



**SİLAN VE METAL OKSİTLERLE CAM  
YÜZEYLERİN MODİFİYE EDİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ahmet IŞIK**

**Danışman**

**Prof. Dr. Atilla EVCİN**

**NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ  
ANABİLİM DALI**

**Ocak 2021**

Bu tez çalışması 19.FEN.BİL.32 numaralı proje ile TÜBİTAK BAPK tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SİLAN VE METAL OKSİTLERLE CAM YÜZEYLERİN**  
**MODİFİYE EDİLMESİ**

**Ahmet IŞIK**

**Danışman**

**Prof. Dr. Atilla EVCİN**

**NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI**

**Ocak 2021**

## **BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**

**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**02 / 02 / 2021**

**Ahmet IŞIK**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### SİLAN VE METAL OKSİTLERLE CAM YÜZEYLERİN MODİFİYE EDİLMESİ

Ahmet IŞIK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Atilla EVCİN

Bu araştırmada, sol-jel yöntemi kullanılarak mikroskop lam cam malzemelerin yüzeyleri silan ve metal oksit çözeltileri ile kaplanıp yüzey özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmanın önemi, cam malzemelerin geliştirilen yüzeylerin sertliği ve çizilme direncinin artırılması için uygun içeriğe sahip çözeltilerin belirlenmesi ve cam yüzeylere uygulanmasıdır. Çalışmada sol-jel yöntemi kullanılarak çeşitli silan ve metal oksitlerin farklı miktarda karıştırması ile hazırlanan çözeltiler ıslak film aplikatörü yardımıyla cam malzemelerin yüzeylerine kaplanmıştır. Kaplanan yüzeylerin özelliklerini incelemek için ışık geçirgenlik, bulanıklık, temas açısı ve kalem sertlik testleri uygulanmıştır. Bulanıklık %0,39 ile %37,3, ışık geçirgenlik %85 ile %91,7, temas açısı 45,16° ile 115,44° ve kurşun kalem sertlik 2H ile 6H değerleri arasında sonuçlar bulunmuştur. Bulunan değer aralıklarına göre 4. Grup çözeltilerine sahip SR13 ve SR14 numuneleri 6H, SR11 ve SR12 numuneleri ise 5H değerleri ile en sert numune olarak gözlenmiştir.

**2021, xii + 98 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Sol-jel kaplama, Yüzey kaplama, Silan, Metal oksit, Cam kaplama

## **ABSTRACT**

M.Sc. Thesis

### **MODIFICATION OF GLASS SURFACE WITH SILANE AND METAL OXIDES**

Ahmet IŞIK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Nanoscience and Nanotechnology

**Supervisor:** Prof. Atilla EVCİN

In this research, In this study, it is aimed to improve the surface properties of microscope slide glass materials by coating them with silane and metal oxide solutions using the sol-gel method. The importance of the study is to determine suitable contents to increase the hardness and scratch resistance of the developed surfaces of glass materials and apply on them. In the study, the solutions prepared by mixing different amounts of various silanes and metal oxides using the sol-gel method were coated on the surfaces of glass materials with the help of a wet film applicator. Light transmittance, haze, contact angle and pencil hardness tests were applied to examine the properties of the coated surfaces. Haze %0,39 to %37,3, light transmittance %85 to %91,7, contact angle between 45,16° and 115,44°, and pencil hardness test values between 2H and 6H were found. According to the value ranges found, the samples with group 4 solutions; SR13 and SR 14 samples with 6H and SR11 and SR12 samples with 5H values were observed as the hardest samples.

**2021, xii + 98 pages**

**Keywords:** Sol-gel coating, Surface coating, Silane, Metal oxide, Glass coating

## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Atilla EVCİN, araştırma ve yazım süresince her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tezimin gerçekleşmesinde 19.FEN.BİL.32 numaralı proje ile maddi destek sağlayan Afyon Kocatepe Üniversitesi TÜBİTAK BAPK'a teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı eşime teşekkür ederim.

Ahmet IŞIK  
Afyonkarahisar 2020

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

|                                                                          | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------|-------|
| ÖZET .....                                                               | i     |
| ABSTRACT .....                                                           | ii    |
| TEŞEKKÜR .....                                                           | iii   |
| İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....                                                  | iv    |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....                                     | vii   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                                    | viii  |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....                                                   | x     |
| RESİMLER DİZİNİ .....                                                    | xii   |
| 1. GİRİŞ.....                                                            | 1     |
| 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....                                             | 3     |
| 2.1 Camlar.....                                                          | 3     |
| 2.1.1 Camın Yapısı.....                                                  | 4     |
| 2.1.2 Camların Üretim Prosesi .....                                      | 5     |
| 2.1.2.1 Ana Hammaddelerin Hazırlanması .....                             | 6     |
| 2.1.2.2 Eritme .....                                                     | 7     |
| 2.1.2.3 Şekillendirme.....                                               | 7     |
| 2.1.2.4 Tavlama ve Soğutma .....                                         | 8     |
| 2.1.2.5 İkinci Şekillendirme İşlemi .....                                | 8     |
| 2.1.3 Cam Türleri ve Kullanım Alanları .....                             | 8     |
| 2.1.3.1 Soda Kalsik Camlar ve Kullanım Alanları.....                     | 9     |
| 2.1.3.2 Kurşun Camı (Kristal Cam) ve Kullanım Alanları .....             | 9     |
| 2.1.3.3 Boro Silikat Camı ve Kullanım Alanları.....                      | 10    |
| 2.1.3.4 Alümina Silikat Camı ve Kullanım Alanları.....                   | 11    |
| 2.1.3.5 Silisyum Camı (%96 SiO <sub>2</sub> ) ve Kullanım Alanları ..... | 11    |
| 2.1.3.6 Silisyum Camı (%99 SiO <sub>2</sub> ) ve Kullanım Alanları ..... | 12    |
| 2.1.4 Camların Özellikleri.....                                          | 12    |
| 2.2 Sol-Jel .....                                                        | 14    |
| 2.2.1 Sol-Jel Prosesinde Kullanılan Bileşenler .....                     | 14    |
| 2.2.1.1 Ön Başlatıcılar .....                                            | 15    |
| 2.2.1.2 Çözücüler.....                                                   | 15    |

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| 2.2.1.3 Katalizörler.....                                 | 16 |
| 2.2.2 Sol-Jel Prosesinde Oluşan Yapılar .....             | 17 |
| 2.2.3 Sol-Jel Oluşumu.....                                | 18 |
| 2.2.3.1 Hidroliz ve Yoğunlaşma Reaksiyonları .....        | 18 |
| 2.2.3.2 Jelleşme .....                                    | 19 |
| 2.2.3.3 Yaşlandırma.....                                  | 20 |
| 2.2.3.4 Kurutma.....                                      | 20 |
| 2.2.3.5 Sinterleme.....                                   | 21 |
| 2.2.4 Sol-Jel Kaplama Yöntemleri .....                    | 22 |
| 2.2.4.1 Daldırılmalı Kaplama (Dip Coating) Tekniği .....  | 22 |
| 2.2.4.2 Döndürmeli Kaplama (Spin Coating) Tekniği .....   | 23 |
| 2.2.4.3 Püskürtmeli Kaplama (Spray Coating) Tekniği ..... | 24 |
| 2.2.4.4 Akış Kaplama Tekniği.....                         | 25 |
| 2.2.4.5 Laminer Kaplama Tekniği.....                      | 26 |
| 2.2.4.6 Merdaneli Kaplama Tekniği.....                    | 27 |
| 2.2.4.7 Baskı Kaplama Tekniği .....                       | 28 |
| 2.3 Silanlar .....                                        | 28 |
| 2.3.1 Tipik Silan Uygulamaları.....                       | 30 |
| 2.3.1.1 Yapışma Arttırıcı.....                            | 31 |
| 2.3.1.2 Birleştirme Maddesi .....                         | 31 |
| 2.3.1.3 Çapraz Bağlama Maddesi.....                       | 32 |
| 2.4 Literatür Çalışmaları .....                           | 33 |
| 3. MATERYAL ve METOT .....                                | 37 |
| 3.1 Cam Altlıklar ve Yüzeyinin Temizlenmesi .....         | 37 |
| 3.2 Çözeltilerin Hazırlanması .....                       | 37 |
| 3.3 Yüzeylerin Kaplanması ve Kürlenmesi .....             | 41 |
| 3.4 Karakterizasyon Testleri .....                        | 42 |
| 3.4.1 Işık Geçirgenlik ve Bulanıklılık Testi .....        | 42 |
| 3.4.2 Temas Açık Testi .....                              | 43 |
| 3.4.3 Kurşun Kalem Sertlik Testi.....                     | 44 |
| 3.4.4 Mikroskop Görüntüsü .....                           | 45 |
| 4. BULGULAR .....                                         | 46 |



|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 4.1 Kaplanan Cam Malzemelerin Görüntüleri.....    | 46 |
| 4.2 Bulanıklık (H) ve Işık Geçirgenliği (LT)..... | 48 |
| 4.3 Temas Açısı (CA).....                         | 56 |
| 4.4 Kurşun Kalem Sertlik Sonuçları .....          | 68 |
| 4.5 Mikroskop Görüntüsü .....                     | 75 |
| 5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....                        | 88 |
| 6. KAYNAKLAR.....                                 | 90 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                     | 97 |
| EKLER .....                                       | 98 |



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

|                                   |                      |
|-----------------------------------|----------------------|
| °                                 | Derece               |
| g                                 | Gram                 |
| HCl                               | Hidrojen klorür      |
| H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>     | Hidrojen Peroksit    |
| µm                                | Mikrometre           |
| mm                                | Milimetre            |
| nm                                | Nanometre            |
| °C                                | Santigrat derece     |
| cm                                | Santimetre           |
| Ce(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> | Seryum Nitrat        |
| CeO                               | Seryum oksit         |
| H <sub>2</sub> O                  | Su                   |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>    | Sülfürik asit        |
| TiO <sub>2</sub>                  | Titanyum (IV) oksit  |
| ZrO <sub>2</sub>                  | Zirkonyum (IV) oksit |

### Kısaltmalar

|        |                                              |
|--------|----------------------------------------------|
| A. Ac. | Asetil Aseton                                |
| APTES  | (3-aminopropil)trioksasilan                  |
| CA     | Temas açısı                                  |
| DAMO   | N-(2-aminoetil)-3-aminopropiltrimetoksasilan |
| FG     | Fonksiyonel grup                             |
| GLYMO  | 3-glisidiloksipropiltrimetoksilane           |
| H      | Bulanıklık                                   |
| İPA    | İzopropil Alkol                              |
| LT     | Işık geçirgenlik                             |
| OR     | Hidrolize edilebilir grup                    |
| TEOS   | Tetraetilortosilikat                         |
| UV     | Ultra viyole                                 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                          | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2.1 kristal ve amorf katıların sıcaklığa bağlı olarak hacimlerin değişimi .....                                    | 5     |
| Şekil 2.2 SiO <sub>2</sub> kristal yapı ve amorf yapı düzeni .....                                                       | 5     |
| Şekil 2.3 Sol-jel yönteminde kullanılan katalizörler .....                                                               | 16    |
| Şekil 2.4 Asit ve baz mekanizma ile oluşmuş yapı .....                                                                   | 17    |
| Şekil 2.5 Sol-jel ürünlerin şematik gösterimi .....                                                                      | 18    |
| Şekil 2.6 Jelleşme mekanizması .....                                                                                     | 20    |
| Şekil 2.7 Daldırmalı kaplama yöntemi .....                                                                               | 23    |
| Şekil 2.8 Döndürmeli kaplama yöntemi .....                                                                               | 24    |
| Şekil 2.9 Püskürtmeli kaplama yöntemi .....                                                                              | 25    |
| Şekil 2.10 Akış kaplama yöntemi .....                                                                                    | 26    |
| Şekil 2.11 Laminer kaplama yöntemi .....                                                                                 | 27    |
| Şekil 2.12 Merdaneli kaplama yöntemi .....                                                                               | 27    |
| Şekil 2.13 Baskı kaplama yöntemi .....                                                                                   | 28    |
| Şekil 2.14 Silanların yapısı .....                                                                                       | 29    |
| Şekil 2.15 Silanların hidrolizi .....                                                                                    | 30    |
| Şekil 2.16 Silanların yoğunlaşması .....                                                                                 | 30    |
| Şekil 2.17 Silanların yapışma arttırıcı yapısı .....                                                                     | 31    |
| Şekil 2.18 Silanların birleştirme madde yapısı .....                                                                     | 32    |
| Şekil 2.19 Silanların çapraz bağlama madde yapısı .....                                                                  | 33    |
| Şekil 4.1 1(A) Grup Ti ve Zr alkoksitli hazırlanan bileşimlerin %H ve %LT değerleri                                      | 49    |
| Şekil 4.2 1(B) Grup Ti ve Zr alkoksitli ve BYK katkılı hazırlanan bileşimlerin %H ve %LT değerleri .....                 | 50    |
| Şekil 4.3 2. Grup koloidal silikalı hazırlanan bileşimlerin %H ve %LT değerleri .....                                    | 51    |
| Şekil 4.4 3. Grup DAMO ile hazırlanan bileşimlerin %H ve %LT değerleri .....                                             | 52    |
| Şekil 4.5 4. Grup Ti alkoksit ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin %H ve %LT değerleri .....                       | 53    |
| Şekil 4.6 5. Grup ZrOCl <sub>2</sub> ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin %H ve %LT değerleri .....                | 54    |
| Şekil 4.7 6. Grup Ce(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin %H ve %LT değerleri ..... | 55    |
| Şekil 4.8 7. Grup TEOS koloidal silika ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin %H ve %LT değerleri .....              | 56    |

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.9</b> 1(A) Grup Ti ve Zr Alkoksitli hazırlanan bileşimlerin CA değerleri .....                                    | 57 |
| <b>Şekil 4.10</b> 1(B) Grup Ti ve Zr Alkoksitli ve BYK katkısı ile hazırlanan bileşimlerin CA değerleri.....                 | 59 |
| <b>Şekil 4.11</b> 2. Grup kolloidal silikalı hazırlanan bileşimlerin CA değerleri .....                                      | 60 |
| <b>Şekil 4.12</b> 3. Grup DAMO'lu hazırlanan bileşimlerin CA değerleri .....                                                 | 61 |
| <b>Şekil 4.13</b> 4. Grup Ti alkoksit ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin CA değerleri                                | 63 |
| <b>Şekil 4.14</b> 5. Grup $ZrOCl_2$ ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin değerleri .....                               | 65 |
| <b>Şekil 4.15</b> 6. Grup $Ce(NO_3)_3$ ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin CA değerleri..                             | 66 |
| <b>Şekil 4.16</b> 7. Grup TEOS, kolloidal silika ve asetil aseton ile hazırlanan bileşimlerin CA değerleri.....              | 68 |
| <b>Şekil 4.17</b> 1(A) Grup Ti ve Zr alkoksitli hazırlanan bileşimlerin sertlik değerleri .....                              | 69 |
| <b>Şekil 4.18</b> 1(B) Grup Ti ve Zr alkoksitli hazırlanan bileşimlerin sertlik değerleri .....                              | 69 |
| <b>Şekil 4.19</b> 2. Grup kolloidal silikalı hazırlanan bileşimler sertlik değerleri.....                                    | 70 |
| <b>Şekil 4.20</b> 3. Grup DAMO' lu hazırlanan bileşimler sertlik değerleri.....                                              | 70 |
| <b>Şekil 4.21</b> 4. Grup Ti alkoksit ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin sertlik değerleri .....                     | 71 |
| <b>Şekil 4.22</b> 5. Grup $ZrOCl_2$ ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin sertlik değerleri .                           | 72 |
| <b>Şekil 4.23</b> 6. Grup $Ce(NO_3)_3$ ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin sertlik değerleri .....                    | 74 |
| <b>Şekil 4.24</b> 7. Grup TEOS, kolloidal silika ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin sertlik değerleri.....           | 74 |
| <b>Şekil 4.25</b> 1(A) Grup Ti ve Zr alkoksitli hazırlanan bileşimlerin kaplama kalınlıkları .                               | 76 |
| <b>Şekil 4.26</b> 1(B) Grup Ti ve Zr Alkoksitli ve BYK katkısı ile hazırlanan bileşimlerin kaplama kalınlığı değerleri ..... | 77 |
| <b>Şekil 4.27</b> 2. Grup kolloidal silikalı hazırlanan bileşimlerin kaplama kalınlığı.....                                  | 79 |
| <b>Şekil 4.28</b> 3. Grup DAMO' lu hazırlanan bileşimlerin kaplama kalınlığı .....                                           | 80 |
| <b>Şekil 4.29</b> 4. Grup Ti alkoksit ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin kaplama kalınlığı.....                      | 82 |
| <b>Şekil 4.30</b> 5. Grup $ZrOCl_2$ ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin kaplama kalınlığı                             | 83 |
| <b>Şekil 4.31</b> 6. Grup $Ce(NO_3)_3$ ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin kaplama kalınlığı .....                    | 85 |
| <b>Şekil 4.32</b> 7. Grup TEOS, kolloidal silika ve asetil aseton ile hazırlanan bileşimlerin kaplama kalınlığı .....        | 86 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                                        | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 3.1 1. Grup Ti ve Zr alkoksitli hazırlanan bileşimleri.....                                                                    | 38    |
| Çizelge 3.2 2. Grup kolloidal silikalı bileşimler. ....                                                                                | 38    |
| Çizelge 3.3 3. Grup DAMO'lu bileşimler.....                                                                                            | 39    |
| Çizelge 3.4 4. Grup Ti alkoksit ve asetil asetonlu bileşimler.....                                                                     | 39    |
| Çizelge 3.5 5. Grup ZrOCl <sub>2</sub> ve asetil asetonlu bileşimler.....                                                              | 40    |
| Çizelge 3.6 6 Grup Ce(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ve asetil asetonlu bileşimler. ....                                               | 40    |
| Çizelge 3.7 7 Grup TEOS, kolloidal silika ve asetil asetonlu bileşimler. ....                                                          | 41    |
| Çizelge 4.1 Kaplanan cam malzemelerin görüntüleri. ....                                                                                | 46    |
| Çizelge 4.2 1(A) Grup Ti ve Zr alkoksitli hazırlanan bileşimlerin CA görüntüleri ve değerleri.....                                     | 57    |
| Çizelge 4.3 1(B) Grup Ti ve Zr alkoksitli ve BYK katkısı ile hazırlanan bileşimlerin CA görüntüleri ve değerleri. ....                 | 58    |
| Çizelge 4.4 2. Grup kolloidal silikalı hazırlanan bileşimlerin CA görüntüleri ve değerleri.....                                        | 60    |
| Çizelge 4.5 3. Grup DAMO' lu hazırlanan bileşimlerin CA görüntüleri ve değerleri... 61                                                 |       |
| Çizelge 4.6 4.Grup Ti alkoksit ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin CA görüntüleri ve değerleri.....                             | 62    |
| Çizelge 4.7 5.Grup ZrOCl <sub>2</sub> ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin CA görüntüleri ve değerleri.....                      | 64    |
| Çizelge 4.8 6. Grup Ce(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin CA görüntüleri ve değerleri. ....     | 66    |
| Çizelge 4.9 7. Grup TEOS, kolloidal silika ve asetil aseton ile hazırlanan bileşimlerin CA görüntüleri ve değerleri.....               | 67    |
| Çizelge 4.10 1(A) Grup Ti ve Zr alkoksitli hazırlanan bileşimlerin mikroskop görüntüleri ve kaplama kalınlıkları. ....                 | 75    |
| Çizelge 4.11 1(B) Grup Ti ve Zr alkoksitli ve BYK katkısı ile hazırlanan bileşimlerin mikroskop görüntüleri ve kaplama kalınlığı. .... | 77    |
| Çizelge 4.12 2. Grup kolloidal silikalı hazırlanan bileşimrin mikroskop görüntüleri ve kaplama kalınlığı. ....                         | 78    |
| Çizelge 4.13 3. Grup DAMO' lu hazırlanan bileşimlerin mikroskop görüntüleri ve kaplama kalınlığı. ....                                 | 80    |
| Çizelge 4.14 4.Grup Ti alkoksit ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin mikroskop görüntüleri ve kaplama kalınlığı.....             | 81    |
| Çizelge 4.15 5.Grup ZrOCl <sub>2</sub> ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin mikroskop görüntüleri ve kaplama kalınlıkları. ....  | 83    |

|                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çizelge 4.16</b> 6. Grup $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin mikroskop görüntüleri ve kaplama kalınlıkları. .... | 84 |
| <b>Çizelge 4.17</b> 7. Grup TEOS, kolloidal silika ve asetil aseton ile hazırlanan bileşimlerin mikroskop görüntüleri ve kaplama kalınlıkları. ....   | 86 |



## RESİMLER DİZİNİ

|                                                                                                                                  | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Resim 2.1</b> Doğada bulunan obsidyen .....                                                                                   | 4     |
| <b>Resim 2.2</b> Doğada bulunan fulgurit .....                                                                                   | 4     |
| <b>Resim 2.3</b> Doğada bulunan kuvars.....                                                                                      | 4     |
| <b>Resim 2.4</b> Soda kalsik cam örnekleri .....                                                                                 | 9     |
| <b>Resim 2.5</b> Kurşun cam örneği.....                                                                                          | 10    |
| <b>Resim 2.6</b> Boro silikat cam örneği.....                                                                                    | 10    |
| <b>Resim 2.7</b> Alümina silikat cam örneği.....                                                                                 | 11    |
| <b>Resim 2.8</b> %96 SiO <sub>2</sub> cam örneği.....                                                                            | 11    |
| <b>Resim 2.9</b> %99 SiO <sub>2</sub> cam örneği.....                                                                            | 12    |
| <b>Resim 3.1</b> Deneyde kullanılan ıslak film aplikatörü .....                                                                  | 41    |
| <b>Resim 3.2</b> Deneyde kullanılan ısıtma işlem fırını.....                                                                     | 42    |
| <b>Resim 3.3</b> Deneyde kullanılan ışık geçirgenlik ve bulanıklık ölçüm cihazı .....                                            | 43    |
| <b>Resim 3.4</b> Deneyde kullanılan KSV Attension ve ThetaLite TL 101 Optical Tensiometer markalı temas açısı ölçüm cihazı ..... | 44    |
| <b>Resim 3.5</b> Deneyde kullanılan TQC kalem sertliği test cihazı .....                                                         | 45    |
| <b>Resim 3.6</b> Deneyde kullanılan Dijital mikroskop cihazı .....                                                               | 45    |
| <b>Resim 4.1</b> İşlem görmemiş mikroskop lam camı temas ölçüm görüntüsü .....                                                   | 57    |

## 1. GİRİŞ

Cam malzemeler fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri sayesinde çok farklı uygulama alanlarında kullanılmış ve gelişen teknolojiye paralel ilerleme kaydetmiştir. Cam malzemeler yüksek sıcaklıklarda yüksek viskozite gösterirler geri soğutulduğunda atomlar yüksek viskoziteden kaynaklı düzenli bir yapıya geçemezler bu olayda bize gözle görülen en önemli özelliğini yani camın saydam olduğunu gösterir. Hem katı maddelerin hem de sıvı maddelerin özeliğini taşıması ise kullanımını arttıran bir diğer önemli özelliğidir. Cam malzemeler bu özelliklerinden dolayı birçok uygulama alanına sahiptir. Bu uygulamalardan bir tanesi cam yüzeylere uygulanan kaplama yöntemleridir. Cam yüzeylere uygulanan kaplama yöntemleri sayesinde, üretilen cam malzemeler mevcut özelliklerinin ötesinde daha fazla işlevsellik edinmişler böylece dış ortam koşullarına karşı daha yüksek dayanım sergilemeye başlamışlardır (Karasu ve Sarıcaoğlu 2018).

Yüzey bir malzemenin çevre ile temas eden tüm kısımları olarak adlandırılmaktadır. Malzemenin yüzey tarafından belirlenen özellikleri korozyon dayanımı, yorulma dayanımı, sürtünme ve aşınma özellikleri, renk ve dış görünüm, optik özellikleri, ısı iletkenlik özellikleri, ışığa tepkileri olarak belirtilebilir. Bu özellikleri yönünden malzemenin davranışı aslında onun yüzeyinin davranışı tarafından belirlenir. Böylece bazı karakteristik özellikleri değiştirilmek istenen bir malzemenin tümünü iyileştirmek yerine sadece yüzeyini iyileştirmek yeterli olmaktadır (Karasu ve Sarıcaoğlu 2018).

Malzemelerin yüzeylerini olduklarından daha güzel göstermek, onları dış etkilerden korumak amacıyla çeşitli yöntemlerle kaplamalar uygulanır. Geçmişte kaplamalar yüzeylerin görüntüsünü değiştirmek, süslemek ya da korumak amaçlı kullanılırken günümüzde gelişen teknoloji ile bu etkileri sağlamanın yanında işlevsel özellik kazandırmak için de kullanılmaktadır. İşlevsel kaplamalar; uygulandıkları yüzeylerin özelliklerini değiştirerek ya da yeni özellikler kazandırarak malzemelerin kullanım alanlarını genişletir. İşlevsel kaplamalara örnek verecek olursak kendi kendini temizleyen, antibakteriyel, su tutan ya da tutmayan, kolay temizlenen, korozyon, çizilme önleyici vb. özellikler taşıyan kaplamalar sayılabilir (İnt.Kyn.1).



