulama deneylerinde elde edilen fark ve hata değerlerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 8.11. Baz + Asit Aşındırma İşlemi Uygulanan Çalışmalar İçin Doğrulama Deney Sonuçları

A1B3C3	**Taguchi Tahmini**	**Doğrulama Deneyi**	**Mutlak Fark**	**%Mutlak Hata**
S/N Oranı	44,03	44,50	0,47	% 1,05
Temas Açısı	161	168	7	% 4,16

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada, alüminyum plakaların yüzeylerine süperhidrofobik kaplamaların elde edilmesi amaçlanmıştır. Kaplama tekniği olarak sol-jel kaplama yöntemlerinden bir tanesi olan daldırmalı kaplama tekniği kullanılmıştır. Bu amaçla iki farklı deneysel çalışma yürütülmüştür. Zımparalama, aşındırma ve modifikasyon temel aşamalarını içeren çalışmalarda, aşındırma ve modifikasyon ajanları ve muamele süreleri farklı olacak şekilde deneyler planlanmıştır. Bu iki farklı çalışmanın istatiksel değerlendirilmesi için Taguchi deney tasarımı kullanılmıştır. Elde edilen deneysel ve istatiksel sonuçlar birbiriyle ilişkilendirilerek değerlendirilmeler yapılmıştır.

Yapmış olduğumuz çalışmada elde ettiğimiz sonuçlar şu şekildedir:

- Temas açı sonuçlarına göre; hiçbir işlem yapılmamış alüminyum plakanın ortalama temas açı değeri 60° olarak belirlenmiştir.
- 400, 600 ve 800’ lük zımpara kağıtları ile zımparalanan yüzeylerin ortalama temas açı değerleri ise, sırasıyla 94°, 91° ve 75° olarak belirlenmiştir. Zımpara kağıdının numarası büyüdükçe ölçülen temas açı değerinin azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni, zımpara içerisindeki birim kare başına düşen kum miktarını gösteren zımpara numaralarında, numara büyüdükçe yüzeye daha fazla müdahale edilerek daha düzgün ve pürüzsüz bir yüzeyin elde edildiği şeklinde yorumlanmıştır. Ayrıca SEM görüntülerindeki, zımpara kağıdının numarası arttıkça alüminyum plakada var olan çıkıntılı ve tanesel yapıların azalmasının da bu durumu doğrular nitelikte olduğu yorumu yapılmıştır.
- Alüminyum plakalara asit aşındırma uygulanarak yapılan kaplama çalışmasında en yüksek temas açı değeri ortalama 162° olarak elde edilmiş ve böylece yüzeyin süperhidrofobik özellikte olduğu belirlenmiştir. Bu yüzeylere yapılan SEM analizi ile, yüzeyde çok sayıda düzenli çıkıntıların olduğu ve bu nedenle su damlalarının yüzeyle temasının azalarak süperhidrofobik yüzeylerin oluştuğu tespit edilmiştir. Söz konusu yüzeylerde kaplama kalınlığı ortalama 13,46 μm şeklinde elde edilmiştir. Literatür çalışmalarında elde ettiğimiz sonuçlara yakın değerlere rastlanmıştır (Wu vd., 2015, Liao vd., 2014).
- Asit aşındırma uygulamasını içeren çalışmaların Taguchi deney tasarımında, zımpara faktörünün üçüncü seviyesi olan 800’ lük zımpara (A3), aşındırma süresi faktörünün üçüncü seviyesi olan 6 dk (B3) ve modifikasyon süresinin yine üçüncü seviyesi olan 24

saat (C3) değerlerinin bu deney tasarımı için optimum tasarım parametreleri olduğu görülmüştür (A3B3C3).