Sol-jel film kaplama yöntemleri ile ince filmler oluşturulur. İnce filmler, tanım olarak “Üç boyutlu malzemenin kalınlık boyutu sıfıra yaklaşırken ortaya çıkan iki boyutlu limit halidir.” şeklinde verilebilir (Özler 2007). Sol-jel metodu çok fonksiyonel filmlerin elde etmekte kullanılmasından dolayı öne çıkmaktadır. Sol-jel metodu avantajları; yüksek proses sıcaklıkları gerektirmemesi, ön başlatıcıdan son ürüne kadar moleküler seviyede kontrolün sağlanması, diğer kaplama tekniklerine göre ekonomik olması, düz yüzeylerin yanında şekilli yüzeylerin kolay kaplanabilmesi, hazırlanan filmlerin saf olması, hava kirliliğini minimize etmesi, hazırlanan ortamla etkileşim olmaması, geniş yüzeylere uygulanabilmesi, prosesin basit olması, yeni özellikler ve malzemeler elde etmenin mümkün olması sebebiyle, hem organik, hem inorganik hem de organik-inorganik hibrit polimerlerin üretilmesine olanak sağlar. Hibrit yapılarda organik kısım yüzey yapışma ve esneklik özelliği kazandırırken inorganik kısım ise çizilmeye ve aşınmaya karşı direnç sağlamaktadır (Yedikardeş 2016).

Silanlar, çok çeşitli organik ve inorganik malzemelerle reaksiyona girebilen çok yönlü ürünlerdir. Birleştirme maddeleri, çapraz bağlama maddeleri ve yüzey modifiye ediciler olarak eşsiz yetenekleri, yapıştırıcılardan kaplamalara, kompozitden polimere kadar her geçen gün artan uygulamalarda kanıtlanmıştır (İnt.Kyn.2). Organik-inorganik sol-jel kaplamaların hazırlanmasında en uygun çıkış maddeleri organofonksiyonel silanlardır. En az bir karbon-silikon bağı içeren silan bileşikler, organosilan olarak adlandırılır. Hibrit organik-inorganik silika sistemlerde kullanılan organofonksiyonel silanlar, polimerizasyon reaksiyonları sırasında çapraz ağ oluşturunca ajan olarak görev yaparlar ve uygulandıkları yüzeylere kovalent bağlarla bağlanarak kaplamanın yüzeye güçlü bir şekilde tutunmasını sağlayarak, malzemenin mekanik özelliğini artırır (Yedikardeş 2016).

Bu çalışmada; mikroskop lam cam yüzeylerine farklı içeriğe sahip silan bağlayıcı ajanları ve metal oksitler kullanılarak sol-jel yöntemi yardımıyla yüzey kaplama işlemi yapıldı. Kaplanan yüzeylere ışık geçirgenlik, bulanıklık, temas açısı ve kurşun kalem sertlik testleri uygulandı ve kaplanan yüzeylerin değerlendirmeleri yapıldı.

## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1 Camlar

Cam keşfedildiği dönemden günümüze kadar gelişen teknolojiye uyum sağlamış ve günlük yaşantımızda geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur. Cam en fazla gelişmeyi 20. yüzyılda göstermiş ve bu dönemde cam malzemelerin teknolojik kullanım alanlarının yanında estetik kullanım alanlarında da büyük ölçüde gelişme yaşanmıştır (Farahbakhsh 2014).

Cam malzemelerin geniş kullanım alanı bulunmakta ve her kullanım alanı kendi bakış açısına göre tanım yapmakta, ama genel bir tanım kullanacak olursak cam; ısıtıldığında yüksek sıcaklıklarda akıcılık kazanan, soğutuldukça katılaşan ve durgunlaşan inorganik esaslı, amorf bünyeli, sıvı ve katı maddelerin mekanik özelliklerini gösteren bir silikat sistemdir (Farahbakhsh 2014, Asmaz 2013).

Cam doğada obsidyen, fulgurite ve kuvars olarak bulunur. Doğada oluşan volkanik olaylar sonucu yüksek sıcaklıkta silikanın ergimesiyle genellikle kahverengi ve koyu kırmızı renkte yarı geçirgen kimyasal bileşeni pencere camının kimyasal bileşeninden farklı olmayan obsidyen oluşmuştur (Anonim 2008). Resim 2.1’de doğada oluşan obsidyen örneği verilmiştir. Fulgurit ise yıldırımın düşmesi ile çok yüksek ısı altında silisçe zengin asidik malzemenin erimesi ve bu eriyen maddenin aniden tekrar soğuması sonucunda meydana gelen kaya tipi oluşumdur (İnt.Kyn.3). Resim 2.2’de fulgurite örnek verilmiştir. Kuvars, genelde saydam, renksiz, işlenmiş cama benzer kristaller şeklinde bulunur. En büyük kuvars kristallerine pegmatitler içinde rastlanır. Renkli kuvars kristalleri ise mücevher yapımında değerlendirilir (Anonim 2008). Resim 2.3’de kuvars örnek olarak verilmiştir.



**Resim 2.1** Doğada bulunan obsidyen.



**Resim 2.2** Doğada bulunan fulgurit.

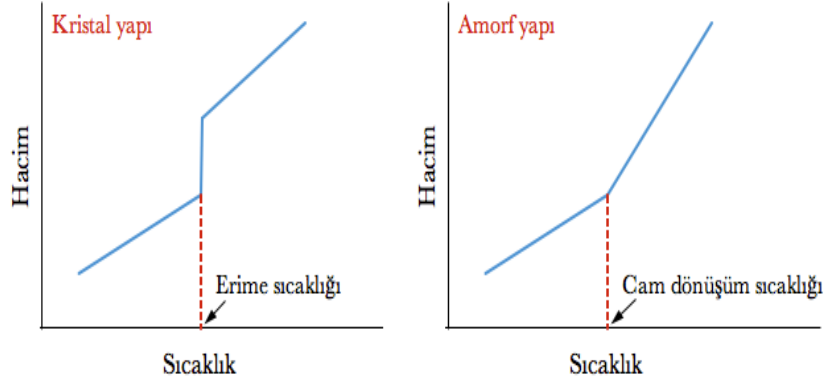


**Resim 2.3** Doğada bulunan kuvars.

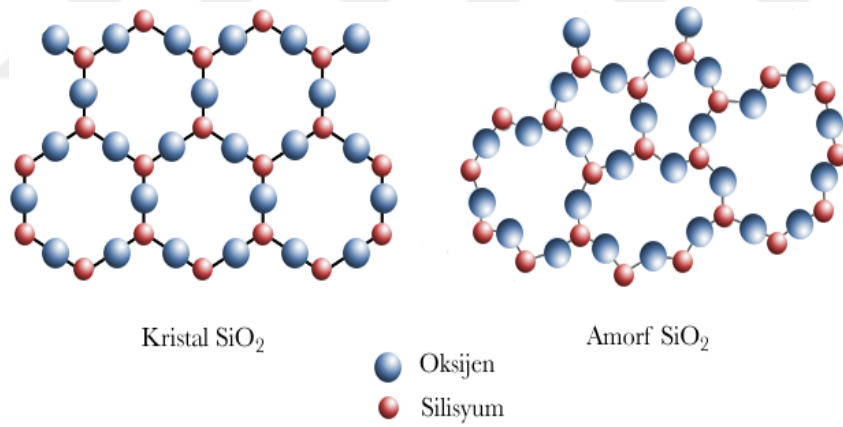
### 2.1.1 Camın Yapısı

Cam inorganik esaslı bir silikat sistem ve yüksek sıcaklıklarda bile çok yüksek viskozite özelliği göstermektedir (Külcü 2015). Cam yüksek viskozite özelliğinden dolayı soğutulduğunda gerekli atom hareketini sağlayamadığı için kristal yapıya geçemez ve amorf yapıya sahip olur (Yazıcı 2019). Şekil 2.1’de kristal ve amorf katıların sıcaklığa bağlı hacim değişim grafiği verilmiştir. Şekil 2.2’de  $\text{SiO}_2$ ’nin kristal ve amorf yapı

düzeni verilmiştir. Amorf yapı cama sağlamlık ve saydamlık kazandırır (İnt.Kyn.3). Cam amorf yapı olması nedeniyle sıvı ve katı maddelerin özellikleri görülmektedir. Camlara amorf yapının kazandırdığı özellikleri nedeniyle katı madde veya sıvı madde olduğu hakkında çok farklı tanımlar mevcuttur. Bu nedenle cam malzemeler aşırı soğutulmuş sıvıya benzetilmektedir (farahbakhsh 2014).



Şekil 2.1 kristal ve amorf katıların sıcaklığa bağlı olarak hacimlerinin değişimi.



Şekil 2.2 SiO<sub>2</sub> kristal yapı ve amorf yapı düzeni.

### 2.1.2 Camların Üretim Prosesi

Cam malzemelerin üretim prosesi 5 gruba ayrılmaktadır. Bunlar sırasıyla ana hammaddelerin hazırlanması, eritme, şekillendirme, tavlama ve soğutma son olarak ikinci şekillendirme yapılarak nihai ürün elde edilir.

### 2.1.2.1 Ana Hammaddelerin Hazırlanması

İstenilen özelliklerde cam üretimi için ön koşul uygun kimyasal kompozisyonu olan hammadde bileşenlerinin seçilmesidir (Olgun 2009). Cam hamurunun saf ve homojen olması için öncelikle seçilen hammaddelerin istenmeyen maddelerden arındırılıp öğütülmeli ve öğütülen hammaddelerden, istenilen özellikte camın kimyasal bileşimine göre belirli oranlarda katılarak, hazırlanacak cam hamuru için gerekli olan bileşim elde edilmektedir (Yazıcı 2019).

Cam malzemelerin hammadde hazırlanmasında katılan bileşenler kum ( $\text{SiO}_2$ ), kireç ( $\text{CaCO}_3$ ), sodadır ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Cam malzemelerin bileşimlerini camlaştırıcı oksitler (kum), eriticiler (soda), sabitleştiriciler (kireç) ve yardımcı bileşenler olmak üzere dört grupta incelenebilir (Küçükbenli 2018).

Camlaştırıcı oksitler (kum), camlaşma özelliği olan bu ana maddeler genelde iskeleti oluşturan bazı oksitlerdir. Kuvars bu oksitlerin başında gelmektedir. Camlaştırıcı oksitler içerisinde en önemlileri silis ( $\text{SiO}_2$ ), bor ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ) ve fosfor ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )'dur (Olgun 2009).

Eriticiler (soda), cam haline gelen ve iskeleti oluşturan oksitlerin erime sıcaklığını düşürerek erimeyi kolaylaştırmak için katılmaktadır. Eritici oksitlerin en önemlileri sodyum oksit ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), potasyum oksit ( $\text{K}_2\text{O}$ ) ve lityum oksit ( $\text{Li}_2\text{O}$ )'tir (Küçükbenli 2018).

Sabitleştiriciler (kireç), camın kimyasal dayanımı, kırılma indisi, dielektrik özellikleri üzerinde etki yaparlar. Stabilizatör olarak adlandırılan bu oksitlerin bazıları kalsiyum oksit ( $\text{CaO}$ ), magnezyum oksit ( $\text{MgO}$ ), baryum oksit ( $\text{BaO}$ ), alüminyum oksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )'tir (Küçükbenli 2018).

Yardımcı bileşenler, “kum – soda – kireç” formülünün dışında kalan, camın kullanım alanına ve istenilen özelliklere göre katılan oksitlerdir. İkincil bileşenler olarak da adlandırılan oksitler ve kazandırdığı özellikler, arsenik oksit ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ) renk verici ve

şeffaflaştırıcı, potasyum nitrat oksit ( $\text{KNO}_3$ ) camın saydamlığını giderici, zirkonyum oksit ( $\text{ZrO}_2$ ) viskozite arttırıcı, bakır oksit ( $\text{CuO}$ ) mavi renk verici, selenyum oksit ( $\text{SeO}$ ) kırmızı renk verici gibi özellikler eklemek için kullanılmaktadır (Olgun 2009).

#### **2.1.2.2 Eritme**

Üretilcek camın özelliklerine ve türüne göre karışımlar harmanlandıktan sonra ikinci işlem olarak karışım döner fırınlarda veya büyük potalarda yaklaşık  $1500^\circ\text{C}$ ' ye ısıtılır ve eritme işlemine tabi tutulur. Fırınların yapımında kullanılan refrakter malzeme silis, alümina, zirkon gibi yüksek ateşe dayanıklı malzemelerden yapılır. Toz halindeki karışım sıcaklık etkisiyle viskoz bir hamur haline getirilir. Sıcaklık yükseldikçe viskozite azalır ve saydamlık oluşur. Bu aşamada camın bazı kusurlarını özellikle de gaz ve hava kabarcıkları yok edilir (Küçükbenli 2018).

#### **2.1.2.3 Şekillendirme**

Harmanlanan cam malzemenin hammaddeleri eritme işlemine tabi tutulduktan sonra sıcaklığı  $1000-1200^\circ\text{C}$ ' ye düşürülerek şekillendirme işlemi uygulanır. Şekillendirme işlemi için kullanılan yöntem üretilcek malzemenin cinsi ve türüne göre farklılık gösterir (Küçükbenli 2018). Cam şekillendirme yöntemlerine dökme, üfleme, çekme örnek olarak gösterilebilir.

Dökme ile şekillendirme yöntemi, cam yaklaşık  $1200-1300^\circ\text{C}$  arasında akışkan bir kıvamdayken, şekillendirilecek yüzeye veya kalıbın içine dökülür ve şekillendirilecek yüzeyin veya kalıbın şekli verilir (Küçükbiçmen 2015).

Üfleme ile şekillendirme yöntemi, eriyik haldeki cam, içi boş bir çubuk yardımıyla fırından alınır, çubuğun ucundaki cam içine hava üflenir, eriyik haldeki cam hava basıncıyla genişler ve istenilen biçim veya şekil verilir (Küçükbiçmen 2015).

Çekme ile şekillendirme yöntemi, eriyik haldeki cam hamuru demir lama yardımıyla ve kohezyon kuvvetine bağlı olarak yukarı çekilmesiyle levha camının üretilmesinde kullanılan yöntemdir. Camın genişliği ve kalınlığı koheziona bağlı olup, maksimum 150cm genişlikte 7 mm kalınlıkta cam levha üretimine olanak verir ve daha kalın cam levha üretilmemektedir (Yazıcı 2019).

#### **2.1.2.4 Tavlama ve Soğutma**

Cam hamurunun şekillendirilmesinden sonra üretilen cam malzeme normal sıcaklıkta soğutulursa iç gerilmelerden dolayı çatlama veya kırılma olur. Tavlama işlemi ise farklı soğumalar sonucunda ortaya çıkabilecek iç gerilmeleri yok etmek için uygulanan bir ısıl işlemdir. Gerilmeleri yok etmek için bütün cam malzemeyi tavlama işlemi gereklidir, cam malzeme belirli bir sıcaklıkta tutularak tavlama işlemi uygulanır. Tavlama işleminden sonra cam malzemeler oda sıcaklığına kadar çatlama ya da kırılma olmaması için yavaş ve belirli bir hızla soğutulur (Olgun 2009, Küçükbenli 2018).

#### **2.1.2.5 İkinci Şekillendirme İşlemi**

Şekillendirme işleminden sonra soğutulan numuneler kullanılacağı alanlara göre ikinci şekillendirme işlemine tabi tutulmadan hemen kullanıma hazır olur veya ikinci bir şekillendirme işlemine tabi tutulması gerekir. İkinci şekillendirme işleminde cam malzemelerin sahip olduğu özelliklerden farklı özellikler de kazandırılmaktadır (Yazıcı 2019). Cam malzemelere uygulanan ikinci şekillendirme işlemlerine delme, kesme, parlatma, pah kırma gibi örnekler verilebilir.

#### **2.1.3 Cam Türleri ve Kullanım Alanları**

Camlar kimyasal bileşimlerine ve oranlarına göre soda kalsik camları, kurşun camları, boro silikat camları, alümina silikat camları, %96 silisyum camları ve %99 silisyum camları olarak sınıflandırılır.

### 2.1.3.1 Soda Kalsik Camlar ve Kullanım Alanları

Üretilen camların yaklaşık %90 soda kalsik camları oluşturmakta ve yumuşak camlar kategorisinde yer alan soda kalsik camları kolayca eritilip ve şekillendirilmekte bu özelliğinden dolayı ısıl şoklara karşı dirençli değildir ama seri üretime elverişlidir. Soda kalsik camını sodyum oksit ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), kalsiyum oksit ( $\text{CaO}$ ) ve silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) oluşturmaktadır. Cam malzemenin özelliklerini geliştirmek ya da değiştirmek için kullanılan hammaddeler az miktarda değiştirilebilir veya az miktarda ilave hammadde karıştırılabilir (Yazıcı 2019). Normal elektrik ampullerinde, flüoresan ampullerinde, pencere camlarında vs. kullanılmaktadır. Resim 2.4’de Soda kalsik camlarına örnek verilmiştir.



**Resim 2.4** Soda kalsik cam örnekleri.

### 2.1.3.2 Kurşun Camı (Kristal Cam) ve Kullanım Alanları

Soda kalsik camında bulunan kalsiyum oksit ( $\text{CaO}$ ) yerine Kurşun oksit ( $\text{PbO}$ ) eklendiğinde kurşun camı elde edilir. Kurşun oksit camın yumuşama sıcaklığını düşürmekte bundan dolayı işlenebilir özelliği fazladır.  $\text{PbO}$  oranı %24 olan camlar kristal cam olarak adlandırılır. Camlarda  $\text{PbO}$  kullanımı zararlı ışınları yansıtma özelliği kazandırır. %80 oranında  $\text{PbO}$  katılmasıyla camlar gama ve x ışınlarından koruma camları olarak adlandırılır. Optik camlarda, radyasyon koruma panolarında kullanılmaktadır (İnt.Kyn.5). Resim 2.5’de kurşun camına örnek verilmiştir.





**Resim 2.5** Kurşun cam örneği.

### 2.1.3.3 Boro Silikat Camı ve Kullanım Alanları

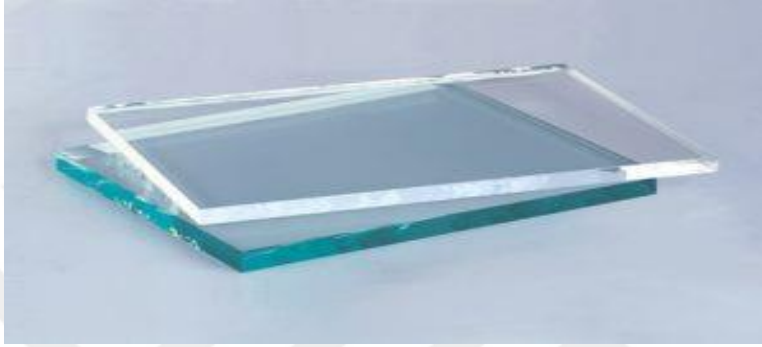
Boro silikat camında, silisin artışı camın ergime sıcaklığının yükselmesinde, sağlamlığının artmasında ve genleşmenin düşmesinde etkisi vardır. Sodyum artışı silise göre ters etki etmektedir. Alüminyum oksit ise camın sertleşmesini yavaşlatır ve ergime sıcaklığını ve sağlamlığını da artırır. Bor oksitteki artması genleşmenin düşmesini, kimyasal dayanıklılığın artmasını sağlamaktadır. Kimyasal madde ve ilaç muhafazasında, özel optik camlarda, laboratuvar kaplarında kullanılmaktadır (Anonim 2013). Resim 2.6’da boro silikat camına örnek verilmiştir.



**Resim 2.6** Boro silikat cam örneği.

#### 2.1.3.4 Alümina Silikat Camı ve Kullanım Alanları

%20'den fazla alümina, belirli bir miktarda bor ve kireç ile biraz alkali içerir. Ergime noktasının yüksek ve dilatasyon katsayısının küçük olmasından dolayı termometre, yanma tüpleri, alevle doğrudan temas edecek parçaların yapımında kullanılır (Küçükbenli 2018). Resim 2.7'de Alümina silikat camına örnek verilmiştir.



**Resim 2.7** Alümina silikat cam örneği.

#### 2.1.3.5 Silisyum Camı (%96 SiO<sub>2</sub>) ve Kullanım Alanları

%96 oranında SiO<sub>2</sub> içeren silisyum camı şekillendirme işlemi üfleme ve presleme yöntemi ile uygulanır. Dilatasyon katsayısı küçüktür. Saydam oluşu nedeniyle bu camlar UV ışınlarını çok iyi geçirir, bu nedenle UV lambaları ile mikrop öldürücü özel lambaların yapımında kullanılır (Olgun 2009). Resim 2.8'de %96 SiO<sub>2</sub> camına örnek verilmiştir.



**Resim 2.8** %96 SiO<sub>2</sub> cam örneği.

### 2.1.3.6 Silisyum Camı (%99 SiO<sub>2</sub>) ve Kullanım Alanları

%99 oranında SiO<sub>2</sub>'den içeren silis camı, diğer camlar arasında en sert ve en yüksek mukavemeti olan camdır. “Kuars camı” olarak da adlandırılmaktadır, herhangi bir oksit eklenmeden, saf kuvarsın eritilmesi ile oluşur. Genleşme katsayısının düşük olduğundan, ısı şoklarına karşı, elektrik akımına karşı ve kimyasal maddelere karşı yüksek dayanım göstermektedir (Yazıcı 2019). Resim 2.9’da solaryum camı %99 silisyum camlarına örnektir.



**Resim 2.9** %99 SiO<sub>2</sub> cam örneği.

### 2.1.4 Camların Özellikleri

Camlar karmaşık yapıya sahip olduğundan özellikleri bileşimine katılan hammaddelere ve hammaddelerin yoğunluk yüzde oranına göre farklılıklar göstermektedir. Kullanıldığı alanlara ve karşılaştığı dış faktörlere göre cam malzemenin ömrü de değişmektedir. Kullanılacak cam malzemeyi seçerken kullanılacak alanlarda karşılaşılabilecek dış etkileri ve özellikleri göz önüne alınarak seçilmelidir böylece malzemenin kullanım süresi uzamakta ve kullanıldığı alanda daha iyi verim alınmaktadır (Yazıcı 2019).

Camlar bileşimindeki hammaddelerin oranlarına göre ve cinsine göre yoğunlukları değişmektedir. Camların yoğunlukları genellikle 2,2 g/cm<sup>3</sup> ile 3,0 g/cm<sup>3</sup> aralığında değişmektedir. Fakat özel olarak üretilen camlarda 8 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta olabilmektedir. Pencere camlarında yani düz camlarda 2,5 g/cm<sup>3</sup>’tür (Küçükbenli 2018).

Camların sertliği mohs sertliğine göre 6 ile 7 arasındadır. Düz camlarda diğer camlara göre sertlik biraz düşük olup mohs sertlik değerine göre 5,5 civarındadır. Düz camların yumuşama sıcaklığı 500-600°C sıcaklık arasındadır ve 800-1300°C sıcaklıklarda eriyik halde bulunurlar akışkan özellik gösterdiklerinden kolay şekillendirilirler (Küçükbenli 2018).

Camların genleşme katsayısı bileşimindeki hammaddelerine, pişirme ve tavlama sürelerine, soğutulma hızına göre farklılık göstermektedir. Camların genleşme katsayıları genelde  $8,7 \times 10^{-6}$  dır. Genleşme katsayısında cam malzemenin kendi genleşme katsayısının yanında, kullanıldığı alanda birlikte kullanılacak olan diğer malzemelerinde genleşme katsayıları da önemlidir (Yazıcı 2019).

Yeryüzüne gelen güneş işınlarının sadece bir kısmı insan gözü tarafından görülebilir durumdadır. İnsanların gözü 380-780nm dalga boyu arasındaki işığı görebilmektedir. Bundan dolayı insan gözü UV işınlarını ve kızılötesi işınlarını göremezler. İnsan gözü tarafından güneş işınımının spektral yoğunluğunun en yüksek noktaya ulaşıncaya kadarki alanı görebilir. Cam malzemelerin saydam bir malzeme olması geniş bir kullanım alanına sahip olmasının en önemli özelliğidir. Camın amorf yapılı olması, işık işınlarının direk camdan geçmesini sağlamaktadır (Farahbakshs 2014).

Camlar su ve benzeri nötr zltilerden normal sıcaklıklarda etkilenmezler. Amorf silikanın oda sıcaklığındaki suda znrlğ %0,012 ve sıcaklığın artması ile birlikte znrlkte artarak  $\text{Si}(\text{OH})_4$  oluşur. znrlk pH 8.5'in altındaki koşullarda sabit iken pH'ın artmasıyla birlikte znrlkte artar. Hidroflorik asit ve yüksek sıcaklıkta (200°C) fosforik asit hariç silika camı asitlere karşı yüksek direnç gösterir. Laboratuvarda kullanılan cam kaplar ve güçlü asidik ortamda kullanılacak olan camlar genellikle %12 oranında  $\text{Ba}_2\text{O}_3$  içeren borosilikat camı kullanılmaktadır (Külcü 2015).

## 2.2 Sol-Jel

Sol-jel teknolojisi, çözelti formu kullanılarak farklı uygulama alanlarında seramik, cam ve kompozit malzemelerin üretim tekniğinde kullanılan bir yöntemdir. Sol-jel prosesi, sıvı fazın içerisinde bulunan katı taneciklerden oluşan sol ve koloidal süspansiyonların sonrasında sıvı faz içerisinde üç boyutlu katı inorganik ağ yapılarının jelleşmesi prosesidir. Bu yöntem, sulu ve susuz ortamda kristal olmayan koloidal boyuttaki tanecikleri kullanarak çözeltielerin hazırlanmasıdır. Koloidal olarak kullanılan tanecikler 500nm ve daha altındaki boyutlara sahip taneciklerdir (Evcin 2016).

Sol, bir sıvı içindeki koloidal katı partiküllerin kararlı bir süspansiyonu olarak tanımlanabilir. Fakat Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği (IUPAC) ise koloidal sistemi bir fazın başka bir faz dispersiyonu olarak tanımlar (Danks vd. 2016). Bir solun mevcut olması için, çevreleyen sıvıdan daha yoğun olan katı parçacıklar yeterince küçük olmalıdır, böylece dağılmasından sorumlu kuvvetler yerçekiminden daha büyüktür ve bu parçacıklar makroskopik olarak önemli bir dizi atom içermelidir (Pierre 2020).

Jel, sıvı bir ortam boyunca kararlı bir şekilde genişleyen ve sadece kabın büyüklüğü ile sınırlı olan, gözenekli üç boyutlu birbirine bağlı katı bir ağ olarak tanımlanabilir. Jellerin doğası, gözeneklerini dolduran çok gözenekli katı bir ağ ile bir sıvı ortam veya bir sıvı ortam arasındaki karmaşık bir temasa ve denge bir arada bulunmasına bağlıdır. Bu tip dengede sıvı, jeli oluşturan katı hacmini emer ve hacimce yüzde olarak büyük kısmını oluşturur (Pierre 2020).

### 2.2.1 Sol-Jel Prosesinde Kullanılan Bileşenler

Sol-jel prosesinin bileşenlerini üç ana gruba ayrılır. Bunlar; ön başlatıcılar, çözücüler ve katalizörlerdir.

### 2.2.1.1 Ön Başlatıcılar

Sol-jel prosesinde ön başlatıcı olarak çözünebilen tüm metal tuzları ve metal alkoksitler kullanılmaktadır.

Metal tuzları, genel formülü " $M_mX_n$ " şeklindedir. "M" metal, "X" bir anyonik grup, "m" ve "n" de stokiyometrik sabitidir (Toygun vd. 2013).

Metal alkoksitler, genel formülü " $M(OR)_n$ " şeklindedir. Metal alkoksitler içerdikleri yüksek elektronegatif OR grubu nedeniyle reaksiyona aktif olarak katılırlar ayrıca nem, ısı ya da ışıktaki oldukça reaktivite gösterirler. Metal tuzlarının aksine, oluşturdıkları safsızlık temel olarak organik gruplardan kaynaklanmaktadır (Toygun vd. 2013).

### 2.2.1.2 Çözücüler

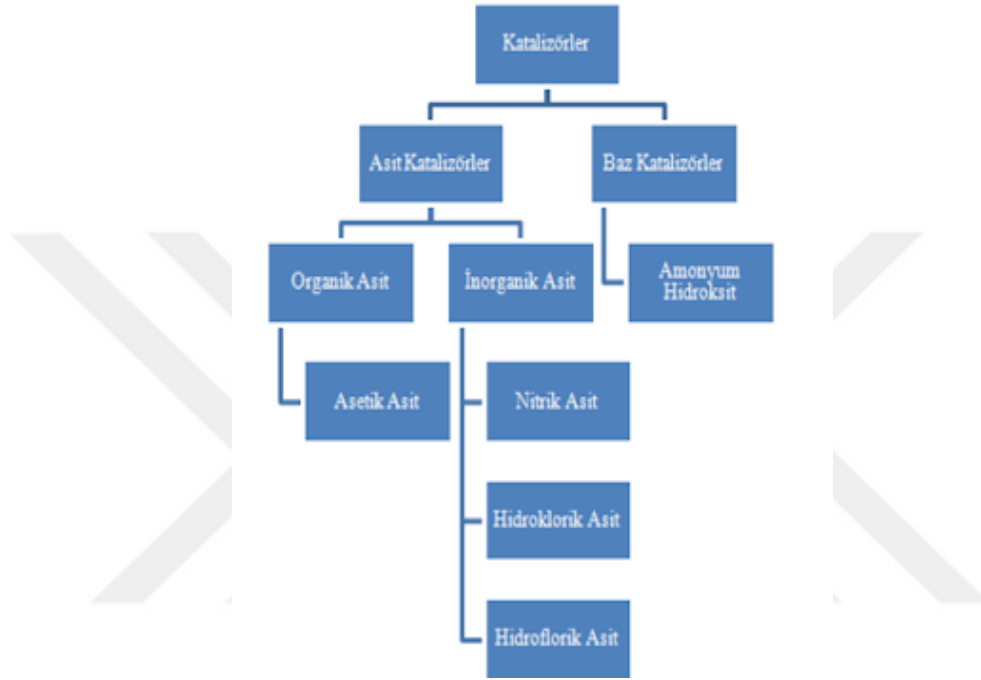
Metal tuzları ve metal alkoksitlerin çözelti kimyasal özellikleri farklıdır. Ön başlatıcı malzemenin özelliklerine göre çözücü seçimi yapılmalıdır. Çözücü, su veya bir organik çözücü olabilir. Sol-jel yönteminde alkoksit ve su birbiri ile karışmazlar bundan dolayı reaksiyonların gerçekleşmesi için uygun özellikte bir çözücü seçilmesi gerekir. Metal tuzları için su, metal alkoksitler için alkol çözücü olarak kullanılabilir (Güner 2017).

Metil alkol (metanol,  $CH_3OH$ ), etil alkol (etanol,  $C_2H_5OH$ ), propil alkol (propanol,  $C_3H_7OH$ ), butil alkol (butanol,  $C_4H_9OH$ ) gibi alkol sol-jel yönteminde başlangıç malzemesi olarak kullanılırlar ve metal oksitlerle reaksiyona girerler.

Su, alkollerden ayrı bir şekilde değerlendirilir ve sol jel prosesinde önemli bir etkiye sahiptir. Su, diğer parametrelere yani sıcaklık katalizör gibi moleküler yapıyı oluşturan ve kimyasal tepkimelere direkt dahil olan bir bileşen olup ayrıca stokiyometrik olarak gerekli orandan daha az su verilerek reaksiyonun yavaşlatılabilmesi suyun önemini göstermektedir (Çinko 2016).

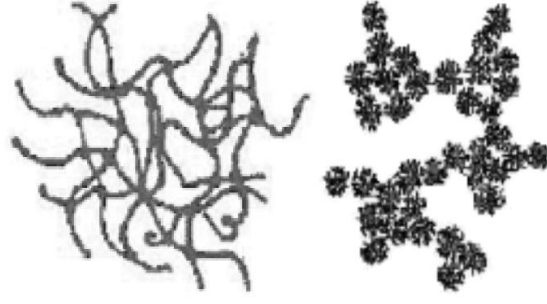
### 2.2.1.3 Katalizörler

Katalizörler, sol-jel prosesinde reaksiyonu hızlandırmak için katılır. Asidik ve bazik olmak üzere iki çeşittir. Yaygın olarak kullanılan bazı katalizörler Şekil 2.3 verilmektedir.



Şekil 2.3 Sol-jel yönteminde kullanılan katalizörler.

Asidik katalizör lineer dallanmış yani hafif bağlarla bağlı polimer üretir yani asit katalizörlü çözeltide lineer veya rastgele dallanmış polimer yapılar oluşur. Bazik katalizörde ise yüksek yoğunlukta yani kuvvetli bağlarla bağlı yapı üretir yani baz katalizörlü çözeltide gruplanmış yapıda ürün oluşur. Baz katalizörlü reaksiyonlar, asit katalizörlü reaksiyonlara göre daha yavaş olmaktadır (Güner 2017). Şekil 2.4’de sol tarafta verilen asidik katalizör ile oluşmuş yapı sağ taraftaki ise bazik katalizör ile oluşmuş yapıdır.



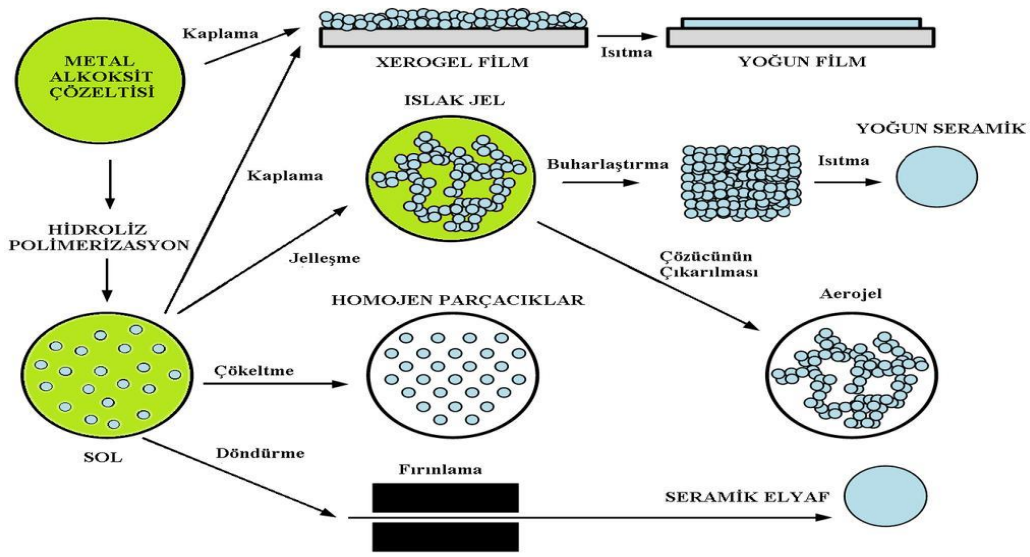
**Şekil 2.4** Asit ve baz mekanizma ile oluşmuş yapı.

### 2.2.2 Sol-Jel Prosesinde Oluşan Yapılar

Sol-jel prosesinde ilk oluşan yapı solun oluşumudur. Sol, katı partiküllerin sıvı içerisinde oluşturdukları koloidal süspansiyondur. Hidroliz ve kondenzasyon reaksiyonları sırasında gerçekleşen peptizasyon, çökeltilerin bir çözücü yardımıyla dağılan ayrışma olayıdır. Koagülasyon ise koloidal partiküllerin elektrik yükünün sıfır olmasıyla büyüyerek çökmesi olayıdır. Sol yapı peptizasyon sonucu oluşur. Hidroliz ve kondenzasyon reaksiyonları solün viskozitesini düşürerek jel yapıyı oluşturur. Daha sonra ise sol üzerinde yoğunlaşma reaksiyonları gerçekleşir ve jelleşme işlemi kolloidal partiküllerin parçalı bir şekilde kümeleşmeler oluşmasıyla başlar kümeler birbirinin içerisine geçerek topaklaşmaya başlar ve son ağ yapıyı oluşturmak üzere birbirlerine bağlanırlar. Polimerizasyon boyutu ve polimerik moleküllerin çapraz bağlantıları uzayınca tüm çözelti katılaşıp ve çapraz yapı oluşur (Toygun vd. 2013).

Jelin yapısı, katı gibi görünmesine rağmen sıvı bir çözeltilidir. Jel, sıvı içindeki gözenekli bir ağ yapı olarak düşünülebilir. Jelin yapısında hala alkol ve su gibi maddeler de mevcuttur. Kurutma işleminde çözeltideki sıvıların uzaklaştırılmasıyla jel büzülür ve yüksek gözenek içeren kserojel (xerogel) olarak adlandırılan yapıyı oluşturur (Toygun vd. 2013). Sol-jel ürünlerinin şematik gösterimi şekil 2.5’ de verilmiştir.





Şekil 2.5 Sol-jel ürünlerin şematik gösterimi.

### 2.2.3 Sol-Jel Oluşumu

Sol-jelin oluşumu zamana bağlı biri dizi aşamadan oluşur. Solün oluşumunda hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonları gerçekleşir. Metal alkoksitlerin hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonları jel üretiminin kimyasal temelini oluştururlar. Hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonları sırasındaki hızlarında oluşan farklılıklar jelleşme aşamasında farklı polimer yapıların oluşmasına neden olur. Hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonlarının hızlarını etkileyen en önemli faktörler pH, su oranı, sıcaklık, katalizör cinsi ve konsantrasyonudur (Özler 2007).

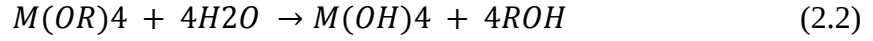
Sol-jel prosesi sırasıyla hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonları, jelleşme, yaşlandırma, kurutma ve ısıtma işlem süreçlerinden geçerek nihai ürüne ulaşılmaktadır.

#### 2.2.3.1 Hidroliz ve Yoğunlaşma Reaksiyonları

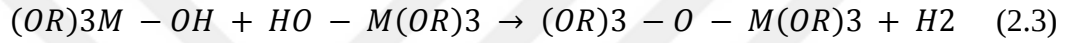
Sol-jel prosesinde ilk adım çözelti oluşturmaktır, çok saf olan başlangıç maddeleri ve uygun çözücülerle homojen çözelti hazırlanır. Sonrasında alkoksit su eklenmesi ve karıştırılmasıyla hidroliz işlemi gerçekleşir (Toygun vd. 2013). Hidroliz reaksiyonu ile hidroksil iyonu metal atomuna bağlanır;



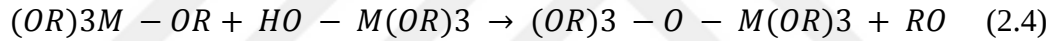
Burada, ROH alkol grubudur. Hidroliz tepkimeleri su ve katalizör miktarına bağlı olarak bütün OR grupları OH gruplarına dönüşür;



Yoğunlaşma reaksiyonu ise kısmen hidrolize olmuş iki madde oksijen köprüsü ile bağlanırlar;



Bileşenlerden herhangi birisi uğramamışsa reaksiyon;

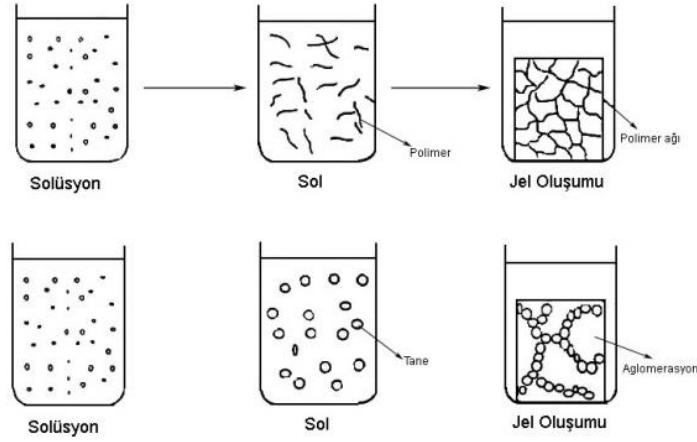


Reaksiyon ürünleri hidrolize uğramış olurlar, hidrolize uğramış ürünler birleşerek yoğunlaşma reaksiyonunu gerçekleştirmiş olur. Yoğunlaşma reaksiyonunda su veya alkol gibi küçük molekül serbest bırakılır. Bu tip reaksiyonlar ile büyük silikon bazlı moleküller elde edilebilir. Bu olaya polimerizasyon denir. Polimer, genel olarak büyük çaplı bir moleküldür ve monomeren oluşmuştur (Özler 2007).

### 2.2.3.2 Jelleşme

Solün içerisindeki kolloidal partiküller ve yoğunlaşan malzeme büyür ve makro partiküller oluşturur. Zincir içinde birbirlerine bağlanması ve sıvı içinde ağ yapı oluşmasıyla kalınlaşarak jelleşmenin olduğu ve çözeltinin viskozitesinde ani artış gözlemlenir. Jelleşme, hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonları bağlı olarak oluşur, reaksiyonlar ise kontrol edilebildiğinden jelleşme ve dolayısıyla da son ürünün mikro yapısı kontrol edilebilmektedir. Jel fazına polimerik moleküler büyüyerek üç boyutlu çapraz bağlı yapı oluşturarak veya birbirinden ayrı partiküller genişleyerek ve beraber

büyüyerek geçiş sağlanır (Özler 2007). Şekil 2.6 da jelleşme mekanizması gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Jelleşme mekanizması.

### 2.2.3.3 Yaşlandırma

Jel yapının oluşmasından sonra gelen işleme yaşlandırma işlemi denir. Yaşlandırma ıslak jelin bir süre bekletilip kimyasalların gerçekleştireceği reaksiyonlarla kararlı yapıya dönüşmesine denir. Yaşlandırma sırasında polimerleşme, sineriz, olgunlaşma ve faz değişimi gerçekleşir. Yaşlandırma kristalizasyonun oluşumunu da sağlayan bir aşamadır. Jel yaşlandırılmadığı sürece amorf formda kalmaktadır (Güner 2017).

Polimerleşme yoğunlaşma reaksiyonunun sonucunda oluşan ağ yapıların bağlanarak artması olarak tanımlanabilir. Sineriz ise jelin yapısından sıvının uzaklaştırılmasıyla meydana gelen büzülmedir. Olgunlaşma ise çözelti içerisindeki farklılıklardan oluşan ayrışma ve çöktürme işlemidir. Faz değişimi ise katı olan fazdan sıvı olan fazın ayrışmasıdır (Çinko 2016).

### 2.2.3.4 Kurutma

Jelin yapısında alkol, su ve organik çözücü gibi maddeler bulunmaktadır. Bu alkol, su ve organik çözücü gibi maddeler ısıtılarak çözeltilerden uzaklaştırılır. Bu işlemede

kurutma işlemi denir. Kurutma işlemi sol-jel prosesinin en kritik adımlarından biridir çünkü jel çatlak oluşmadan kurutulmalıdır (Toygun vd. 2013). Çatlaklar kurutma işlemi esnasında gözenekler ve bu gözeneklerdeki yüzey gerilim kuvvetlerinden dolayı gözlemlenir. Kurutma işleminde jel, mikro ölçekte gözenekli katı faz olana kadar küçülme ve büzülme gözlenir. Oluşan bu katı faza kserojel (xerogel) denir. Bu aşamada hacimsel değişimler gözeneklerdeki sıvıların çözeltiden uzaklaşması ile orantılı olarak gerçekleşir. Kurutma işlemi yavaş ve düşük sıcaklık değişimi ile oluşmaktadır. Kurutma işlemi sonucunda monolitik şekiller, fiberler, kaplamalar ve toz ürünler, elde edilir (Palalı 2005).

### **2.2.3.5 Sinterleme**

Sinterleme, ara yüzey enerjisiyle oluşan bir yoğunlaşma işlemidir. Jelin, katı-buhar ara yüzey alanı azalarak ve gözenekli kalmayacak şekilde viskoz akış ya da difüzyonla hareket etmesidir. Jellerde, katı-buhar ara yüzey alanı çok büyüktür, bu yüzden itici güç, son derece düşük sıcaklıklarda bile sinterlemek için yeterince büyüktür (Toygun vd. 2013).

Jellerin yoğunlaşma kinetikleri yapısal gevşeme ve dehidroksilasyon işleminin eş zamanlı oluşmaktadır. Hızlı ısıtmanın düşük bir sıcaklıkta tamamlanan yoğunlaşmaya izin verir. Jelin kristalizasyonundan önce sinterlemenin tamamlanması bir avantaj sağlar (Toygun vd. 2013).

Kserojeli ısıtma sırasında meydana gelen yoğunlaşma ve piroliz reaksiyonları gazı serbest bırakır, bu durum, ağdaki küçük gözeneklerin düşük geçirgenliğinden dolayı yüksek basınç oluşturabilir. Sonuç olarak; kserojeller oda sıcaklığı ile 400°C arasında ısıtıldığı zaman çatlayabilir, genellikle bu çatlama ısıtma hızı yavaşlatılarak ya da basamak basamak ısıtmayla önlenabilir. Aerogel ve dumanlı silikadan meydana gelmiş partiküllü jellerin ısıtılmasında daha az sorunla karşılaşılır, çünkü daha küçük hacimde gaz üretilir ve daha büyük gözeneklerde akış göreceli olarak daha kolaydır (Toygun vd. 2013).

## 2.2.4 Sol-Jel Kaplama Yöntemleri

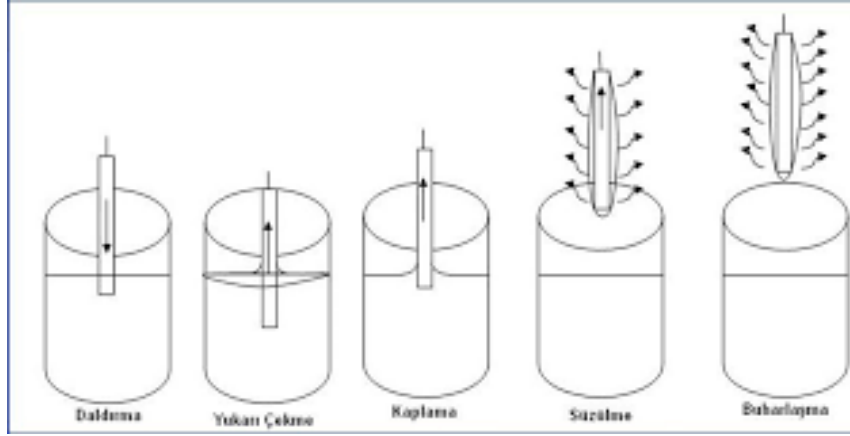
Sol jel yöntemi ile cam, seramik, metal ve plastik gibi altlıkların yüzeyleri kaplanarak yüzey özelliklerini iyileştirmek, yeni özellikler kazandırmak (optik, elektronik, kimyasal ve mekanik gibi) amacıyla uygulanan bir kaplama tekniğidir. Sol-jel kaplama yöntemleri

- Daldırmalı kaplama tekniği
- Döndürme kaplama tekniği
- Püskürtme kaplama tekniği
- Akış kaplama tekniği
- Laminer kaplama tekniği
- Merdaneli kaplama tekniği
- Baskı kaplama tekniği şeklinde sıralanabilir.

### 2.2.4.1 Daldırmalı Kaplama (Dip Coating) Tekniği

Daldırarak kaplama tekniğinde kaplanacak yüzey (altlık) kaplanacak çözeltiye daldırılıp geri çekilmesiyle yapılan bir kaplama yöntemidir. Bu yöntem hazırlanan çözeltinin içerisine kaplanacak yüzey kontrollü hızla daldırılır sonrasında kontrollü bir hızla geri çekilir. Kaplanacak yüzeyde ıslak bir film takası oluşur. Kullanılan çözücünün buharlaşması sonucu yüzeyde ince birikmiş olur. Oldukça kolay görünen bu sistemde yüzeyin çözelti içerisine sabit bir hızla daldırılıp ve sabit bir hızla çıkarılmasına dikkat edilmesi gerekir. Bunun için sabit hızlarla hareket edebilen mekanik bir sisteme ihtiyaç duyulur. Bunun dışında yüzey temizliği ve kaplamanın yapıldığı ortamın koşulları da kaplama kalitesini etkiler (Biçer 2015).

Daldırma yöntemi sırasıyla daldırma, yukarı çekme, kaplama, süzülme ve buharlaştırma olmak üzere beş adımda gerçekleşir Şekil 2.7' de verilmiştir.



Şekil 2.7 Daldırmalı kaplama yöntemi.

Daldırma tekniğinde yukarı çekme aşamasında, yüzeyi kaplanacak malzemenin sol ile temas eden tüm kısımları kaplanmış olur. Süzülme aşamasında sol damlacıkları taşıyıcının kenarlarından süzülerek yüzeyi terk eder. Dış ortam ile etkileşen çözeltinin buharlaşma süreci başlar. Buharlaşma aşamasında ise çözücü kaplamadan uzaklaşır ve kaplamadaki sol parçacıkları jelleşir. Son olarak taşıyıcı üzerinde kalan kaplama, kurutma işlemi uygulanarak film haline dönüşür. Oluşan filmlere ısıtılarak işlem uygulanarak yoğunlaştırılır. Uygulanacak ısıtma işlemin sıcaklık değerini çözelti kompozisyonu belirler (Biçer 2015).