- Asit aşındırma uygulamasını içeren çalışmaların ANOVA sonuçlarına göre, faktörlerin etki seviyelerinin, aşındırma süresi % 95,52, modifikasyon süresi % 2,38 ve zımpara % 1,13 olduğu görülmüştür. ANOVA' da her deney faktörünün deney sonuçlarını ne ölçüde etkilediğini gösterebilmek için F-Testi adı verilen hesaplama yapılmaktadır. F-Testinde toplam karelerin toplamındaki her bileşen için karelerin toplamı değeri o faktörün serbestlik derecesine bölünür ve ortalama karelerin toplamı değeri belirlenir. F değeri ortalama karelerin toplamı değerinin hata değerinin ortalama karelerin toplamına bölünmesi ile elde edilir. P değeri ise önem/olasılık şeklinde tanımlanabilir. Bu testte % 95 güven aralığı dikkate alınır. Eğer $P < 0.05$ değerinin altında olan bir faktör değeri varsa o faktör deney için anlamlı olmaktadır. Varyans analizi neticesinde, aşındırma süresi (B) faktörünün istatiksel açıdan anlamlı olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçların anlamlı olup olmadığını belirleyebilmek için temas açısına ait normal olasılık diyagramının dağılıma uygun olduğu görülmüştür. Temas açı sonuçları dikkate alınarak yapılan doğrulama deneylerinde mutlak hata % 1,23 olarak hesaplanmıştır.

- Alüminyum plakalara baz + asit aşındırma uygulanarak yapılan kaplama çalışmasında en yüksek temas açı değeri ortalama 168° olarak elde edilmiş ve yüzeyin süperhidrofobik olduğu belirlenmiştir. Yapılan SEM analizinde çok sayıda mikro/nano boyutta kürelerle birlikte çıkıntı şeklinde yapıların da olduğu görülmüştür. Kaplama kalınlığı ise ortalama 12,80 μm şeklinde elde edilmiştir. Literatür çalışmalarında elde ettiğimiz sonuçlara yakın değerlere rastlanmıştır (Guo vd., 2011., Lomga vd., 2017).

- Baz + asit aşındırma uygulamasını içeren çalışmaların Taguchi deney tasarımında, zımpara faktörünün ikinci seviyesi olan 600' lük zımpara (A2), aşındırma süresi faktörünün üçüncü seviyesi olan 10 dk (B3) ve modifikasyon süresinin yine üçüncü seviyesi olan 60 dk (C3) değerlerinin bu deney tasarımı için optimum tasarım parametreleri olduğu görülmüştür (A2B3C3).

- Baz + asit aşındırma uygulamasını içeren çalışmaların ANOVA sonuçlarına göre, faktörlerin etki seviyelerinin, aşındırma süresi % 93,26, zımpara % 1,66 ve modifikasyon süresi % 0,73 olduğu görülmüştür. F-Testine göre ise, yine aşındırma süresi (B) en etkin parametre olarak belirlenmiştir. Varyans analizi sonucunda,

aşındırma süresi için $P < 0.05$ olarak anlamlı olduğu belirlenmiştür. Temas açısına ait normal olasılık diyagramının dağılıma uygun olduğu görülmüştür. Temas açı sonuçları dikkate alınarak yapılan doğrulama deneylerinde mutlak hata % 4,16 olarak hesaplanmıştır.

- İki farklı şekilde planlanan deneysel çalışmaların her ikisinde de süperhidrofobik yüzeyler elde edilmiştir. Baz + asit aşındırma yöntemi ile yapılan çalışmada, asit aşındırma yöntemine göre daha yüksek temas açısı elde edilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmada uygulanan yöntemlerle alüminyum yüzeyler üzerinde süperhidrofobik kaplamaların elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Bununla birlikte bu çalışmalar şu şekilde geliştirilebilir:

- Alüminyum haricinde cam, seramik, plastik ve farklı metallar üzerine de bu kaplamalar uygulanarak birçok farklı malzemeden suyun ve buna bağlı olarak da nemin uzaklaştırılması sağlanabilir.

- Çalışmada en etkili faktör olarak öne çıkan aşındırma süresi için, hem asit aşındırma hem de baz + asit aşındırma uygulamasını içeren çalışmalarda, farklı aşındırma malzemeleri ile farklı sürelerde aşındırmalar yapılarak çalışmalar tekrarlanabilir.

- Asit aşındırma ve baz + asit aşındırma uygulamasını içeren her iki çalışmada, modifikasyon ajanı olarak kullanılan sırasıyla dodesiltrietoksisilan ve palmitik asitin yerine farklı kimyasal maddeler ve muamele süreleri denenerek daha yüksek temas açısına sahip kaplamaların elde edilmesi hedeflenebilir.

- Taguchi deney tasarım tekniğinde, farklı ortogonal dizilerde ve buna bağlı olarak da faktör ve seviye sayıları değiştirilerek çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKÇA

Abbasov, R. (2022). *Hidrofobik Yüzeylerin Hidrolik Sürtünme Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Samsun.