Kaplanacak film kalınlığını ve ana akıntının şiddetini, film kaplama bölgesindeki viskozite nedeniyle hareketli taşıyıcının yukarıya doğru çekme kuvveti, yerçekimi kuvveti, sıvının konkav menisküs eğrisinde yüzey gerilimi bileşke kuvveti, kaplama bölgesine gelen sıvının sınır tabakasının eylemsizlik kuvveti, yüzey gerilim gradyanı, ayırma ve birleştirme basıncı olmak üzere 6 kuvvet etki etmektedir.

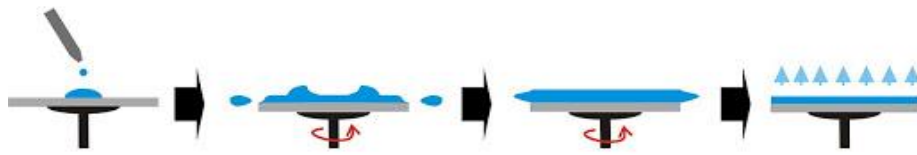
#### 2.2.4.2 Döndürmeli Kaplama (Spin Coating) Tekniği

Sol jel döndürmeli kaplama tekniği ile malzemenin yüzey kaplaması, bir grup jelin oluşması ve kurutma sonrası bu jelin kserojel şekline dönüşmesini içerir. Döndürmeli kaplama tekniğinde, vakum yardımıyla yatay konumda tutturulan yüzeyi kaplanacak malzemenin üzerine çözelti damlatılır. Damlatılan çözelti, döndürülürken merkezkaç kuvvetinin etkisiyle yüzeyin üzerine yayılması esasına dayanır. Elde edilen filmin

kalınlığı çözeltinin molaritesi, yüzeyin cinsi ve döndürme hızı gibi parametrelere bağlıdır.

Sol-jel döndürmeli kaplama tekniği, birikim, döndürme, durdurma ve buharlaşma olmak üzere dört adımda oluşur (Aksoy 2017).

Birikim aşamasında, yüzey üzerine damlatılan çözelti son kalınlık için gerekli miktarla karşılaştırıldığında çok fazladır. Bu adımda, damlatılan çözelti yüzey üzerinde yayılır. Damlatılan çözelti miktarı, işlem boyunca yüzeyin nemli kalmasını sağlayacak miktarda olmalıdır. Eğer yüzey nemli olmazsa yüzeyin tamamı kaplanmayacaktır. İkinci adımda olan döndürme adımında, yüzey istenilen döndürme hızına ulaşır. Merkezkaç kuvvetinin etkisindeki çözelti merkezden dışa doğru yayılır. Üçüncü adımda ise fazla çözelti yüzeyi terk eder. Kaplanacak filmin kalınlığı azaldıkça durdurma aşamasında yüzeyden dökülen çözelti miktarı da azalır, çünkü film inceldikçe uçucu olmayan bileşenlerin konsantrasyonu artar. Bu da viskozitenin artması anlamına gelir. Buharlaşma adımı son adımdır. Ancak tüm adımlarda bir miktar buharlaşma gözlemlenmektedir (Aksoy 2017). Şekil 2.8’de döndürmeli kaplama yönteminin kaplama basamakları verilmiştir.



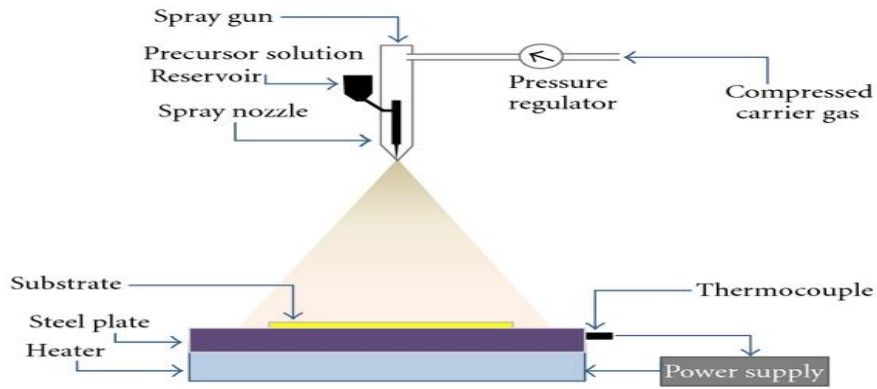
Şekil 2.8 Döndürmeli kaplama yöntemi.

#### 2.2.4.3 Püskürtmeli Kaplama (Spray Coating) Tekniği

Püskürtmeli kaplama tekniği, elde edilecek filmler için hazırlanan sulu çözeltilerin karıştırılarak sıcak yüzeylerin üzerine hava ya da azot gazı yardımı ile atomize edilerek

püskürtme tekniğidir. Püskürtmeli kaplama yöntemi diğer kaplama yöntemlere göre daha kolay ve daha ucuz bir yöntemdir. Püskürtmeli kaplama yönteminin, oldukça basit yapıda olması, gerekli ön hazırlıkları yönünden daha ekonomik olması, üretim işleminde daha kontrollü yapıda olması, ince film üretiminde herhangi bir ortama ihtiyaç duyulmaması ve üretim işleminin adım adım takip edilebilmesi nedeni ile diğer kaplama yöntemlerine göre çok daha avantajlıdır. Ayrıca püskürtme yöntemi n tipi ve p-tipi katkılamaya da izin verir (Sönmezoğlu vd. 2012).

Filmin kalitesi, kaplanacak yüzeyin sıcaklığı, püskürtme oranı ve filmin kalınlığı gibi deneysel parametrelerle değişir. Aynı zamanda püskürtme başlığının çapı, püskürtme başlığının kaplanacak yüzeyle arasındaki uzaklığı, saf su oranı, çözeltideki ve hidroklorik asit gibi deneysel parametreleri de iyi kalitede film elde edilmesinde önemlidir. Püskürtülen çözeltinin damlacık büyüklüğü, filmin kalitesi üzerine büyük bir etkiye sahiptir (Sönmezoğlu vd. 2012). Şekil 2.9 püskürtmeli kaplama yönteminin kademeleri gösterilmiştir.



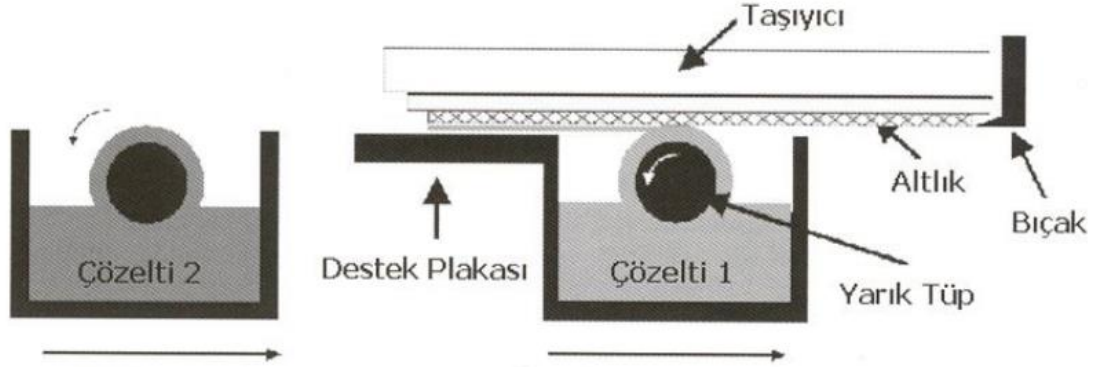
Şekil 2.9 Püskürtmeli kaplama yöntemi.

#### 2.2.4.4 Akış Kaplama Tekniği

Akış kaplama tekniğinde, sıvı çözelti kaplanacak malzemenin yüzeyi üzerine dökülmesiyle yapılan kaplama işlemidir. Akış kaplama tekniğinde yüzeyi kaplanacak malzeme askıda tutulur ve sıvı çözelti üzerine dökülür, dökülen fazla çözelti yüzeyden akar ve tekrar kullanılmak üzere bir tankın içine toplanır (İnt.Kyn.6). Kaplama



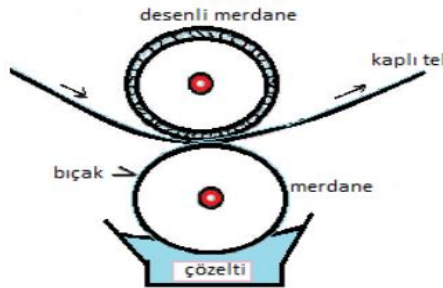




Şekil 2.11 Laminer kaplama yöntemi.

#### 2.2.4.6 Merdaneli Kaplama Tekniği

Şekil 2.12’ de gösterildiği gibi merdaneli kaplama tekniği, hareketli bir yüzey veya ağ üzerine sürekli dönen bir veya birden fazla merdane yardımıyla kaplama yöntemidir. En yaygın merdaneli kaplama yöntemi olan gravür kaplamadır. Bu yöntem viskozitesi yüksek sıvılar kullanılarak seri bir şekilde ince kaplamalar elde edilmektedir. Bu yöntemde 15 m/s hızında 1-50 mm kalınlığında kaplamalar elde edilir (Güner 2017).



Şekil 2.12 Merdaneli kaplama yöntemi.

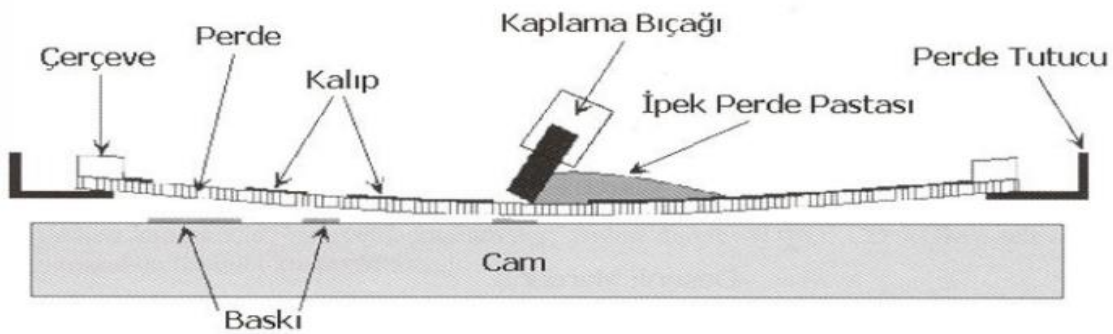
Merdaneli kaplama tekniği ile gravür kaplamada desenler krom merdane yüzeyine kimyasal dağlama, mekanik ya da elektromekanik olarak kazınarak oluşturulur. Kaplamada kullanılan merdane yüzeyindeki fazla kaplama çözeltisi esnek bıçaklar ile sıyrılır. Merdaneli kaplama tekniğinde seri bir şekilde üretim yapılması, kaplama kalınlıkları ve homojenliği merdane yüzeylerindeki doku hacmi ve homojenliği ile kontrol edilebilmesidir. Ancak bu yöntemde merdanelerin aşınması ve işlem parametrelerinin değiştirilmesinin uzun zaman alması hem ekonomik açıdan hem de

zaman açısından dezavantaj oluşturmaktadır. Bu yöntem plastik şeritler üzerine antireflektif kaplamalar yapılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Guner 2017).

#### 2.2.4.7 Baskı Kaplama Tekniği

Baskı kaplama tekniği, dekor camlar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Belirli bir dokuya sahip ipekten yapılmış taslak tabakasına çözelti emdirilip sonra malzeme yüzeyine baskı uygulanması tekniğidir. Bu teknikle 10-100µm kalınlığında ince film kaplamaları yapılabilir. Baskı kaplama tekniğinde organik polimer kökenli malzemeler kaplama malzemesi olarak kullanılır. Kaplama işleminde seramik boyalı emaye kaplamalar ve uygun ergime sıcaklıklı flitler kullanılabilir. Kaplamaların uygulanmasında düşük sıcaklık pirolizi ya da ultra viole (UV) pirolizi kullanılmaktadır (İnt.Kyn.6).

Bu yöntem genellikle otomotiv sanayisinde, dekoratif cam imalatında, gösterge panellerinin içinin ve fırın camlarının kaplamasında ve ayrıca seramik ve cam yüzeylerin cam kaplanmasında, mikro optik elementlerde de kullanılmaktadır (İnt.Kyn.6).



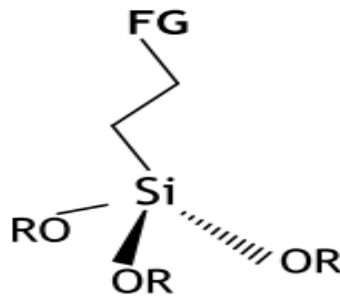
Şekil 2.13 Baskı kaplama yöntemi.

### 2.3 Silanlar

Silan birleştirme maddeleri, molekülleri hem organik hem de inorganik malzemelerle bağlanan fonksiyonel gruplar içeren bileşiklerdir. Bir silan birleştirme maddesi, organik

materyallerde inorganik materyalleri bağlayan bir tür aracı görevi görür. Silan birleştirme maddelerini kompozit malzemelerin mekanik mukavemetini arttırmak, yapışmayı geliştirmek, reçine modifikasyonu ve yüzey modifikasyonu için kullanışlı kılan bir özelliktir (Anonim 2017).

Silan birleştirme maddeleri, aynı molekülde iki tür reaktivite inorganik ve organik içeren silikon bazlı kimyasallardır (Anonim 2019). Silanların genel yapısı şekil 2.14’de verilmiştir.

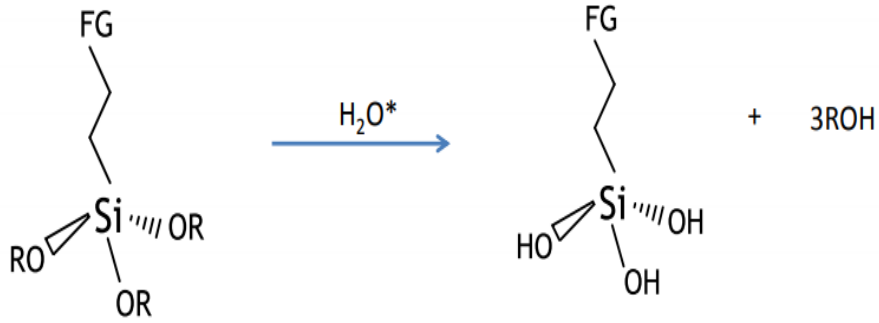


Şekil 2.14 Silanların yapısı.

Fonksiyonel grup (FG) sentetik reçineler gibi organik maddelerle kimyasal bağlar oluşturan reaktif gruplardır. Organik maddeler üzerinde reaksiyon mekanizması ısılatılabilirliği ve uyumluluğu artırır ayrıca reçinelerle kimyasal bağlar oluşturur. Örnek olarak vinil, epoksi, metakriloksi grupları verilebilir. Hidrolize edilebilir grup (OR) Cam dahil inorganik malzemelerle kimyasal bağlar oluşturan reaktif gruplardır. Hidrolize edilebilir grupların özellikleri, metoksi tipi hızla hidrolize olur, etoksi tipi yavaşça hidrolize olur ve bileşimler ilave edildikten sonra bile oldukça kararlı olacaktır, bu tip daha çevre dostudur, çünkü hidroliz ürünü etanoldür, dialkoksi tipi hidrolizden sonra iyi stabilite, yoğunlaşma ürünleri düz zincirli yapılar oluşturur, trialkoksi tipi yüksek çapraz bağlama yoğunluğu ile yüksek reaktivite, inorganik malzemeler ile güçlü bağlanma gösterirler (Anonim 2017).

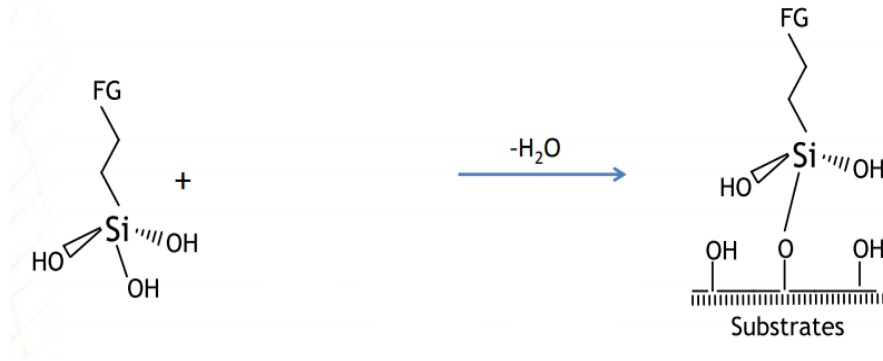
Silanlar, çoğu monomer olan 2 aşamalı Reaksiyon Kimyasallarıdır. İnert gaz (N<sub>2</sub>) altında depolandığında, Silanlar -R veya Akil reaktif olmayan grup olan FG-Si-OR formunda reaktif olmayan monomer olacaktır (İnt.Kyn.7).

Bununla birlikte, Silanlar, -Si – OR' nin “Silanol” grubu olarak adlandırılan -Si-OH olarak değiştirileceği ve substratlara veya dolgu maddelerine reaksiyona girmeye veya bağlanmaya hazır olduğu nem ile hidrolize edilebilir. –Si-OR' nin -Si-OH' a değişmesi silan reaksiyonunun 1. adımı olan “Hidroliz” olarak adlandırılır (Şekil 2.15) (İnt.Kyn.7).



Şekil 2.15 Silanların hidrolizi.

Reaksiyonun 2. adımı “Yoğunlaşma” dır. Hidrolizden sonra Silan, çok reaktif olan ve substratlara veya dolgu maddelerine bağlanmaya hazır olan “Silanol” grubu veya Si-OH içerir. Bu yapıştırma aşamasına, alt tabakalara yapışma arttırıcı veya dolgu maddelerine birleştirme / dağıtma maddesi olan "Yoğunlaşma" denir (Şekil 2.16) (İnt.Kyn.7).



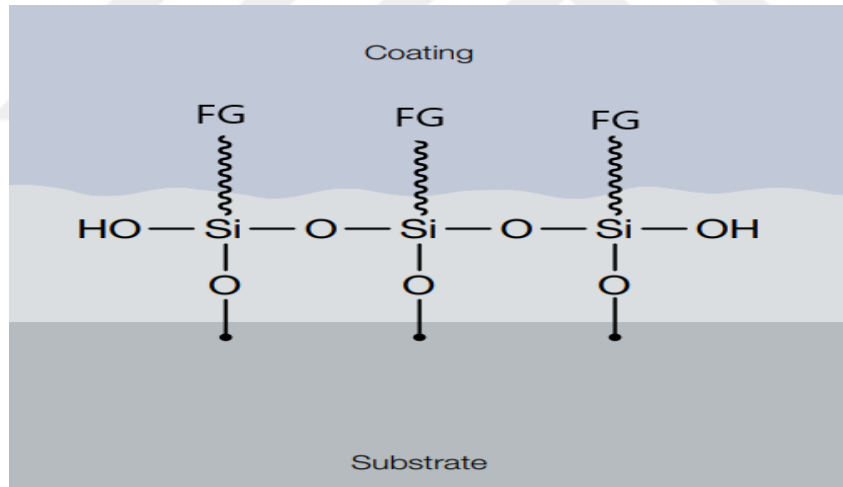
Şekil 2.16 Silanların yoğunlaşması.

### 2.3.1 Tipik Silan Uygulamaları

Organofonksiyonel silanların bağ yapım özelliği yapışma arttırıcı, birleştirme maddesi ve polimer çapraz bağlama olmak üzere üç uygulama alanında önemlidir.

### 2.3.1.1 Yapışma Arttırıcı

Organofonksiyonel silanlar, kaplamaların, yapıştırıcıların ve sızdırmazlık maddelerinin çok çeşitli yüzeylere yapışmasını arttırır (Anonim 2012). Silan birleştirme ajanları, boyalar, mürekkepler, kaplamalar, yapıştırıcılar ve sızdırmazlık malzemeleri için entegre katkı maddeleri veya primerler olarak kullanıldığında etkili yapışma arttırıcılardır. İntegral katkı maddeleri olarak, etkili olabilmesi için yapıştırılmış ürün ile substrat arasındaki ara yüze geçmeleri gerekir. Bir astar olarak, silan birleştirme maddesi, yapışacak ürün uygulanmadan önce inorganik substrata uygulanır. Bu durumda, silan optimum pozisyonudadır (fazlar arası bölgede), burada bir yapışma arttırıcı olarak etkili olabilir. Doğru silan birleştirme maddesi kullanılarak, kötü yapışan boya, mürekkep, kaplama, yapıştırıcı veya sızdırmazlık maddesi, zorlu çevre koşullarına maruz kalsa bile sık sık yapışmayı sürdürecektir bir malzemeye dönüştürülebilir (Anonim 2009). Şekil 2.17’de silanın yapışma arttırıcı yapısı verilmektedir.

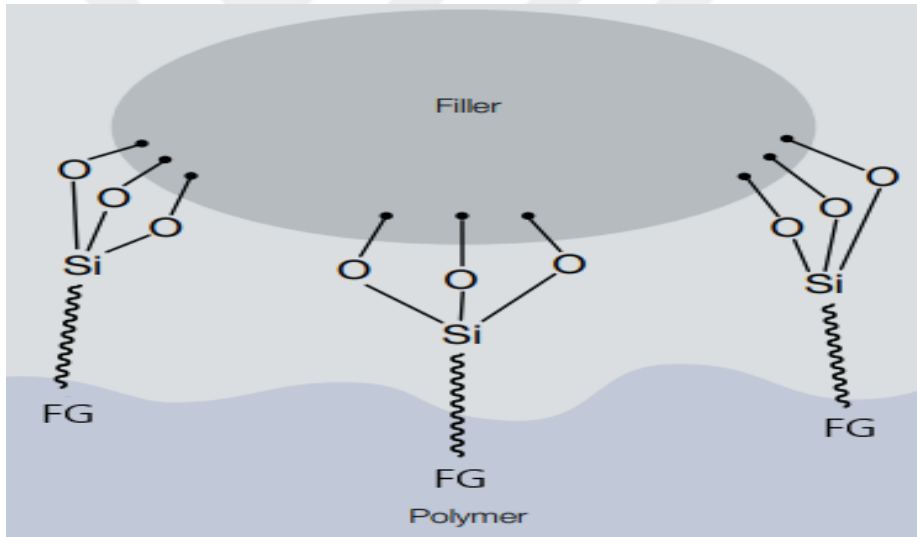


Şekil 2.17 Silanların yapışma arttırıcı yapısı.

### 2.3.1.2 Birleştirme Maddesi

Yüzey modifikasyon uygulaması, organofonksiyonel silanların uyumluluğunu artırır ve inorganik dolgu maddelerinin organik reçinelere kimyasal olarak bağlanmasını sağlar (Anonim 2012). Şekil 2.18’de silan birleştirme maddesinin yapısı gösterilmiştir. Bu uygulamanın tipik özelliği, plastiklere ve kauçuklara eklenen fiberglas ve mineral dolgu

maddeleri gibi takviyelerdir. Hem termoset hem de termoplastik sistemlerle kullanılırlar. Silika, talk, mika, wollastonit, kil ve diğerleri gibi mineral dolgu maddeleri, silan ile ön işleminden geçirilir veya bileşik oluşturma işlemi sırasında yerinde işlenir. Hidrofilik, organoreaktif olmayan dolgu maddesine organofonksiyonel bir silan uygulanarak, yüzeyler reaktif ve organofilik hale dönüştürülür. Fiberglas uygulamaları arasında otomobil gövdeleri, tekneler, duş kabinleri, baskılı devre kartları, uydu antenleri, plastik borular ve kaplar ve diğerleri bulunur. Mineral dolgulu sistemler arasında güçlendirilmiş polipropilen, silika dolgulu kalıplama bileşikleri, silikon-karbür taşlama taşları, agrega dolgulu polimer beton, kum dolgulu döküm reçineleri ve kil dolgulu EPDM tel ve kablo yer alır. Ayrıca otomobil lastikleri, ayakkabı tabanları, mekanik ürünler ve diğer birçok uygulama için kil ve silis dolgulu kauçuk da dahildir (Anonim 2009).