Altındal, S. (2020*). Tekstil Yüzeyinde Kirlenmeyen Süperhidrofobik Kaplamaların Üretilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

Aydın, H. , Şendeniz, M. & Demirci, A. (2009). *Ekstrüzyon Öncesi Ve Sonrası Uygulanan Isıl İşlemlerin AA 6063 Alüminyum Alaşımının Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi* . Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi , 14 (2).

Aytaç, A. & Malayoğlu, U. (2018). Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemlerinden PVD ve JVD/DVD İnce Film Kaplamaların Karşılaştırılması ve DVD Kaplama Teknolojisinin Endüstriyel Uygulamaları Üzerine Kavramsal, Akademik ve Teorik Bir Analiz. *Savunma Bilimleri Dergisi , 17 (1) , 131-164.*

Batchelor, A. W., Jana, S., Koh, C. P., & Tan, C. S. (1996). The effect of metal type and multi-layering on friction surfacing. *Journal of materials processing technology*, *57*(1-2), 172-181.

Bıçak, B. (2015). *Fonksiyonel Yüzey Kaplama Materyallerinin Hazırlanması Ve Geliştirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Bosco, R., Edreira, E. R. U., Wolke, J. G., Leeuwenburgh, S. C., van den Beucken, J. J., & Jansen, J. A. (2013). Instructive coatings for biological guidance of bone implants. *Surface and Coatings Technology*, *233*, 91-98.

Budakoğlu, R. (2006). *Cam Yüzeylerine Sol Jel Prosesiyle Hidrofob ve Oleofob Özelliklerin Kazandırılması.* Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Cansoy, C. E. (2011). *Mikro Desenli Süperhidrofobik Yüzeylerde Yüzey Pürüzlülüğü İle Su Temas Açısı İlişkisi*. Doktora Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

Coşğun, A., Taşcıoğlu, A. & Yılmaz, G. (2021). *İnce Film Üretiminde Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi ve Çeşitleri.* Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12 (2), 351 – 363.

Çakanyıldırım, Ç. & Gürü, M. (2021). Alüminyum Üretim Teknolojilerindeki Gelişmeler, Çevreye Etkisi ve Uygulama Alanları . Politeknik Dergisi , 24 (2) , 585-592 . DOI: 10.2339/politeknik.707885

Çiğil, A. B., Kandırmaz, E. A., Birtane, H., & Kahraman, M. V. (2019). Yüksek Hidrofilik Polietilen İmin Kaplamaların Hazırlanması Ve Karakterizasyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7*(3), 973-984.

Davis, J. R. (1993). *Aluminum and aluminum alloys*. ASM international. 231

Davis, J. R. (Ed.). (2004). *Handbook of thermal spray technology*. ASM international. 3-331.

Dimitriev, Y., Ivanova, Y., & Iordanova, R. (2008). History of sol-gel science and technology. *Journal of the University of Chemical technology and Metallurgy, 43*(2), 181-192.

Doğancı, E. (2007). *Cyclıc Olefin Kopolimerden Süperhidrofobik Yüzey Sentezi Ve Karakterizasyonu.* Yüksek LisansTezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

Drelich, J. W., Boinovich, L., Chibowski, E., Della Volpe, C., Hołysz, L., Marmur, A., & Siboni, S. (2019). Contact angles: History of over 200 years of open questions. Surface Innovations, 8(1–2), 3-27.

Durgut, U. (2020). *Çözelti Ortamında Sentezlenen Silan İçerikli Terpolimerlerinden Süper-Hidrofobik Yüzey Sentezi.* Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisans Eğitim Enstitüsü, Çanakkale.

Ersoy, M. S. (2015). Nanoteknoloji Uygulamalari İle Tekstil Yüzeylerinde Değiştirilebilen Islanabilirlik. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2015,* 18(1)

Ersöz, E. (2011). *Plazma Püskürtme Yöntemi Kullanarak Yüzeyi Al_2O_3- TiO_2 Tozlarıyla Kaplanan Düşük Karbonlu Çeliğin Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması.* Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Esmaeilirad, A., Rukosuyev, M. V., Jun, M. B., & van Veggel, F. C. (2016). A cost-effective method to create physically and thermally stable and storable super-hydrophobic aluminum alloy surfaces. Surface and Coatings Technology, 285, 227-234.