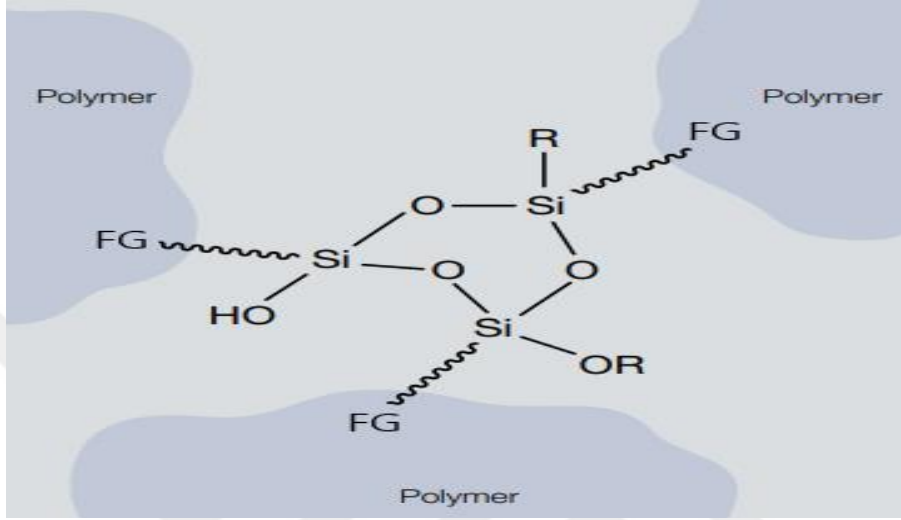


Şekil 2.18 Silanların birleştirme madde yapısı.

### 2.3.1.3 Çapraz Bağlama Maddesi

Organofonksiyonel silanlar organik polimerler için çapraz bağlayıcılar olarak işlev görür (Anonim 2012). Şekil 2.19’da silanların çapraz bağlama madde yapısı gösterilmiştir. Organofonksiyonel silanlar, trialkoksisilil grubunu polimer omurgasına bağlamak için organik polimerler ile reaksiyona girebilir. Silan daha sonra, silanın kararlı, üç boyutlu bir siloksan yapısına çapraz bağlanması için nemle reaksiyona

girmeye hazırdır. Böyle bir mekanizma, boyalara, kaplamalara ve yapıştırıcılara dayanıklılık, su direnci ve ısı direnci kazandırmak için plastikleri, özellikle polietileni ve akrilikler ve ürethanlar gibi diğer organik reçineleri çapraz bağlamak için kullanılabilir (Anonim 2009).



Şekil 2.19 Silanların çapraz bağlama madde yapısı.

## 2.4 Literatür Çalışmaları

Li vd. (2000) inorganik-organik hibrit malzemeler, bir metal veya yarı metal alkoksitin silan ile modifiye edilmiş bir organik bileşik veya polimer ile birlikte sol-jel reaksiyonları ile hazırlamışlar. Bir trietoksisilathı dietilentriamin (f-DETA) ve TMOS karışımları, bir asidik ortamda hidrolize edildi ve elde edilen hidrolizatlar, polikarbonat, bakır, pirinç ve paslanmaz çelik üzerine döndürülerek veya daldırılarak kaplandı ve standart aşınma testlerinde karşılık gelen kaplamasız olanlardan çok daha düşük aşınma oranları sergilemiştir.

Li vd. (2001), inorganik-organik nanokompozit kaplamalar, homojen olarak nano boyutlandırılmış ZnO parçacığını moleküler inorganik-organik hibrit matrislere eklenmesi ve eğerme tekniği ile PMMA yüzeylerin üzerine hazırlamış. Hibrit matrisler GLYMO ve TEOS'dan türetilmiştir. Elde edilen kaplamalar yoğun, esnek, aşınmaya dirençli ve UV emici olduğu gözlenmiştir.



Que vd. (2003),  $\text{TiO}_2$  ve organik olarak modifiye edilmiş silan kompozitler yoluyla sert optik kaplamalar incelenmiştir. Öncüler olarak GLYMO, ve tetrapropylorthotitanate (TPOT) kullanılarak sol-jel tekniği ile hazırlanmıştır.  $1000^\circ\text{C}$  ısıtma işlem sıcaklığında 10 GPa kadar yüksek sertliğe ulaşıldı. Kaplamanın yüksek sertliğinin kaplamadaki karbon ve titanyum içeriği ile ilgili olduğu öne sürmüştür.

Boztoprak vd. (2007), 3-izosiyanat-propil trimetoksisilan (ICPTMS) ile modifiye edilerek TEOS ile birlikte hazırlanan sol karışımı, polyester Akrilat ve çapraz bağlayıcıyla oluşan çeşitli formülasyonlar hazırlanarak elde edilen kaplama malzemesi koronalanmış polikarbonat plakaların yüzeyine uygulanmıştır. Bifonksiyonel fotobaşlatıcı ve TEOS ile başlatılan hibrid formülasyonların sertliği ve aşınma dayanımının iyileştiği saptandı. PC levhaların koronalanması, formülasyonların levhalar üzerine iyi yapışmasına katkı sağlamış. Solvent ve kimyasal dayanım deneyleri, hibrid malzemelerin tamamının ilgili uygulamalar için iyi bir potansiyel alternatif olduğunu göstermiştir.

Wu vd. (2008), GLYMO ve TEOS bazlı çizilmeye dayanıklı kaplamaları polikarbonat yüzeyler üzerinde etkilerini çalışmalarında incelemişlerdir. Çapraz bağlama maddesinin ve koloidal silika dolgu maddesinin kaplama malzemesine kendinden çapraz bağlanmasını, sertliğini, elastik modülünü ve kırılma tokluğunu arttırdığı gözlemlenmiştir. Kalem sertliği testlerinde 2B'den 5H'ye yükseltmişler.

Chen vd. (2011), ortamda kürlenebilen 3-metakriloksipropilmetil-dimetoksisilanın (MPDS) ve metiltrietoksisilanın (MTES) hidrolizi ve yoğunlaştırılmasından sonra 3-aminopropiltrietoksisilan (APS) ile karıştırılması suretiyle hazırlamışlar. Polisiloksan kaplamaların mekanik mukavemetini arttırmak için uygun bir hidroliz öncesi işlem veya daha fazla APS yarar sağladığı gözlenmiştir. Yüksek sertlik ve mükemmel çizilme direncine sahip polisiloksan kaplamalar tercihen MPDS / MTES'in düşük molar oranında hazırlanabilir.

Lakshmi vd. (2011), iyileştirilmiş sertliğe sahip sol-jel süperhidrofobik kaplamalar, füme silika nanopartiküllerin, metiltrietoksisilan (MTEOS) ve koloidal silikanın kısmen

yoğunlaştırılmış hibrid soluna gömülerek hazırlandı. Sola 25-30 nm boyutunda füme silika parçacıkları dahil edildi ve karışım, cam substrat üzerine püskürtmeyle kaplandı. Sol karışımındaki silika konsantrasyonu, 162,5°'lik temas açısı ve 5H'lik bir kalem sertliği ile sağlam süperhidrofobik kaplamalar elde edilmiştir.

Chantarachindawong vd. (2012), koloidal silika ve bir polisiloksan matrisinden hazırlanan çizilmeye dayanıklı film oluşumunu çalışmalarında araştırmışlardır. Metiltrimetoksisilan (MTMS) ve silis solü ( $\text{SiO}_2$ ) ile karıştırılmıştır. MTMS (polisiloksan), koloidal silikanın yüzeye yapışmasını sağlayan polimerik bağlayıcı ve çizilmeyi engelleme görevi görmektedir. Ağırlıkça %40-60 aralığında  $\text{SiO}_2$  içeriğinde filmlerin şeffaf, çatlaksız sert bir kaplama, mükemmel çizilme direnci, iyi yapışma ve çok iyi çevre direnci olduğu gözlemlenmiştir.

Sowntharya vd. (2012), titanyum tetraizopropoksit ve epoksi veya akrilik ile modifiye silanlardan türetilen hibrit nanokompozit kaplamalar PC üzerine biriktirildi. Modifiye edilmiş silandan elde edilen kaplama için kalem sertliği 3H'ye yükselir. Ayrıca, aynı çözüldüden kaplamaların aşınma direnci 500 döngüden sonra bulanıklıkta %6'lık bir değişiklik ile maksimum olmuştur. Akrilik modifiye silan ve titanya solüsyonundan hazırlanan kaplamalar 0.52 GPa'lık maksimum nano indentasyon sertliği göstermiştir.

Yahyaie ve Mohseni (2013), sol-jel bazlı UV kürlemeli hibrit kaplamalar, farklı silanların çeşitli üretan akrilat monomerler ile birleştirilmesiyle hazırlanmıştır. Daha düşük akrilik silan içeriği ve daha yüksek inorganik / organik ağırlık oranlarının sertliği, elastik modülü ve çizilme direncini artırdığı ortaya çıktı. İnorganik fazın artması elastik modülü ve sertliği arttırdı. Daha yüksek elastik modül, filmlerin elastik geri kazanımını ve çizilme direncini arttırmıştır. Orta düzeyde sertliğin aşınma direncinde daha iyi performans gösterdiğini bulmuşlar.

Yavaş vd. (2014), PC yüzeylerin üzerine çizilmeye karşı dirençli silika bazlı hibrid kaplamaları çalışmalarında incelemişlerdir. Bu kaplamalar asit katalizli TMOS: DETA:  $\text{H}_2\text{O}$ : 2-propanol sırasıyla ağırlıkça %30:30:20:20 çözeltisine daldırılmasıyla yapılmıştır.  $5\pm 1\mu\text{m}$  kalınlıkta %86-88 görünür bir geçirgenlik ve 70 HV1'e yükseldiği

gözlemlenmiş.  $8\pm1\mu\text{m}$  kalınlıkta iken 250 HV1'e yaklaşan bir yüzey sertliğine ulaşılabilir. Fakat optik geçirgenlik değeri %20-30 oranında azalmaktadır.

Kumar vd. (2015), TEOS ve GLYMO bazlı mekanik olarak sağlam kaplamalar bir sol-jel yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır. Kaplamanın hidrofobikliğini artırmak için floroalkilsilan (FAS) ve silika dolgu maddeleri eklenmiştir. Dolgu boyutunun 1-5  $\mu\text{m}$ 'den 10-20 nm'ye düşürülmesi ile bu kaplamaların su temas açısının (CA) 115°'den 164°'ye yükseldiği bulunmuştur.

More vd. (2017), sol-gel yöntemiyle silan öncüsü olarak kullanılan viniltrimetoksisilan (VTMS) ile PMMA için geliştirdiler. Kaplama ayrıca gümüş nanoparçacıklar süspansiyonu (SNpS) ile modifiye edilir. Kaplamanın bir çizik yüzeye uygulanmasıyla, çiziklerin kolayca gizlenebildiği ve bozulan tabakanın optik özelliğinin artırıldığı görülmektedir. Bu nedenle, bu kaplama çizik PMMA tabakası için bir katma değerdir ve düz ve çizik PMMA yüzeyinin mekanik performansını artırır.

Akarsu ve Çamurlu (2018),  $\text{TiO}_2$  partiküllerinin yüzeyleri GLYMO ile modifiye edilmiş ve cam yüzeyler bu çözelti ile döndürülerek kaplama işlemi ile kaplanmıştır. Elde edilen filmlerin yapışmaları 5B olarak sınıflandırılmış ve filmlerde  $\text{TiO}_2$  oranının artmasıyla kalem sertliği artmıştır. Film kalınlığı 5 $\mu\text{m}$ 'den 0.3 $\mu\text{m}$ 'ye düşmüştür.

Nementh ve Liu (2019), GLYMO ve metiltrimetoksisilandan (MTMS) türetilen sol-jel kaplamalar ve silika nanopartikül dolgusu hazırlanmıştır. Kaplama sertliği (H) ve azaltılmış modül ( $E_r$ ) artan ısı işlem sıcaklıkları ile büyük ölçüde artmıştır. MTMS'nin kaplamalarda GLYMO ile kısmen değiştirilmesi, başlangıçta sertliği ve modülü artırdı, ancak GLYMO'nun daha büyük oranları H ve  $E_r$ 'i azalttığı gözlenmiştir.

Chen vd. (2019), nano-silika parçacıklarının polimer matris içindeki uyumluluğunu artırmak için, nano-silika parçacıkları ilk olarak GLYMO ile modifiye edilmiştir. Modifiye edilmemiş nano silikaya kıyasla, GLYMO ile modifiye edilmiş nano silika partikülleri, çizilme direncini daha önemli ölçüde artırmış ve su bazlı epoksi kaplamaların şeffaflığını ve parlaklığını daha az etkilemiştir.

### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1 Cam Altlıklar ve Yüzeyinin Temizlenmesi

Bu çalışmada altlık olarak 26mm x 76mm x 1mm boyutlarında mikroskop lam camları kullanılmıştır. Cam altlıklar kullanılmadan önce tüm inorganik ve organik kalıntıların giderilmesi ve yüzeyleri aktifleştirmek için kuvvetli  $H_2SO_4$  ile  $H_2O_2$  sırasıyla ağırlıkça %70:30 hazırlanan piranha çözeltisinde 1 saat bekletildikten sonra saf su içerisine daldırılmıştır. Saf sudan çıkarılan camların yüzeyleri kurutuldu ve iz kalmayacak şekilde temizlenmiştir.

#### 3.2 Çözeltilerin Hazırlanması

Cam yüzeyleri kaplamak için GLYMO, DAMO, APTES, TEOS, A.Ac, Zr Alkoksit, Ti Alkoksit, CeO,  $Ce(NO_3)_3$ , koloidal silika,  $ZrO_2$ ,  $TiO_2$ , etanol, İPA, su , 25 HCl, BYK-377 ve laromer EA 8765R kimyasalları kullanılarak farklı kombinasyonlarda kaplama çözeltisi hazırlanmıştır.

Cam yüzeyleri kaplamak için hazırlanan çözeltiler içerdikleri bileşenlere göre gruplara ayrılmıştır. Her kaplama çözeltisine çözelti kodu verilmiştir.

1. Grup' ta GLYMO, Etanol, Zr Alkoksit, Ti Alkoksit,  $H_2O$  HCl ve BYK-377 kimyasalları kullanıldı. 1. Grup'ta kimyasallar bir kap içinde birleştirilmiştir. Elde edilen karışımın pH değeri 4-5 olana kadar HCl eklenmiştir. 2 saat boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. 1. Grup' ta kullanılan kimyasallar Çizelge 3.1'de gösterilmiştir. 1. Grup numuneleri BYK-377 katkısız olan numuneleri 1(A) grubu olarak, BYK-377 katkılı olan cam numuneleri ise 1(B) grubu olarak iki ayrı grupta test analizleri incelenmiştir.

**Çizelge 3.1** 1. Grup Ti ve Zr alkoksitli hazırlanan bileşimleri.

| Çözelti Kodu | GLYMO  | ETANOL | Zr Alkoksit | Ti Alkoksit | H <sub>2</sub> O | HCl    | BYK-377     |
|--------------|--------|--------|-------------|-------------|------------------|--------|-------------|
| SR1          | 4,0 gr | 40 gr  | -           | -           | 0,5 gr           | 4-5 pH | -           |
| SR1-1        | 4,0 gr | 40 gr  | -           | -           | 0,5 gr           | 4-5 pH | 1 damla=1cc |
| SR2          | 3,5 gr | 40 gr  | 0,5 gr      | -           | 0,5 gr           | 4-5 pH | -           |
| SR2-1        | 3,5 gr | 40 gr  | 0,5 gr      | -           | 0,5 gr           | 4-5 pH | 1 damla=1cc |
| SR3          | 3,5 gr | 40 gr  | -           | 0,5 gr      | 0,5 gr           | 4-5 pH | -           |
| SR3-1        | 3,5 gr | 40 gr  | -           | 0,5 gr      | 0,5 gr           | 4-5 pH | 1 damla=1cc |
| SR4          | 3,0 gr | 40 gr  | 0,5 gr      | 0,5 gr      | 0,5 gr           | 4-5 pH | -           |
| SR4-1        | 3,0 gr | 40 gr  | 0,5 gr      | 0,5 gr      | 0,5 gr           | 4-5 pH | 1 damla=1cc |

2. Grup' ta GLYMO, TEOS, ETANOL, H<sub>2</sub>O, HCl, koloidal silika ve CeO kimyasalları kullanılmıştır. Başta iki farklı çözelti hazırlanmıştır. İlk çözelti GLYMO:H<sub>2</sub>O:Etanol 1 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. İkinci çözelti TEOS:H<sub>2</sub>O:Etanol 1 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Daha sonra ikinci çözelti ilk çözeltinin üzerine eklenerek karıştırılmıştır. Elde edilen karışım pH:3 olana kadar HCl eklenmiştir. Karışımları 4 grubu ayırıp koloidal silika ve CeO katılarak karışımlar tamamlanarak 80°C' de 1 saat ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. 2. Grup'ta kullanılan kimyasallar Çizelge 3.2' de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.2** 2. Grup koloidal silikalı bileşimler.

| Çözelti Kodu | GLYMO   | TEOS    | H <sub>2</sub> O | ETANOL  | HCl  | Koloidal Silika | CeO    |
|--------------|---------|---------|------------------|---------|------|-----------------|--------|
| SR5          | 59,1 gr | 85,0 gr | 22,5 gr          | 25,0 gr | 3 pH | -               | -      |
| SR5-1        | 59,1 gr | 85,0 gr | 22,5 gr          | 25,0 gr | 3 pH | -               | 1,0 gr |
| SR6          | 59,1 gr | 85,0 gr | 22,5 gr          | 25,0 gr | 3 pH | 0,01 gr         | -      |
| SR6-1        | 59,1 gr | 85,0 gr | 22,5 gr          | 25,0 gr | 3 ph | 0,01 gr         | 1,0 gr |

3. Grup' ta GLYMO, DAMO, izopropil alkol, Zr Alkoksit, Ti Alkoksit ve CeO kimyasalları kullanılmıştır. 3. Grup' ta verilen kimyasallarla iki farklı çözelti hazırlanmıştır. İlk çözeltide GLYMO/H<sub>2</sub>O 1 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmış ve sonrasında izopropil alkol eklenmiştir, ikinci Çözeltide DAMO/H<sub>2</sub>O çözeltisi 1 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Daha sonra ikinci çözelti ilk çözeltinin üzerine eklenmiştir. İki çözeltinin karışımından elde edilen çözelti Zr alkoksit, Ti Alkoksit CeO

katkıları katılarak 1 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Elde edilen solüsyonlar 80'de 30 dk. da ısıtılma tabi tutulmuştur. 3. Grup' ta kullanılan kimyasallar Çizelge 3.3'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.3** 3. Grup DAMO'lu bileşimler.

| Çözelti Kodu | GLYMO/H <sub>2</sub> O | DAMO /H <sub>2</sub> O | İZOPROPİL ALKOL | Zr ALKOKSİT | Ti ALKOKSİT | CeO    |
|--------------|------------------------|------------------------|-----------------|-------------|-------------|--------|
| SR7          | 2,36/0,54 gr           | 2,22/0,54 gr           | 2,0 mL          | -           | -           | -      |
| SR8          | 2,36/0,54 gr           | 2,22/0,54 gr           | 2,0 mL          | 1,0 mL      | -           | -      |
| SR9          | 2,36/0,54 gr           | 2,22/0,54 gr           | 2,0 mL          | -           | 1,0 mL      | -      |
| SR10         | 2,36/0,54 gr           | 2,22/0,54 gr           | 2,0 mL          | -           | -           | 1,0 gr |

4. Grup'ta GLYMO, etanol, H<sub>2</sub>O, Ti Alkoksit ve A.Ac. kimyasalları kullanılmıştır. 4. Grup'ta verilen kimyasallarla iki farklı çözelti hazırlanmıştır. İlk çözeltide GLYMO:etanol:H<sub>2</sub>O 1 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. İkinci çözeltide Ti Alkoksit:Asetil Aseton 1 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. İkinci hazırlanan çözelti ilk hazırlanan çözeltiye eklenmiştir. Elde edilen çözelti manyetik karıştırıcı ile 24 saat boyunca karıştırılmıştır. 4. Grup'ta kullanılan kimyasallar Çizelge 3.4'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.4** 4. Grup Ti alkoksit ve asetil asetonlu bileşimler.

| Çözelti Kodu | GLYMO   | ETANOL  | H <sub>2</sub> O | Ti ALKOKSİT | ASETİL ASETON |
|--------------|---------|---------|------------------|-------------|---------------|
| SR11         | 6,30 gr | 4,91 gr | 1,92 gr          | 1,89 gr     | 2,67 gr       |
| SR12         | 5,51 gr | 4,29 gr | 1,68 gr          | 2,84 gr     | 4,01 gr       |
| SR13         | 4,73 gr | 3,68 gr | 1,44 gr          | 3,79 gr     | 5,34 gr       |
| SR14         | 3,94 gr | 3,07 gr | 1,2 gr           | 4,74 gr     | 6,68 gr       |

5. Grupta GLYMO, etanol, H<sub>2</sub>O, ZrOCl<sub>2</sub> ve A.Ac. Kimyasalları kullanıldı. Başta iki farklı çözelti hazırlanmıştır. İlk çözelti GLYMO:etanol:H<sub>2</sub>O 1 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. İkinci Çözelti ZrOCl<sub>2</sub>:Asetil Aseton 1 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. İkinci çözelti ilk Çözeltiye eklenmiştir. Elde edilen çözelti manyetik karıştırıcı ile 24 saat boyunca karıştırılmıştır. 5. Grup'ta kullanılan kimyasallar Çizelge 3.5'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.5** 5. Grup  $ZrOCl_2$  ve asetil asetonlu bileşimler.

| Çözelti Kodu | GLYMO   | ETANOL  | H <sub>2</sub> O | ZrOCl <sub>2</sub> | ASETİL ASETON |
|--------------|---------|---------|------------------|--------------------|---------------|
| SR15         | 6,30 gr | 4,91 gr | 1,92 gr          | 2,56 gr            | 2,67 gr       |
| SR16         | 5,51 gr | 4,29 gr | 1,68 gr          | 3,84 gr            | 4,01 gr       |
| SR17         | 4,73 gr | 3,68 gr | 1,44 gr          | 5,12 gr            | 5,34 gr       |
| SR18         | 3,94 gr | 3,07 gr | 1,2 gr           | 6,39 gr            | 6,68 gr       |

6. Grupta GLYMO, etanol, H<sub>2</sub>O, Ce Nitrat ve A.Ac. kimyasalları kullanılmıştır. İki farklı çözelti hazırlanmıştır. İlk çözelti GLYMO:Etanol:H<sub>2</sub>O 1 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. İkinci Çözelti Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>:Asetil Aseton 1 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. İkinci çözelti ilk çözeltiliye eklendi. Elde edilen çözelti manyetik karıştırıcı ile 24 saat boyunca karıştırılmıştır. 6. Grup'ta kullanılan kimyasallar Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

**Çizelge 3.6** 6 Grup Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> ve asetil asetonlu bileşimler.

| Çözelti Kodu | GLYMO   | ETANOL  | H <sub>2</sub> O | Ce(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> | ASETİL ASETON |
|--------------|---------|---------|------------------|-----------------------------------|---------------|
| SR19         | 6,30 gr | 4,91 gr | 1,92 gr          | 2,89 gr                           | 2,67 gr       |
| SR20         | 5,51 gr | 4,29 gr | 1,68 gr          | 4,34 gr                           | 4,01 gr       |
| SR21         | 4,73 gr | 3,68 gr | 1,44 gr          | 5,79 gr                           | 5,34 gr       |
| SR22         | 3,94 gr | 3,07 gr | 1,2 gr           | 7,24 gr                           | 6,68 gr       |

7. Grupta GLYMO, etanol, H<sub>2</sub>O, A.Ac, Si Alkoksit ve Kolloidal Silika kimyasalları kullanılmıştır. İki farklı çözelti hazırlanmıştır. İlk çözelti GLYMO:Etanol:Su 1 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. İkinci Çözeltide ise Si Alkoksit-Kolloidal silika:Asetil Aseton 1 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. İkinci çözelti ilk çözeltiliye ilave edilerek 24 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Hazırlanan solüsyonlar cam yüzeylere kaplanmıştır. 7 Grup'ta kullanan kimyasallar Çizelge 3.7 gösterilmiştir.

**Çizelge 3.7** 7 Grup TEOS, kolloidal silika ve asetil asetonlu bileşimler.

| Çözelti Kodu | GLYMO   | ETANOL  | H <sub>2</sub> O | ASETİL ASETON | Si ALKOKSİT | KOLLOİDAL SİLİKA |
|--------------|---------|---------|------------------|---------------|-------------|------------------|
| SR23         | 2,37 gr | 1,84 gr | 0,72 gr          | 1,4 gr        | -           | -                |
| SR24         | 2,37 gr | 1,84 gr | 0,72 gr          | 1,4 gr        | 1,0 gr      | -                |
| SR25         | 2,37 gr | 1,84 gr | 0,72 gr          | 1,4 gr        | -           | 0,1 gr           |

### 3.3 Yüzeylerin Kaplanması ve Kürlenmesi

Her bir çözelti kaplamak için hazırlanan cam yüzeyler üzerinde ince bir çizgi oluşturmak üzere damlatılmıştır. Damlatılan çözeltiyi camlar üzerine ince film olarak kaplamak için çerçeveli ıslak film aplikatörü kullanılmıştır. Islak film aplikatörü Resim 3.1’de gösterilmiştir. Cam yüzeylere damlatılan çözelti aplikatör yardımı ile cam yüzeyinden çekilerek kaplanmıştır. Kaplanan camlar 1 saat 80°C de kürleme işlemi yapılmıştır. Kürleme işlemi Resim 3.2’ de gösterilen ısıtıl işlem fırınında yapılmıştır.



**Resim 3.1** Deneyde kullanılan ıslak film aplikatörü.





**Resim 3.2** Deneyde kullanılan ısıt ışlem fırını.

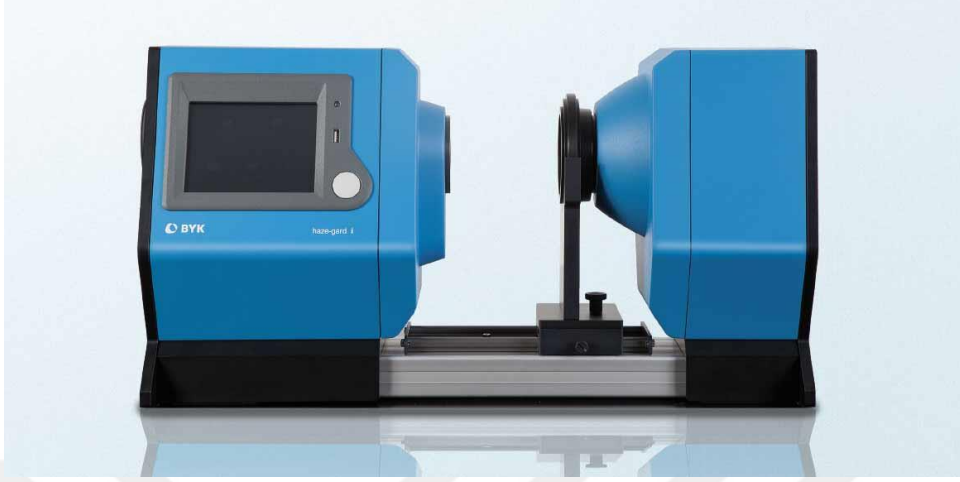
### 3.4 Karakterizasyon Testleri

Yüzey kaplaması gerçekleşen cam numuneler sonuçların değerlendirilmesi için ışık geçirgenlik, bulanıklılık, temas açısı ve kalem sertlik analizleri yapılmıştır.

#### 3.4.1 Işık Geçirgenlik ve Bulanıklılık Testi

Işık geçirgenliği (light transmittance), bulanıklık (haze) lümü BYK-Gardner Haze-Gard plus cihazı ile yapılmıştır. Resim 3.3’de gösterilmiştir. Haze-Gard plus cihazı cam, ambalaj malzemesi, film, plastik parçaların ve diğer saydam malzemelerin optik özelliklerini ölçmek için tasarlanmış bir cihazdır (İnt.Kyn.8).

Numune yüzeyi dik olarak aydınlatılmış ve geçirilen ışık fotoelektriksel olarak ve tümleşik (entegre) lüm küresi yardımıyla ölçülmüştür. Ölçülen iki değişken, toplam ışık geçirgenliği ve bulanıklık ile numunenin optik özellikleri belirlenmiştir. Bulanıklık, ışığın saydam bir malzeme içerisinden geçerken saılımından kaynaklanmakta ve zayıf görüş netliği veya parıltıya neden olmaktadır. Geçirgenlik ise numuneden geçen ışık oranını ifade etmektedir. Her iki değişken de % cinsinden verilmiştir (Karakaya 2007).



**Resim 3.3** Deneyde kullanılan ışık geçirgenlik ve bulanıklık ölçüm cihazı.

### 3.4.2 Temas Açı Testi

Temas açısı ölçümü, katı yüzey ile temas eden bir sıvı belli miktarda bir açı oluşturur. Bu açı temas edilen katının ne olduğuna, temas eden sıvının ne olduğuna bağlı değişir. Temas açısı ıslanabilirlik derecesini ifade eder. Bu açının büyüklüğü kohezyon ve adezyon kuvvetlerinin büyüklüğüne bağlıdır (İnt.Kyn.9).

Temas açısı ölçümleri “KSV Attension” marka ve “ThetaLite TL 101 Optical Tensiometer” cihazı (Resim 3.4) ile yapılmıştır. Temas açısı ölçümü oda sıcaklığındaki saf su ile gerçekleştirildi. Hamilton mikrosiringa vasıtasıyla sıvının katı yüzeyine damlatılması ve bu damlanın katı yüzeyinde oluşturduğu temas açısının optik kamera ile hassas şekilde görüntüsünün alınması ve akabinde bu görüntü üzerinde dijital goniometre yardımıyla temas açısının ölçülmesine dayanır. Sıvı yüzeye damladığı andan itibaren çok kısa süre içerisinde 10 farklı görüntüsü alınıp kaydedilir. Sonra her bir görüntüdeki su damlasının yüzeye her iki yönden yaptığı temas açıları belirlenir ve ortalaması alınır. Her bir görüntü üzerinde benzer şekilde temas açıları ölçülür ve tüm bu ölçümlerin aritmetik ortalaması alınır. Bu şekilde numunenin yüzeyinde 3 farklı noktadan temas açısı alınır ve yeniden bunların aritmetik ortalaması alınarak o numunenin nihai anlamda sıvı ile temas açısı belirlenmiş olur (Arsoy 2014).



**Resim 3.4** Deneyde kullanılan KSV Attension ve ThetaLite TL 101 Optical Tensiometer markalı temas açısı ölçüm cihazı.

Katı yüzeyler yüksek veya düşük enerjili olarak karakterize edilirler. Yüksek enerjili yüzeylerde su yüzeyde düzgün olarak dağılarak ince bir film oluşturur. Bu durumda temas açısı sıfırdır ve yüzey tamamen ıslanır ve hidrofilik denir. Benzer olarak düşük enerjili yüzeylerde su damlaları ayrı ayrı yerleşirler. Bunlarda temas açısı  $90^\circ$  büyüktür ve yüzey hidrofobiktir. Su damlacıkları düşük enerjili yüzeylerden ayrılmaya çalışır (İnt.Kyn.9).

### 3.4.3 Kurşun Kalem Sertlik Testi

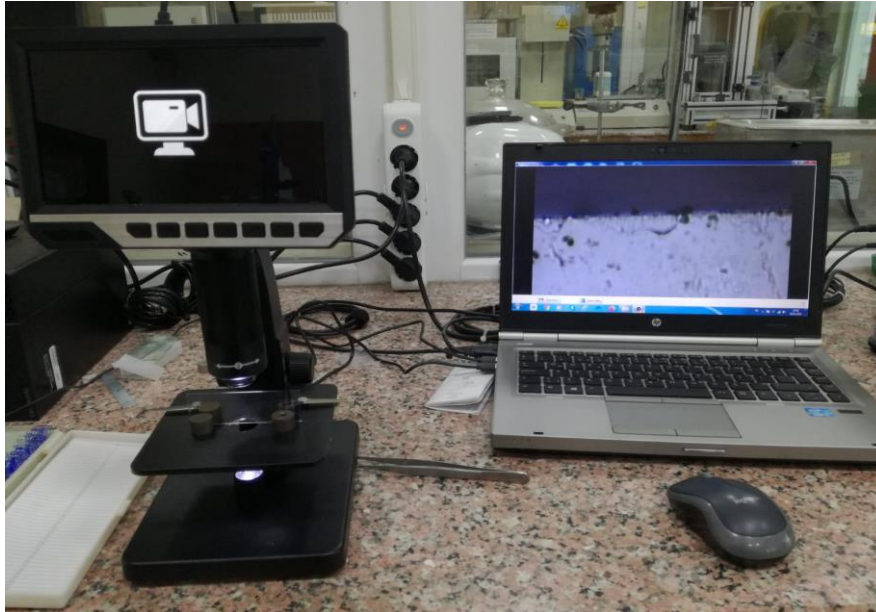
Kurşun kalem sertlik testi TQC Kalem Sertliği Test Cihazı (Resim 3.5) ile karakterize edilmiştir. Kalem  $45^\circ$  derecelik açıyla cihaza yerleştirilir ve sabit bir hızla cam plakaya uygulanmış kaplama üstünde ilerletilir. Plaka üstündeki kaplamanın delindiği kalemin sertliği kalem sertliğini değeri olarak verilir. Sertlik, değerleri 8B'den 10H'ye kadar değişen kalemlerle ölçülür (Öğretim 2013).



**Resim 3.5** Deneyde kullanılan TQC kalem sertliği test cihazı.

### 3.4.4 Mikroskop Görüntüsü

Mikroskop testinde dijital mikroskop cihazı kullanılmıştır. Deneyde kullanılan dijital mikroskop cihazı Resim 3.6 da verilmiştir. Dijital mikroskoplar cisimlerin, gözle görülmeyecek kadar küçük ayrıntılarının mercek altında büyüterek görüntünün incelenmesini sağlayan bir cihazdır (İnt. Kyn. 10). Dijital mikroskop cihazı ile kaplanan cam malzemelerin kesit görüntüsü alınarak kaplama kalınlığı ölçülmüştür.



**Resim 3.6** Deneyde kullanılan dijital mikroskop cihazı.

## 4. BULGULAR

### 4.1 Kaplanan Cam Malzemelerin Görüntüleri

Kaplanan cam numuneleri resimleri ve resimlerin altında numune kodları ile Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Kaplanan cam malzemelerin görüntüleri.

|                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |   |   |
| SR1                                                                                 | SR1-1                                                                               | SR2                                                                                  | SR2-1                                                                                 |
|  |  |  |  |
| SR3                                                                                 | SR3-1                                                                               | SR4                                                                                  | SR4-1                                                                                 |
|  |  |  |  |
| SR5                                                                                 | SR5-1                                                                               | SR6                                                                                  | SR6-1                                                                                 |



Çizelge 4.1 (Devam) Kaplanan cam malzemelerin görüntüleri.



SR7



SR8



SR9



SR10



SR11



SR12



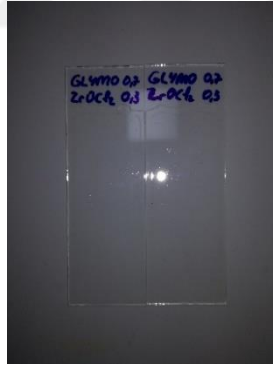
SR13



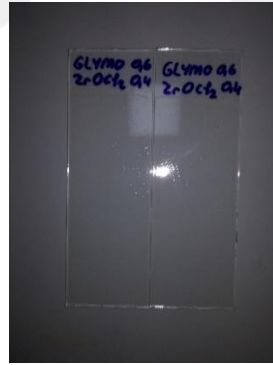
SR14



SR15



SR16



SR17



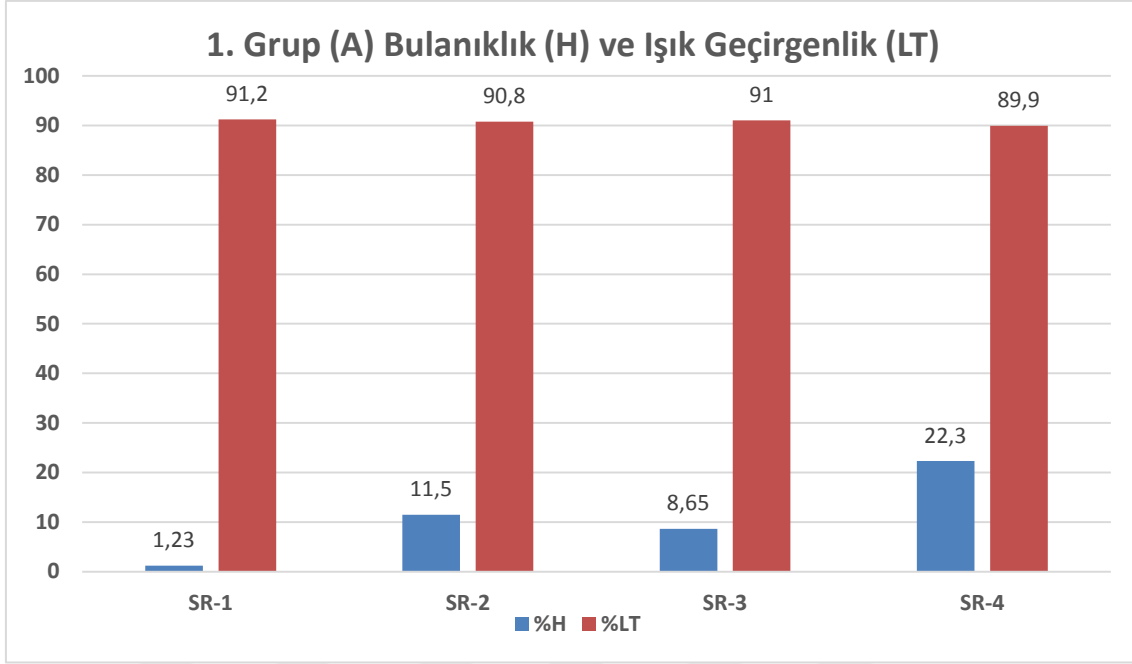
SR18

**Çizelge 4.1 (Devam)** Kaplanan cam malzemelerin görüntüleri.



#### 4.2 Bulanıklık (H) ve Işık Geçirgenliği (LT)

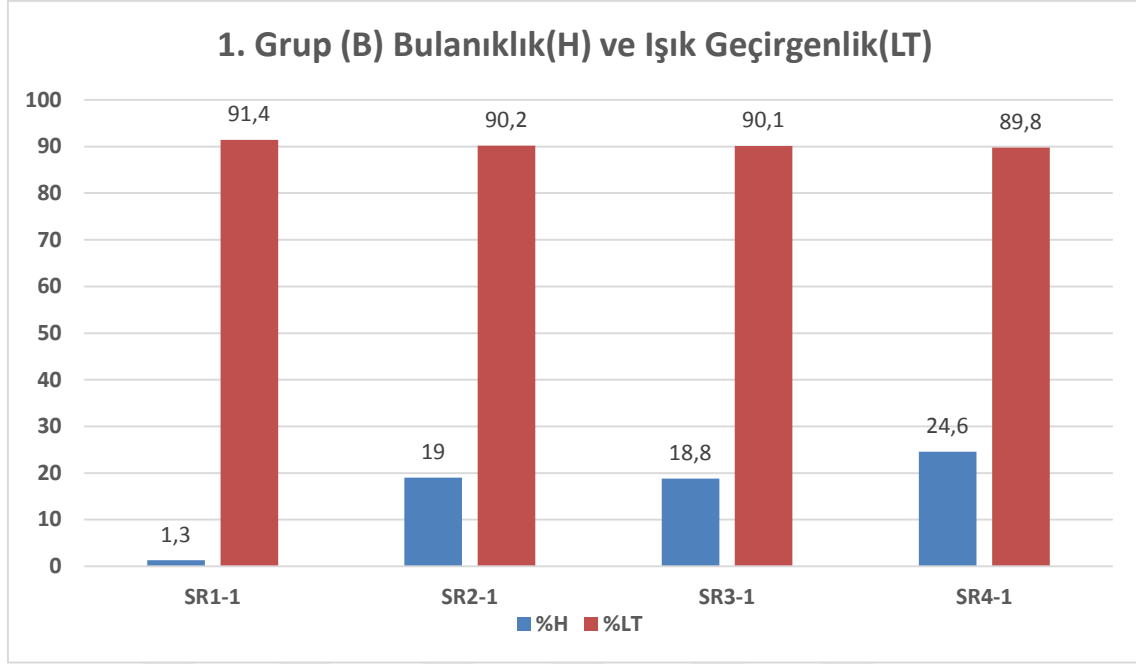
Bulanıklık (haze) ve ışık geçirgenlik (light transmittance) analiz sonuçları hazırlanan numunelerin gruplarına göre incelenmiştir. Bulanıklık ve ışık geçirgenlik analiz değerleri yüzde olarak verilmiştir. Hiçbir işlem uygulanmamış mikroskop lam camlarının ışık geçirgenlik değeri %93, bulanıklık değeri ise %0,5 çıkmıştır.



**Şekil 4.1** 1(A) Grup Ti ve Zr alkoksitli hazırlanan bileşimlerin %H ve %LT değerleri.

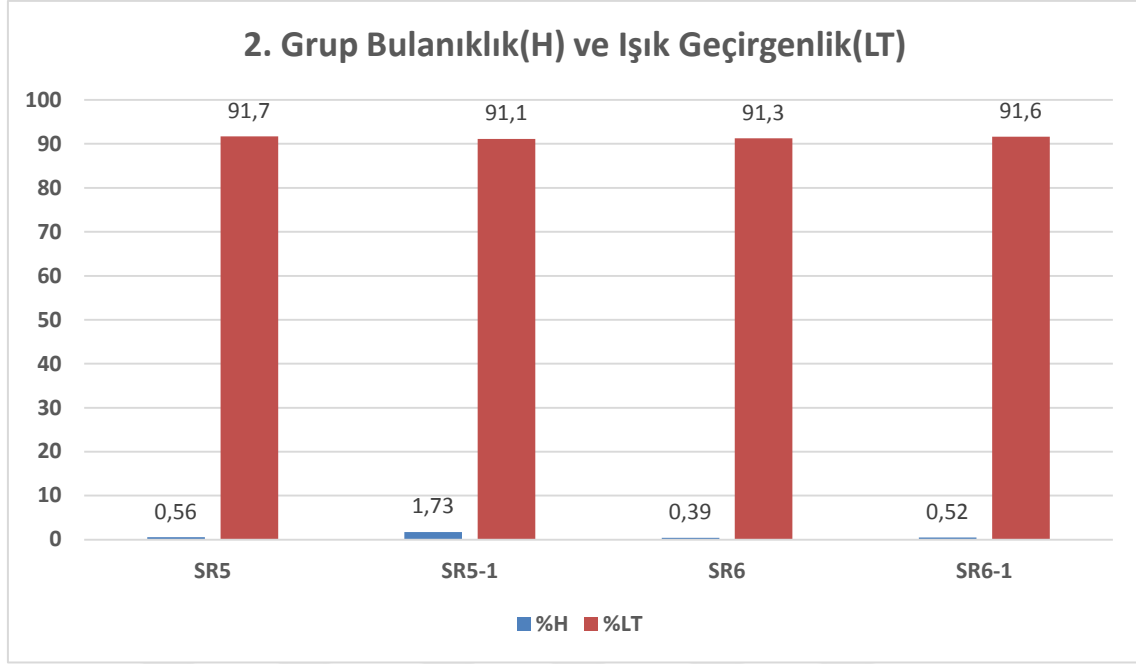
1(A) Grup %H ve %LT değerleri Şekil 4.1’de verilmiştir. SR-1 reçete içeriğine sahip numunede LT %91,2 ve H %1.23 değerlerine sahip olarak 1(A) Grup’ta en iyi performansı göstermiştir. Ti alkoksit ve Zr alkoksit eklenen numunelerde bulanıklığı çok etkili bir şekilde arttırdığını ve ışık geçirgenliğini az miktarda azalttığı gözlemlendi. Saf mikroskop lam camına göre bakıldığında SR-1 reçetesi ile kaplanan cam malzemeler H ve LT değerleri bakımından çok fazla etkilenmemiştir. Ti alkoksit ve Zr alkoksit eklenen cam numuneleri H ve LT değerleri bakımından olumsuz etkilenmiştir.





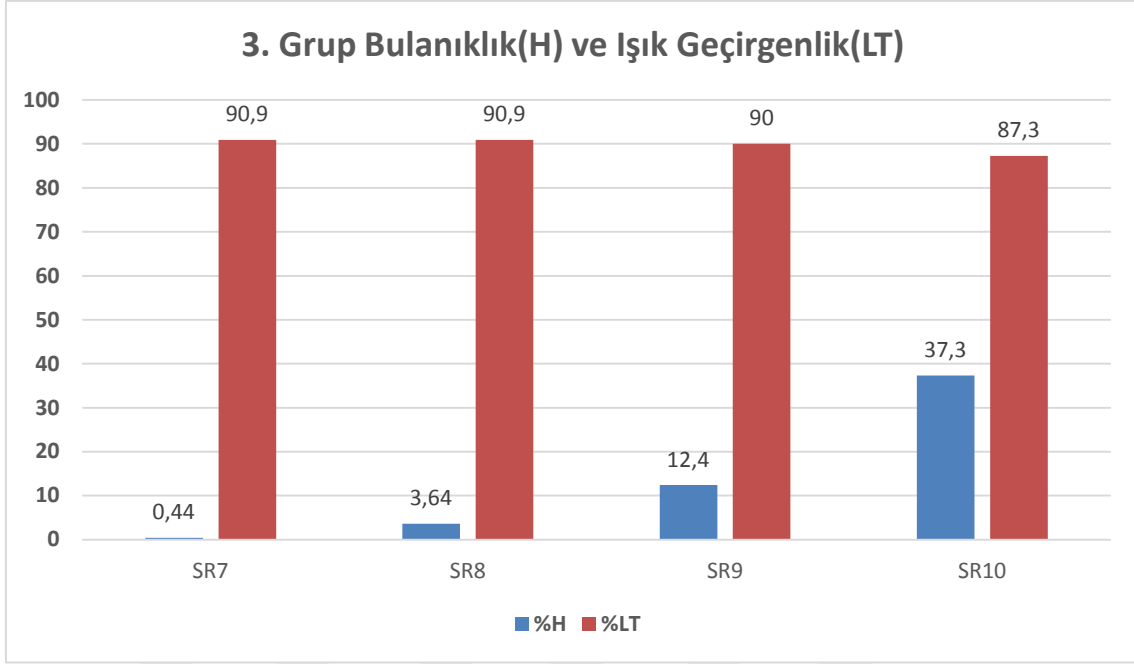
**Şekil 4.2** 1(B) Grup Ti ve Zr alkoksitli ve BYK katkı hazırlanan bileşimlerin %H ve %LT değerleri.

1(B) Grup %H ve %LT değerleri Şekil 4.2’de verilmiştir. SR1-1 reçete içeriğine sahip numunede H %1,3 ve LT %91,4 değerleri ile 1(B) Grup içerisinde en iyi sonuçlar elde edilmiştir. 1(A) Grubunda olduğu gibi Ti ve Zr alkoksit katkıları ışık geçirgenliğini azaltmış ve bulanıklığı arttırmıştır. BYK katkı maddesi %H ve %LT değerlerini olumsuz etkilemiştir. Saf mikroskop lam cam ile karşılaştırıldığında SR1-1 numunesin kaplamadan çok fazla etkilenmediği gözlenmiştir.



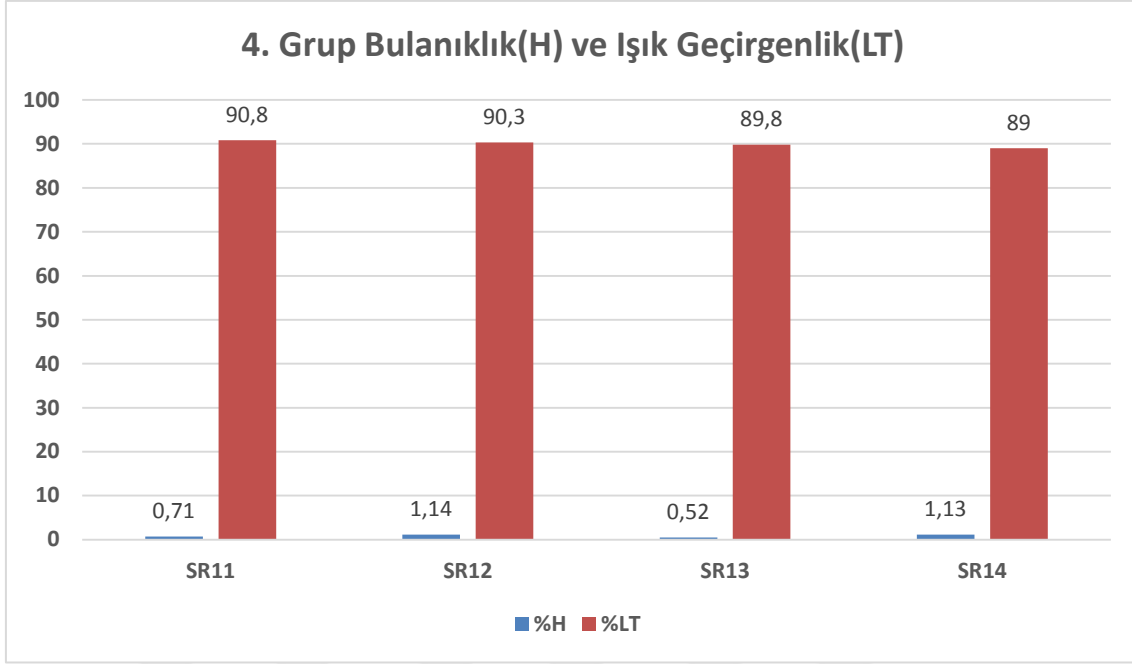
**Şekil 4.3** 2.Grup kolloidal silikalı hazırlanan bileşimlerin %H ve %LT değerleri.