Feng, L., Che, Y., Liu, Y., Qiang, X., & Wang, Y. (2013). Fabrication of superhydrophobic aluminium alloy surface with excellent corrosion resistance by a facile and environment-friendly method. *Applied Surface Science*, *283*, 367-374.

Fu, X., & He, X. (2008). Fabrication of super-hydrophobic surfaces on aluminum alloy substrates. *Applied Surface Science*, *255*(5), 1776-1781.

Guo, Y., Wang, Q., & Wang, T. (2011). Facile fabrication of superhydrophobic surface with micro/nanoscale binary structures on aluminum substrate. *Applied Surface Science*, *257*(13), 5831-5836.

Günerhan, A. (2021). *Havacılıkta Kullanılan Aa2024-T3 Alüminyum Alaşımının Lazer İle Yüzey Özelliklerinin Değiştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Hacıoğlu, B. (2019). *Metal Ve Metal Alaşımlarına Kimyasal Aşındırma Yöntemiyle Süperhidrofobik Özellik Kazandırma.* Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Hall, D. B., Underhill, P., & Torkelson, J. M. (1998). Spin coating of thin and ultrathin polymer films. *Polymer Engineering & Science*, *38*(12), 2039-2045.

İçen, B. (2019). *Ferritik Paslanmaz Çeliğin Yüzey Modifikasyonunda Metal Karbürlerin Etkisinin Taguchi Metoduyla Analizi.* Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

İnternet: https://www.biolinscientific.com/blog/young-equation-the-man-behind-the-contact-angle-history, Biolin Scientific, Erişim Tarihi:12.09.2022.

Kalan, F. (2019). *Alüminyum Alaşımları ile Kaplanan Yapı Çeliklerinin Korozyon Davranışlarının İncelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Kalyoncu, S. (2020). *Alüminyum Alaşımlarında Alçak Basınçlı Döküm Simülasyonu.* Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.

Karaca, H. (2018*). Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışına Asidik Ortamın Etkisi Ve Taguchı Metoduyla Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Karhan, M. (2021). Dielektrik Malzemelerin Yüzeyleri için Islanabilirlik ve Buharlaşma Hızının Analizine Yönelik Ayrık Kosinüs Dönüşümü Tabanlı Bir Yaklaşım. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2021,* 7(2):160-168

Kaya, H. (2019). *Alüminyum İşleme ve Kaplama Endüstrisi Atıksularının Karakterizasyonu ve Geri Kazanım Alternatiflerinin Araştırılması.* Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

Kaya, S. (2017*). Yüzeyi Modifiye Edilmiş Ferritik Paslanmaz Çeliğin Aşınma Direncinin Taguchi Metoduyla Optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Kır, H. & Apay, S. (2020). *Elektrolitik Yöntemle Sert Krom Kaplanan Yapı Çeliğinde Kaplama Parametrelerinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu* . Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi , 10 (1) , 7-14.

Kol, S. (2018). *Sol-Jel Yöntemiyle Üretilen Hfo2 İnce Filmlerin Karakterizasyonu.* Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

Lee, J. W., & Hwang, W. (2016). Exploiting the silicon content of aluminum alloys to create a superhydrophobic surface using the sol–gel process. *Materials Letters*, *168*, 83-85.

Li, W., Zhang, X., Yang, J., & Miao, F. (2013). In situ growth of superhydrophobic and icephobic films with micro/nanoscale hierarchical structures on the aluminum substrate. *Journal of colloid and interface science*, *410*, 165-171.

Li, X., Zhang, Q., Guo, Z., Shi, T., Yu, J., Tang, M., & Huang, X. (2015). Fabrication of superhydrophobic surface with improved corrosion inhibition on 6061 aluminum alloy substrate. *Applied Surface Science*, *342*, 76-83.

Liao, R., Zuo, Z., Guo, C., Yuan, Y., & Zhuang, A. (2014). Fabrication of superhydrophobic surface on aluminum by continuous chemical etching and its anti-icing property. *Applied Surface Science*, *317*, 701-709.

Liu, L., Zhao, J., Zhang, Y., Zhao, F., & Zhang, Y. (2011). Fabrication of superhydrophobic surface by hierarchical growth of lotus-leaf-like boehmite on aluminum foil. *Journal of colloid and interface science*, *358*(1), 277-283.