2. Grup %H ve %LT değerleri Şekil 4.3’de verilmiştir. 2. Grup kaplamalar arasında %H ve %LT değerleri arasında yok denilecek kadar az fark mevcuttur. %H değerlerine bakıldığında SR5-1 numunesi diğerlerine göre biraz fazla çıkmıştır. SR6-1 numunesi bakıldığında %H değerinin azaldığı gözlenmiştir. Bu durum içerik olarak her iki kaplama çözeltisinin içerisinde CeO kimyasalı bulunmakta SR6-1 çözeltisinde kolloidal silika %H değerini normale getirmiştir. SR6 numunesine bakıldığında ise kolloidal silika kaplamayı olumlu yönde etkilemiştir. Saf mikroskopik lam cam ile karşılaştırdığımız SR6 numunesinde %H az miktarda olsa azalttığı, SR5-1 numesinde %H değerini arttığı ve SR5 ve SR6-1 %H değerlerinin aynı olduğu gözlenmiştir. 2. Grup numunelerde %LT değerlerinin ise azaldığı gözlenmektedir.



**Şekil 4.4** 3. Grup DAMO ile hazırlanan bileşimlerin %H ve %LT değerleri.

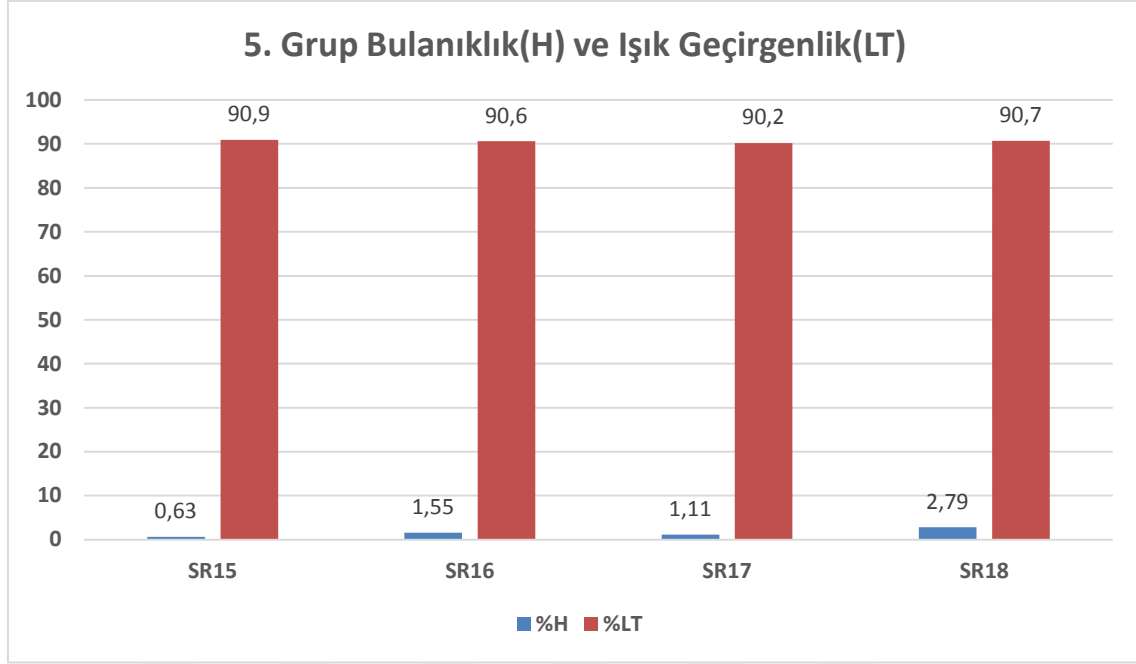
3. Grup %H ve %LT değerleri Şekil 4.4’de verilmiştir. 3. Grup kaplamalar arasında SR7 numunesi H %0,44 ve LT %90,9 değerleri arasında en iyi sonuçları vermiştir. SR10 numunesine baktığımızda CeO kimyasalı %H değeri yönünden çok fazla artış göstermiştir. SR8 ve SR9 numunelerine bakıldığında bulanıklık arttığı gözlenmiştir. %LT değeri SR8 numunesinde değişim göstermezken SR9 ve SR10 numunelerinde azalma göstermiştir. Saf mikroskop lam camı ile karşılaştırdığımızda %LT değerlerinde azalma gözlenmiştir. %H değerlerine bakıldığında SR7 numunesinde azda olsa azalma gözlenmiş fakat SR8, SR9 ve SR10 numunelerinde çok fazla artma gözlenmiştir.



**Şekil 4.5** 4. Grup Ti alkoksit ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin %H ve %LT değerleri.

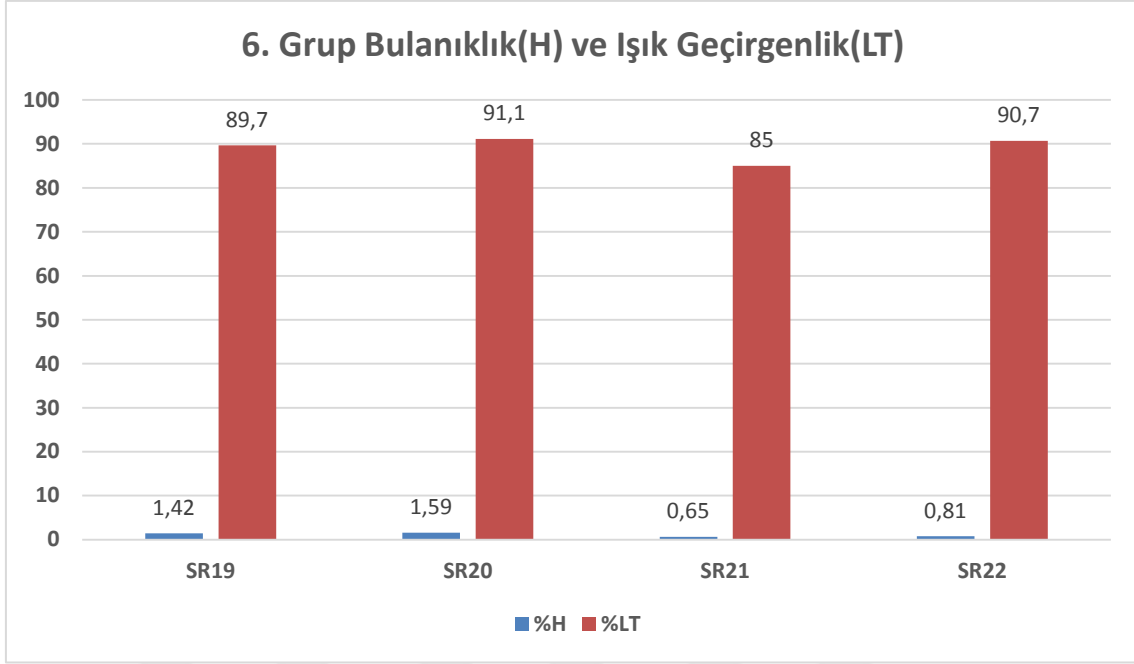
4. Grup %H ve %LT değerleri Şekil 4.5’de verilmiştir. 4. grup %H ve %LT değerlerine bakıldığında numuneler arasında çok fazla değişimler gözlenmemiştir. %H değerlerine bakıldığında Ti alkoksit ve asetil aseton oranlarının artması ile bir dalgalanma mevcuttur. %LT değerlerinde ise Ti alkoksit ve asetil aseton oranının artması ile değerleri düşmüştür. Saf mikroskop lam camı ile karşılaştırdığımızda %LT değerlerinde azalma gözlenmiştir. %H değerlerini karşılaştırdığımızda SR13 değerinde değişim gözlenmemiştir diğer numunelere bakıldığında değerlerin yükseldiği görülmektedir.

Chun vd. (2009) çalışmasında soda kireç cam üzerine  $TiO_2$  metal alkoksit ile hazırlanan sol püskürtmeli ve daldırmalı kaplama ile cam yüzeylere kaplanmış ve ışık geçirgenlik değeri %95 bulunmuştur.  $TiO_2$  oranının artması ile ışık geçirgenliği değerinde düşme gerçekleştiği görülmekte ve püskürtmeli kaplama yöntemi ile yapılan kaplamalar daldırmalı kaplamaya göre ışık geçirgenlik oranı az çıkmıştır. Bu çalışmada da  $TiO_2$  değeri arttıkça ışık geçirgenlik değerinde azalma olduğu gözlenmiştir.



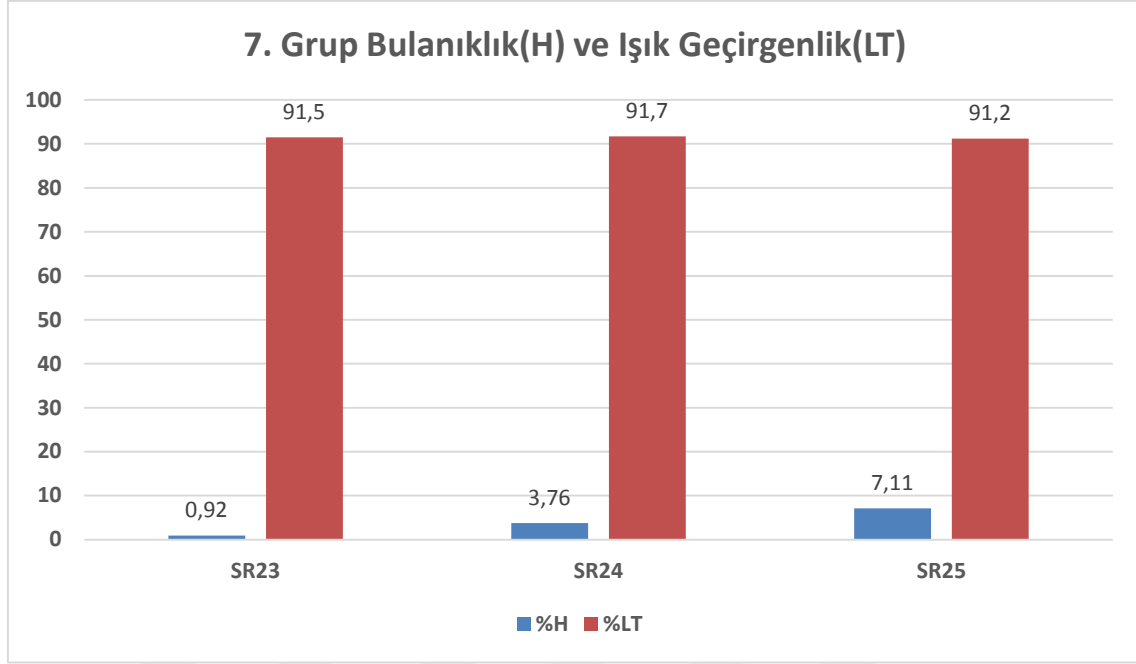
**Şekil 4.6** 5.Grup  $ZrOCl_2$  ve asetil asetonlu hazırlanan bileşenlerin %H ve %LT değerleri.

5. Grup %H ve %LT değerleri Şekil 4.6’da verilmiştir. 5. grup %H ve %LT değerlerine bakıldığında en iyi sonucu SR15 numunesi vermiştir. 5. Grup %H değerlerine bakıldığında 4. Grup’ta olduğu gibi bir dalgalanma mevcut %LT değerlerine bakıldığında  $ZrOCl_2$  ve asetil aseton değeri artması ile azalırken SR18 numunesinde tekrardan yükseldiği görülmektedir. Saf mikroskop lam camı ile karşılaştırdığımızda SR15 %H değerleri yakın değerde çıkmıştır. %LT değerleri ise azalmıştır.



**Şekil 4.7** 6. Grup  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin %H ve %LT değerleri.

6. Grup %H ve %LT değerleri Şekil 4.7’de verilmiştir. 6 Grup %H ve %LT değerlerine bakıldığında Ce nitrat ve asetil aseton arttıkça %H değerinde azalma görülmekte %LT değerlerine bakıldığında ise bir dalgalanma görülmektedir. SR21 numunesine bakıldığında %H değeri azalırken %LT değerinde de belirgin bir şekilde azalma görülmektedir ve en düşük değerlere sahiptir. Saf mikroskop lam camı ile karşılaştırdığımızda SR21 numunesinin %H değerleri az bir fark gözlenmekte fakat %LT değeri ise çok fazla azalma gözlenmiştir. Diğer numunelere bakıldığında %H değerlerinde artış %LT değerlerinde ise azalma gözlenmektedir.



**Şekil 4.8** 7. Grup TEOS kolloidal silika ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin %H ve %LT değerleri.

7. Grup %H ve %LT değerleri Şekil 4.8’de verilmiştir. 7. Grup %H ve %LT değerlerine bakıldığında SR23 değeri %H değeri az çıkarken kolloidal silika ve TEOS katkıları ile bu değerin yükseldiği görülmektedir. %LT değerlerine bakıldığında aralarında çok az fark olduğu görülmektedir. Saf mikroskop lam camı ile karşılaştırıldığında SR23 değerleri yaklaşık değerler çıkarken diğer numunelerin %H değerleri arttığı görülmektedir.

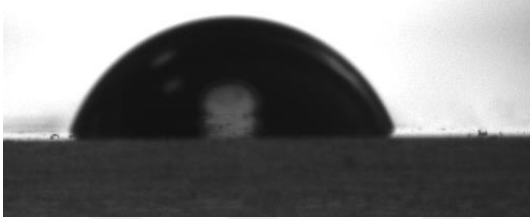
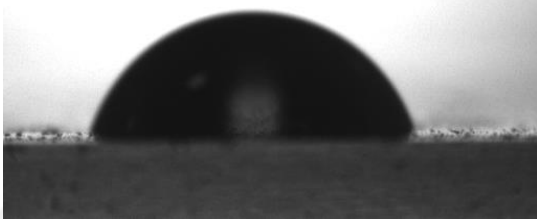
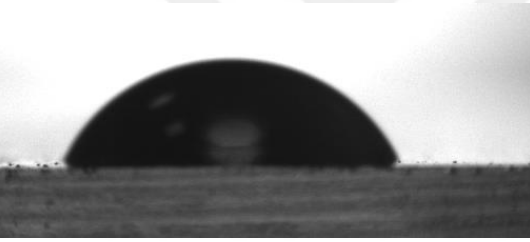
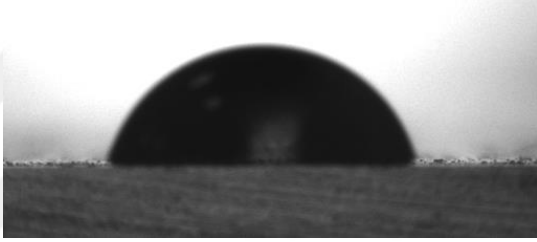
#### 4.3 Temas Açısı (CA)

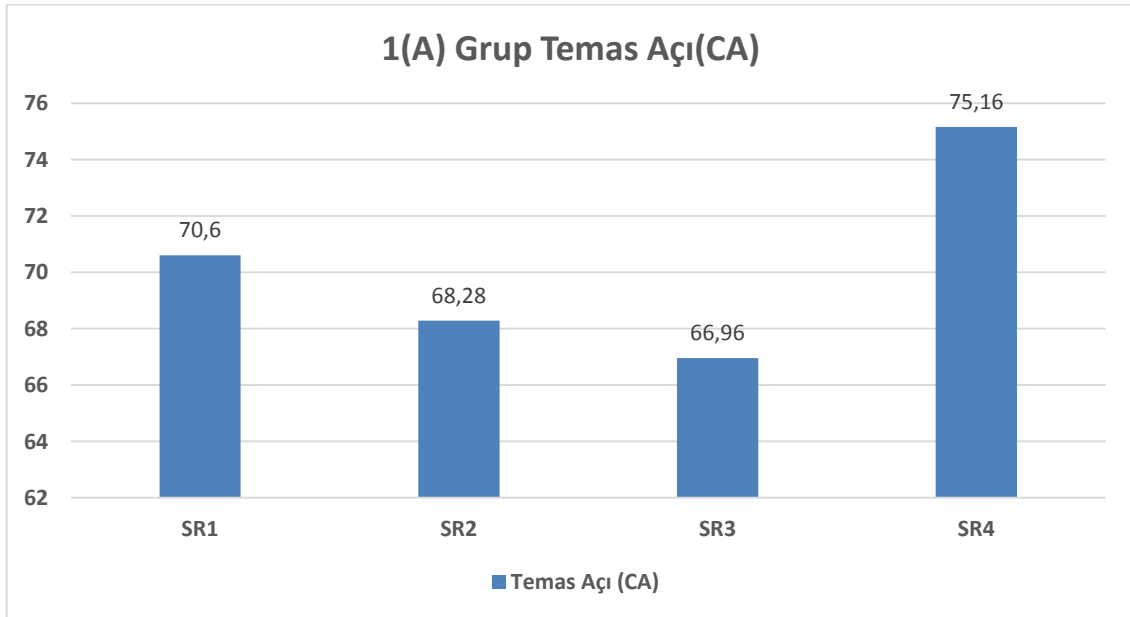
Temas açısı analizleri cam yüzeylerin üzerine saf su damlatılarak ölçüldü. Temas açısı ölçümlerin resmi, numune kodu ve değerleri Çizelgelarda verilmiştir. Ayrıca temas açısı grafikleri çizilmiştir. Hiçbir işlem uygulanmamış mikroskop lam camlarının temas açısı  $44,27^\circ$  ölçülmüştür. Saf mikroskop lam cam temas açısı ölçüm görüntüsü Resim 4.1’de verilmiştir.



**Resim 4.1** İşlem görmemiş mikroskop lam camı temas ölçüm görüntüsü.

**Çizelge 4.2** 1(A) Grup Ti ve Zr alkoksitli hazırlanan bileşimlerin CA görüntüleri ve değerleri.

|                                                                                    |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |
| SR1                                                                                | SR2                                                                                 |
| 70,60                                                                              | 68,28                                                                               |
|  |  |
| SR3                                                                                | SR4                                                                                 |
| 66,96                                                                              | 75,16                                                                               |



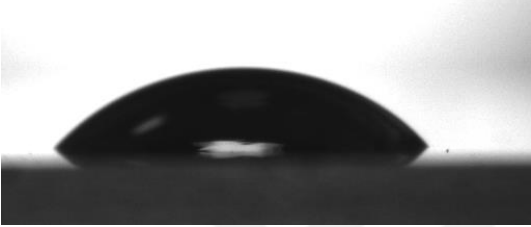
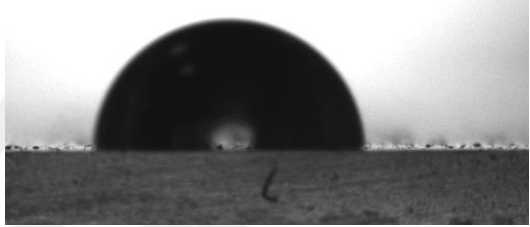
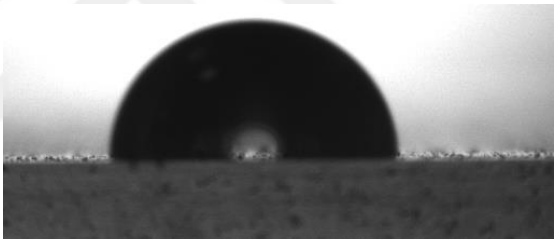
**Şekil 4.9** 1(A) Grup Ti ve Zr Alkoksitli hazırlanan bileşimlerin CA değerleri.



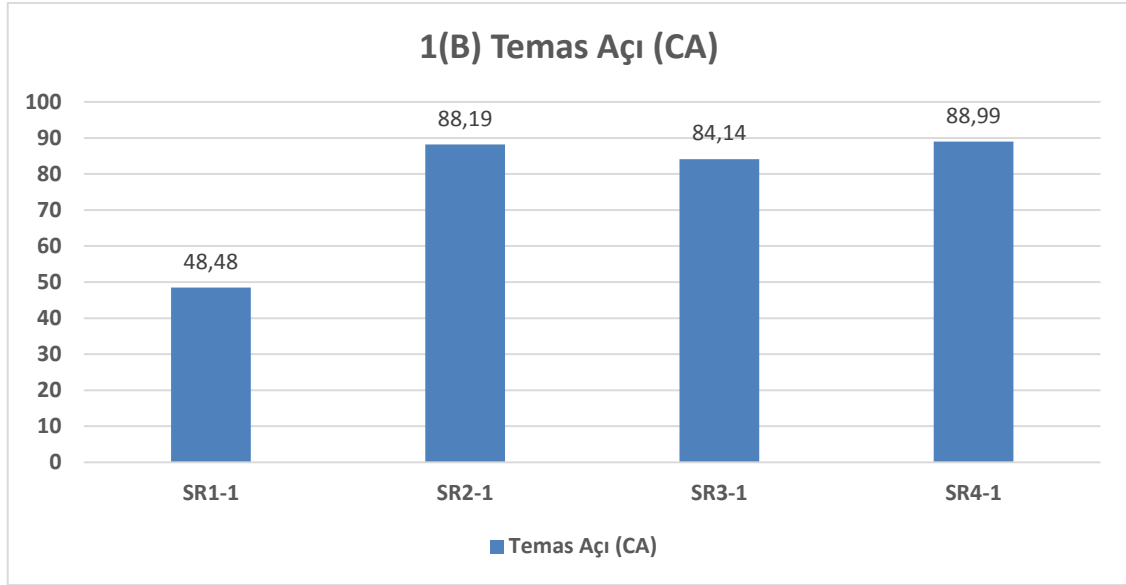
1(A) Grup CA görüntüleri ve değerleri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir ayıca Şekil 4.9 da grafik değerleri verilmiştir. 1(A) Grup CA değerlerine bakıldığında hidrofilik olduğu görülmektedir. Ti ve Si alkoksit katkıları tek başına kullanıldığında temas açısı değerinin düştüğü görülmekte fakat birlikte kullanıldığında belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. Saf mikroskop cam değeri olarak bakıldığında temas açılarının arttığı gözlenmektedir.

**Çizelge 4.3** 1(B) Grup Ti ve Zr alkoksitli ve BYK katkısı ile hazırlanan bileşimlerin CA görüntüleri ve değerleri.

---

|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |
| SR1-1                                                                               | SR2-1                                                                                |
| 48,48                                                                               | 88,19                                                                                |
|  |  |
| SR3-1                                                                               | SR4-1                                                                                |
| 84,14                                                                               | 88,99                                                                                |

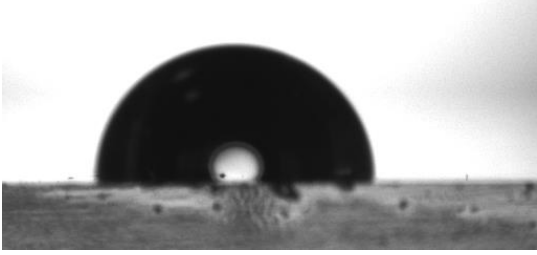
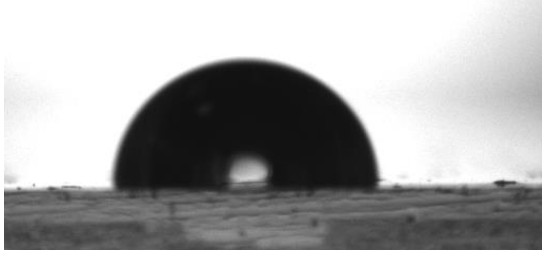
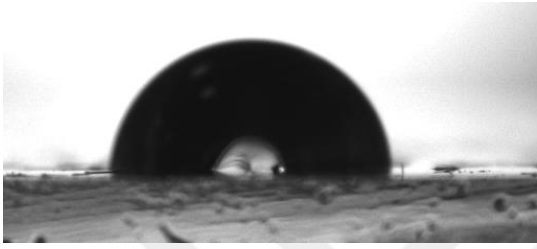
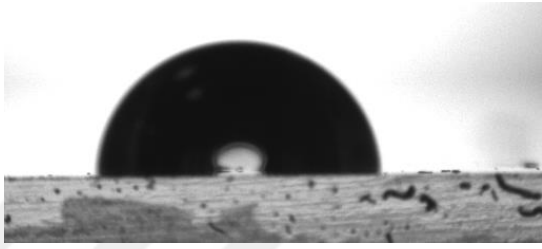
---

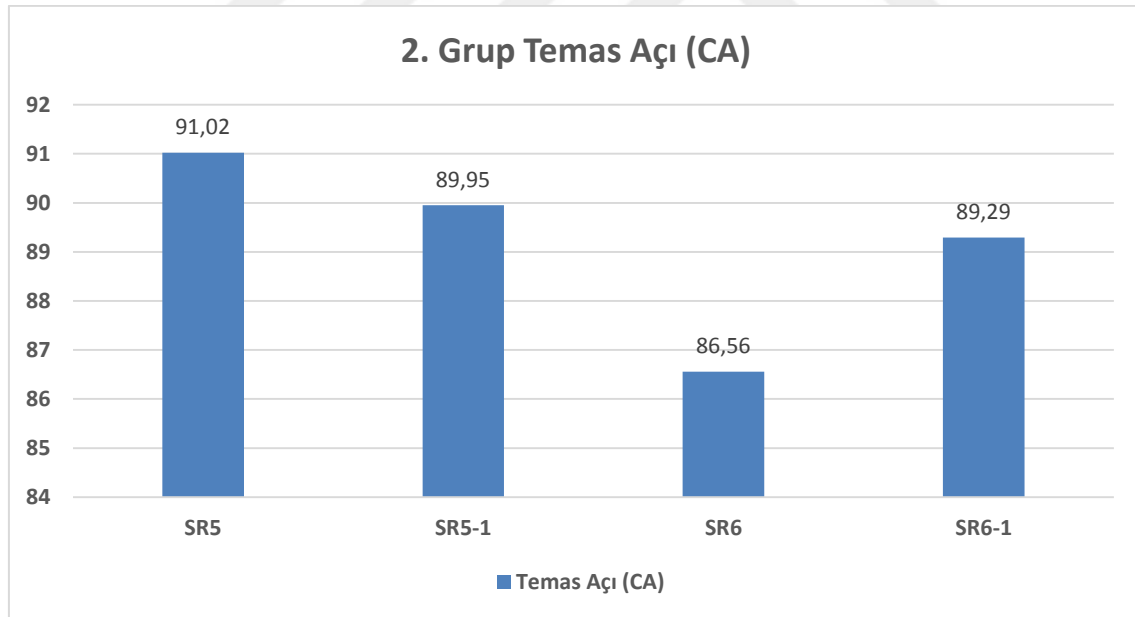


**Şekil 4.10** 1(B) Grup Ti ve Zr Alkoksitli ve BYK katkısı ile hazırlanan bileşimlerin CA değerleri.

1(A) Grup CA görüntüleri ve değerleri Çizelge 4.3’de gösterilmiştir ayrıca Şekil 4.10 da grafik değerleri verilmiştir. 1(B) Grup değerlerine bakıldığında hidrofilik olduğu görülmektedir. 1(A) Grubunda SR1 numunesinde CA değeri 70,6° çıkarken BYK katkısı kullanılan SR1-1 numunesinde CA değerini azalttığı görülmüştür. Fakat aynı katkı maddesi Si ve Ti alkoksit katkılı numunelerde temas açısı değerlerini arttırdığı görülmektedir. 1(A) grubunda SR2 ve SR3 CA değerlerinde azalma görülürken BYK katkılı SR2-1 ve SR3-1 numunelerinde ise artma görülmektedir. Saf mikroskop lam cam ile karşılaştırıldığında SR1-1 değerinin çok fazla artış göstermediği görülmektedir. Diğer numunelere bakıldığında ise CA değerinde belirgin bir artış bulunduğu gözlenmektedir.