Liu, W., Sun, L., Luo, Y., Wu, R., Jiang, H., Chen, Y., ... & Liu, Y. (2013). Facile transition from hydrophilicity to superhydrophilicity and superhydrophobicity on aluminum alloy surface by simple acid etching and polymer coating. Applied surface science, 280, 193-200.

Lomga, J., Varshney, P., Nanda, D., Satapathy, M., Mohapatra, S. S., & Kumar, A. (2017). Fabrication of durable and regenerable superhydrophobic coatings with excellent self-cleaning and anti-fogging properties for aluminium surfaces. *Journal of Alloys and Compounds*, *702*, 161-170.

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Dünyada ve Türkiye' de Alüminyum Raporu. 2018. Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, Ankara [Erişim Tarihi: 12.05.2022 https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/aluminyum.pdf]

Mohamed, A. M., Jafari, R., & Farzaneh, M. (2014). An optimization of superhydrophobic polyvinylidene fluoride/zinc oxide materials using Taguchi method. *Applied Surface Science*, *288*, 229-237

Mülazim, Y. (2011). *Uv Işınlarıyla Sertleşebilen Hidrofobik Ve Oleofobik Kaplamaların Geliştirilmesi Ve Karakterizasyonu*. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Njobuenwu, D. O., Oboho, E. O., & Gumus, R. H. (2007). Determination of contact angle from contact area of liquid droplet spreading on solid substrate. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, *10*, 29-38.

Norrman, K., Ghanbari-Siahkali, A., & Larsen, N. B. (2005). 6 Studies of spin-coated polymer films. *Annual Reports Section" C"(Physical Chemistry)*, *101*, 174-201.

Özcan, E. M. (2020). *Bor Karbür Ve Titanyum Karbür İlaveli Sürtünmeli Kaplamanın Karakteristik Özelliklerinin İncelenmesi.* Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Özdoğan, E., Demir, A., & Seventekin, N. (2006). Lotus etkili yüzeyler. *Tekstil ve Konfeksiyon*, *16*(1), 287-290.

Özkan, M. (2018). *Alüminyum İşleme ve Kaplama Endüstrisi Atıksularının Karakterizasyonu ve Geri Kazanım Alternatiflerinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Özkavak, V. H. (2013). *Plazma İle Polimer Kaplanmış Metalik Malzemelerin Bazı (Tribolojik) Özelliklerinin Araştırılması*. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Öztop, M. (2007). *Taguchi Deney Tasarımı Yöntemi İle Alüminyum Ekstrüzyon Prosesinin İyileştirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

Pinar, A. M. & Fırat, K. (2016). *AISI 4140 Çeliğin Çok Yönlü Takımla Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülük Performansının Optimizasyonu* . Politeknik Dergisi , 19 (4) , 491-498.

Poorebrahimi, S., & Norouzbeigi, R. (2015). A facile solution-immersion process for the fabrication of superhydrophobic gibbsite films with a binary micro-nano structure: effective factors optimization via Taguchi method. *Applied Surface Science, 356,* 157-166.

Rezayi, T., & Entezari, M. H. (2016). Toward a durable superhydrophobic aluminum surface by etching and ZnO nanoparticle deposition. *Journal of Colloid and Interface Science, 463,* 37-45.

Satı, S. (2021). *Mikrodalga Destekli Sol-Jel Metodu İle Süperhidrofilik Buğulanmayan Yüzey Sentezi*. Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yalova.

Serencam, H. & Uçurum, M. (2019). *Taguchi Deney Tasarımı Kullanılarak Uçucu Kül İle Ni (Iı) Gideriminde Bazı Adsorpsiyon Parametrelerinin Etkinliğinin İrdelenmesi* . Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi , 8 (1) , 336-344.

Smith, R. W., & Knight, R. (1996). Thermal spraying II: Recent advances in thermal spray forming. *JoM, 48*(4), 16-19.

Sujaddınov, Y. (2016). *Alüminyum Alaşımlarının Korozyona Karşı Sol-Jel Yöntemi İle Kaplanması ve NaCI Ortamında İncelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Şahin, Ş. (2019). *Taguchi Yöntemi Kullanılarak Wc/Co, Wc/Cocr Hvof Kaplamanın Optimizasyonu Ve Aşınma Özelliklerinin Belirlenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Şenel, M.C. Gürbüz, M. & Koç, E. (2015). *Grafen Takviyeli Alüminyum Matrisli Yeni Nesil Kompozitler.* Mühendis ve Makine, 56 (669), 36-47.

Tozkoparan, D. (2010). *Plazma Sprey Kaplama Kalitesine Etki Eden Faktörlerin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Tozlu, N. (2011). *Zno Tabanlı Yarıiletkenlerde Metal Kontak Özelliklerinin Araştırılması.* Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Türkiye Demir ve Demir Dışı Metaller Meclisi Sektörü Raporu. 2020. Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB) Yayınları, Ankara.[Erişim Tarihi: 09.05.2022 https://www.tobb.org.tr/Documents/yayinlar/2021/demir21.pdf]

Ulutan, M. (2007). *AISI 4140 Çeliğinin Yüzey Sertleştirme İşlemleri Ve Kaplama Yöntemleri Sonrası Mekanik Davranışlarının Araştırılması.* Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Vazirinasab, E., Jafari, R., & Momen, G. (2018). Application of superhydrophobic coatings as a corrosion barrier: A review. *Surface and Coatings Technology*, *341*, 40-56.

Wang, F., Li, C., Lv, Y., Lv, F., & Du, Y. (2010). Ice accretion on superhydrophobic aluminum surfaces under low-temperature conditions. *Cold regions science and technology*, *62*(1), 29-33.

Wang, Z., Elimelech, M., & Lin, S. (2016). Environmental applications of interfacial materials with special wettability. *Environmental science & technology*, *50*(5), 2132-2150.

Whyman, G., Bormashenko, E., & Stein, T. (2008). The rigorous derivation of Young, Cassie–Baxter and Wenzel equations and the analysis of the contact angle hysteresis phenomenon. *Chemical Physics Letters*, *450*(4-6), 355-359.

Wu, R., Chao, G., Jiang, H., Hu, Y., & Pan, A. (2015). The superhydrophobic aluminum surface prepared by different methods. *Materials Letters*, *142*, 176-179.

Yang, W. P., & Tarng, Y. S. (1998). Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method. *Journal of materials processing technology*, *84*(1-3), 122-129.

Yao, L., & He, J. (2014). Recent progress in antireflection and self-cleaning technology–From surface engineering to functional surfaces. *ProgreYass in Materials Science*, *61*, 94-143.

Yılmaz, A. (2020). *Susuz Boraks Maddesinin Basınçsız Döküm İle Üretilen Alüminyum Malzemesinin Reolojik Ve Mekanik Özelliklerine Etkisinin Deneysel Tasarım Yöntemi İle Eniyilenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Yin, L., Wang, Y., Ding, J., Wang, Q., & Chen, Q. (2012). Water condensation on superhydrophobic aluminum surfaces with different low-surface-energy coatings. *Applied Surface Science*, *258*(8), 4063-4068.

Yücel, E. (2011). *Yüksek Alaşımlı Beyaz Dökme Demirlerin (Ni-Hard) İşlenebilirlik Parametrelerinin Taguchı Yöntemi İle Optimizasyonu.* Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

Zalnezhad, A., Javanbakht, S., Darestani, M., & Shakeri, A. (2017). Fabrication of superhydrophobic unplasticized poly (vinyl chloride)/nanosilica sheets using Taguchi design methodology. *Polymer International*, *66*(5), 672-678.

Zhang, M., Feng, S., Wang, L., & Zheng, Y. (2016). Lotus effect in wetting and self-cleaning. *Biotribology*, *5*, 31-43.

Zhang, Y., Ge, D., & Yang, S. (2014). Spray-coating of superhydrophobic aluminum alloys with enhanced mechanical robustness. *Journal of colloid and interface science*, *423*, 101-107.

Zhang, Y., Yu, X., Wu, H., & Wu, J. (2012). Facile fabrication of superhydrophobic nanostructures on aluminum foils with controlled-condensation and delayed-icing effects. *Applied Surface Science*, *258*(20), 8253-8257.

Znaidi, L. (2010). Sol–gel-deposited ZnO thin films: A review. *Materials Science and Engineering: B*, *174*(1-3), 18-30.