**Çizelge 4.4** 2. Grup kolloidal silikalı hazırlanan bileşimlerin CA görüntüleri ve değerleri.

|                                                                                   |                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| SR5                                                                               | SR5-1                                                                              |
| 91,02                                                                             | 89,95                                                                              |
|  |  |
| SR6                                                                               | SR6-1                                                                              |
| 86,56                                                                             | 89,29                                                                              |

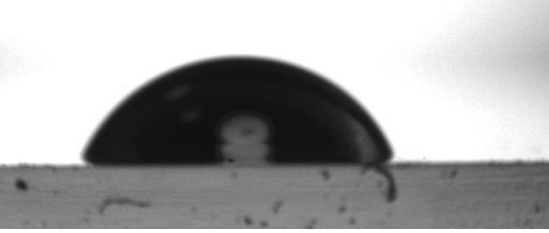
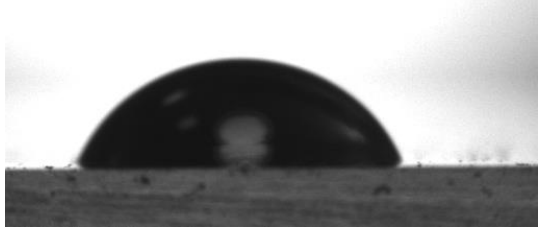
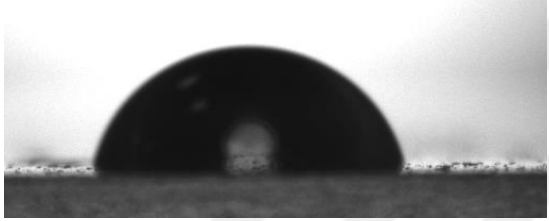
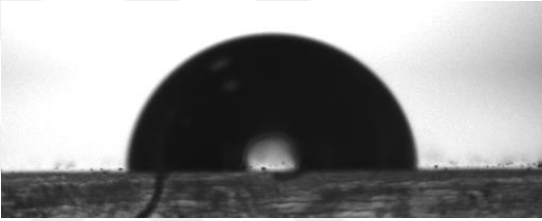


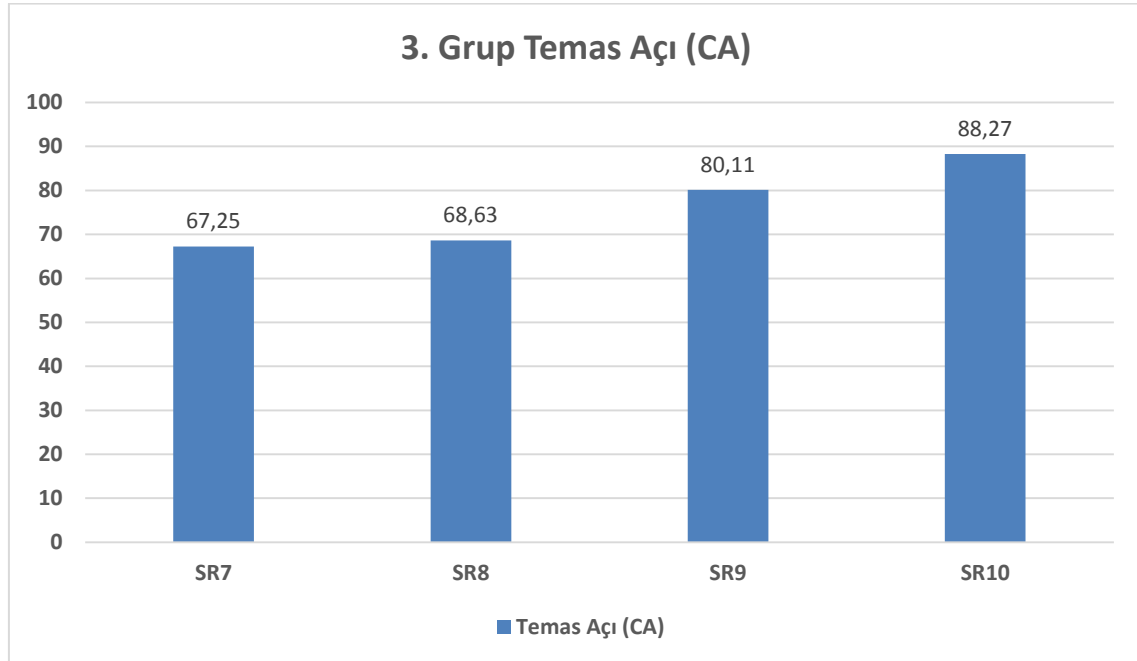
**Şekil 4.11** 2. Grup kolloidal silikalı hazırlanan bileşenlerin CA değerleri.

2 Grup CA görüntüleri ve değerleri Çizelge 4.4’de gösterilmiştir ayrıca Şekil 4.11 da grafik değerleri verilmiştir. 2. Grup numunelerin CA değerlerine baktığımızda hidrofobik ve hidrofilik ara değerine yakın sonuçlar çıkmıştır. Bu grupta CeO ve

koloidal silika CA değerlerini düşürdüğü gözlenmekte, bu iki kimyasal eklendiğinde ise CA değerini CeO kimyasalına bağlı olduğu değiştiği değerlendirilebilir. Saf mikroskop lam camları ile karşılaştırdığımızda CA değerleri oldukça arttığı görülmektedir.

**Çizelge 4.5** 3. Grup DAMO' lu hazırlanan bileşimlerin CA görüntüleri ve değerleri.

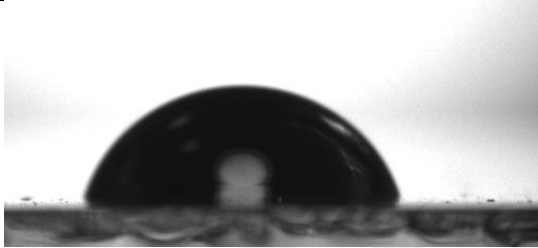
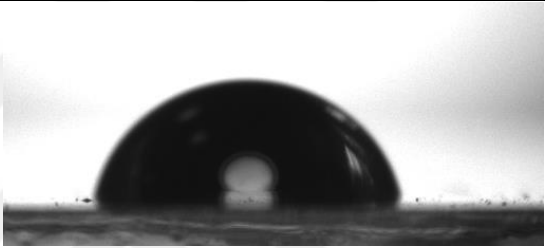
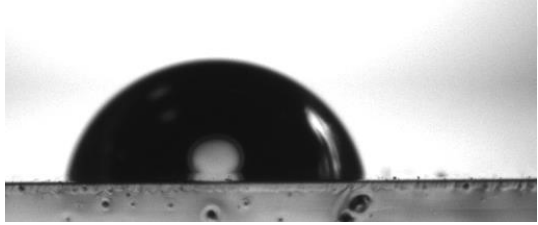
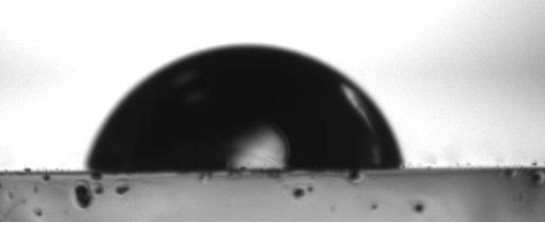
|                                                                                    |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |
| SR7                                                                                | SR8                                                                                 |
| 67,25                                                                              | 68,63                                                                               |
|  |  |
| SR9                                                                                | SR10                                                                                |
| 80,11                                                                              | 88,27                                                                               |

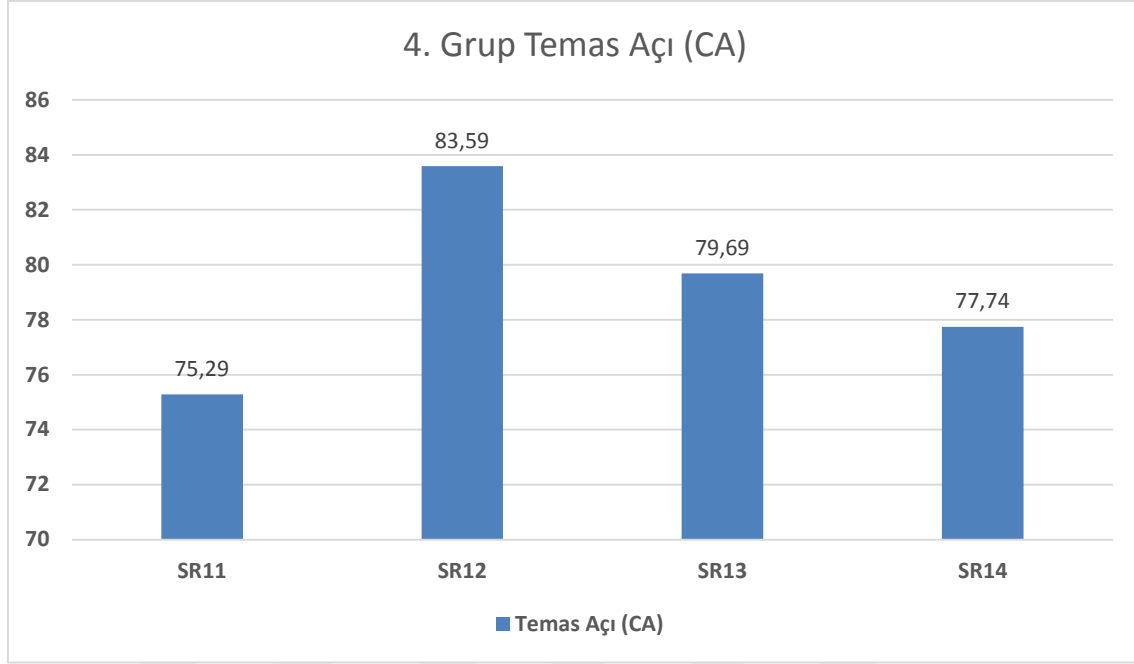


**Şekil 4.12** 3. Grup DAMO'lu hazırlanan bileşenlerin CA değerleri.

3 Grup CA görüntüleri ve değerleri Çizelge 4.5’de gösterilmiştir ayrıca Şekil 4.12 da grafik değerleri verilmiştir. 3. Grup numunelerin CA değerlerine bakıldığında hidrofilik olduğu görülmektedir. SR7 numunesinde CA derecesi düşük çıkarken katılan Zr, Ti alkoksit ve CeO kimyasalların katılması ile CA değerinin arttığı gözlenmektedir. Zr alkoksit katıldığında CA değerini çok az arttırdığı görülmekte Ti alkoksit ve CeO kimyasalları katıldığında temas açının belirgin şekilde arttığı görülmektedir. Saf mikroskop lam camı ile karşılaştırdığımızda CA değerlerinin belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir.

**Çizelge 4.6** 4.Grup Ti alkoksit ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin CA görüntüleri ve değerleri.

|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |
| SR11                                                                                | SR12                                                                                 |
| 75,29                                                                               | 83,59                                                                                |
|  |  |
| SR13                                                                                | SR14                                                                                 |
| 79,69                                                                               | 77,74                                                                                |



**Şekil 4.13** 4. Grup Ti alkoksit ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin CA değerleri.

4 Grup CA görüntüleri ve değerleri Çizelge 4.6'de gösterilmiştir ayrıca Şekil 4.13 da grafik değerleri verilmiştir. 4. Grup numunelerin CA değerlerine bakıldığında hidrofilik olduğu görülmektedir. SR12 numunesinin CA değeri SR11 numunesinin CA değerine göre arttığı gözlenmektedir fakat Ti alkoksit ve asetil aseton içerik oranı artırıldığında CA değerinin tekrardan bir azalma olduğu görülmektedir. Bu değerde bize SR12 içeriği CA alabileceği en yüksek değerini göstermektedir. Saf mikroskop lam cam ile karşılaştırdığımızda CA değerini belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir.

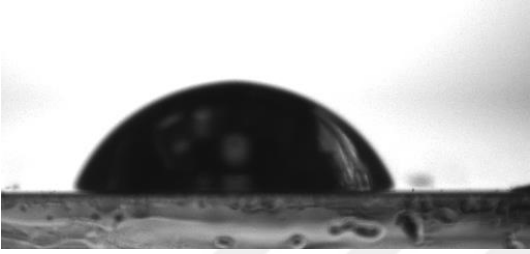
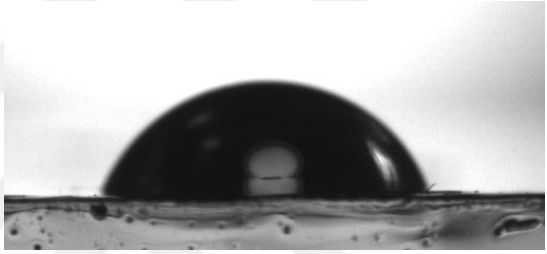
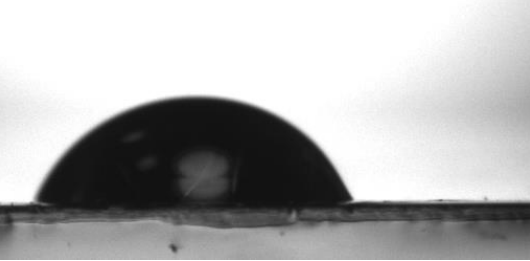
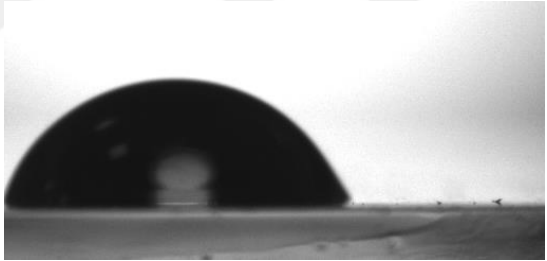
Chun vd. (2009) çalışmasında soda kireç cam üzerine  $\text{TiO}_2$  metal alkoksit ile hazırlanan sol püskürtmeli ve daldırmalı kaplama ile cam yüzeylere kaplanmış ve temas açısı değerleri  $\text{TiO}_2$  oranının artması ile düşme gözlenmiş ve daldırmalı kaplama yöntemi ile yapılan kaplamalar püskürtmeli kaplama yöntemine göre temas açısı değeri az çıkmıştır. Bu çalışmada ise  $\text{TiO}_2$  değerinin artması ile temas açıda artma ve daha sonrasında azalma gözlenmiştir.

Rivero vd. (2018) çalışmasında İki organik modifiye silika alkoksitin, GLYMO ve MTEOS kopolimerizasyonu ile bir hibrit matris imal edilmiştir. Bu hibrit matris  $\text{TiO}_2$  NP'lerin daha fazla yakalanması için kullanıldığından kilit bir rol oynar. Bu  $\text{TiO}_2$

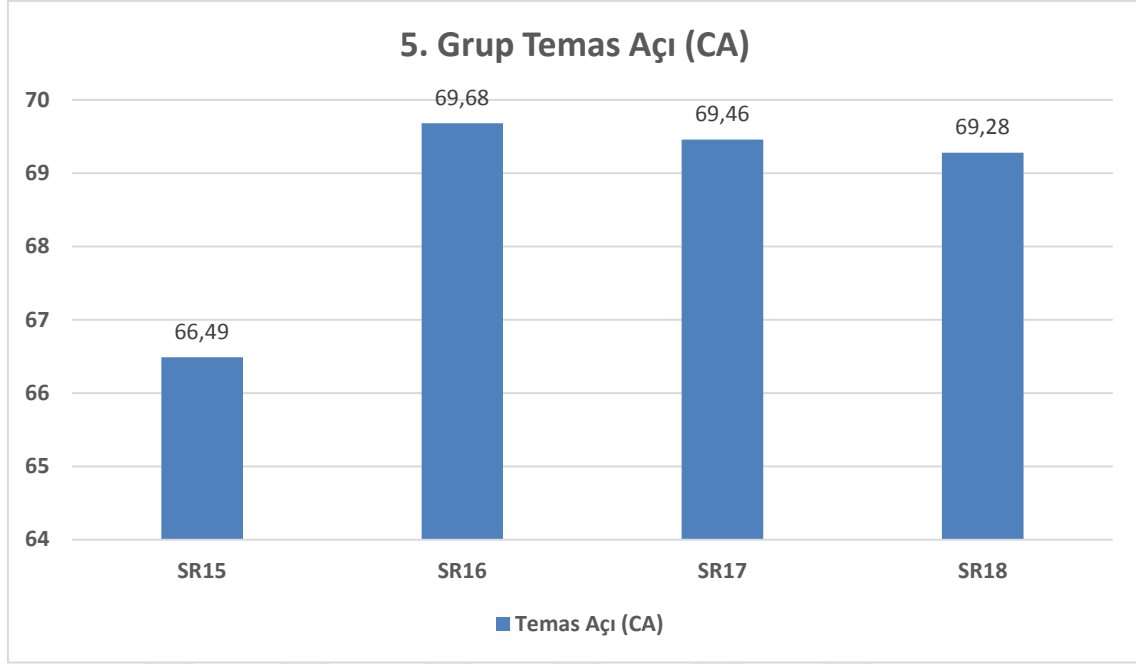
NP'lerin mevcudiyetinin, kaplamanın daha yüksek temas açısı değerleri gösterdiği kanıtlanmıştır. Bununla birlikte, kaplamaların sonuçta ortaya çıkan hidrofobikliğini arttırmak için, önceki sol-jel hibrit matrisine florlanmış polimerik zincirlere (PFAS) dayalı yeni bir silika öncüsü eklenmiştir. Sonuçlar, sol-jel kaplamalarının etkili bir modifikasyon gösterdiğini ortaya koymaktadır, çünkü hidrofobiklikte önemli bir gelişme gözlemlenmiştir. Her iki çalışmada karşılaştırıldığında PFAS eklendikten sonra temas açısı değerinde çok fazla yükselme gözlenmektedir aradaki fark PFAS' den kaynaklanmaktadır.

**Çizelge 4.7** 5.Grup  $ZrOCl_2$  ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin CA görüntüleri ve değerleri.

---

|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |
| SR15                                                                                | SR16                                                                                 |
| 66,49                                                                               | 69,68                                                                                |
|  |  |
| SR17                                                                                | SR18                                                                                 |
| 69,46                                                                               | 69,28                                                                                |

---

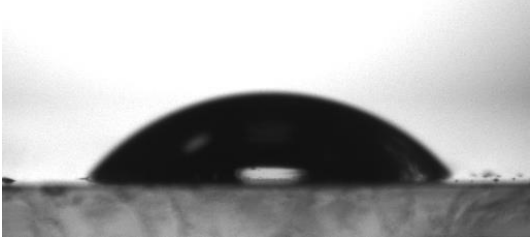
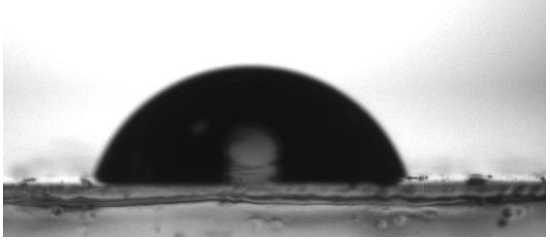
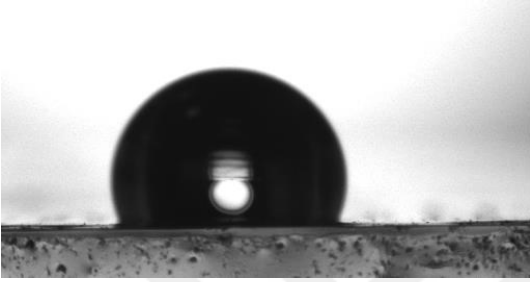
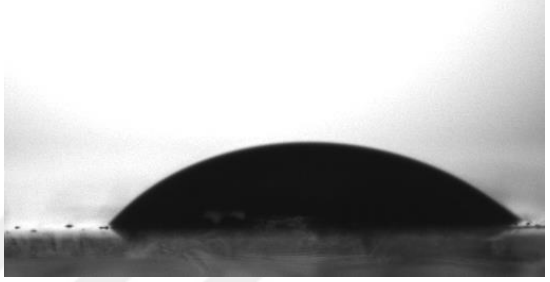


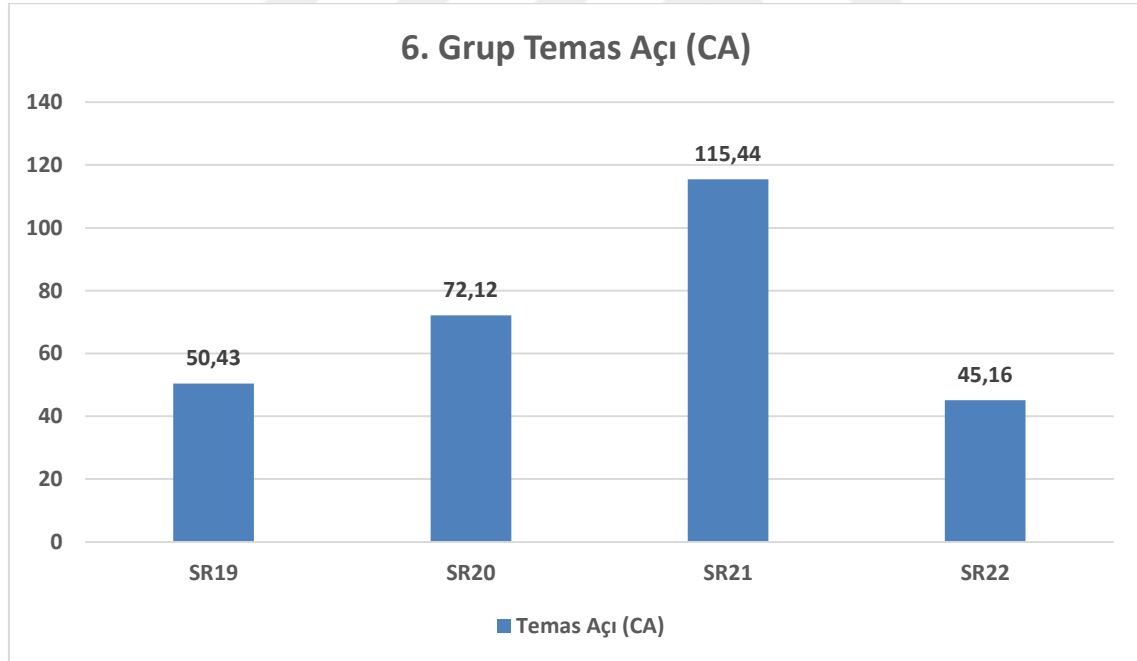
**Şekil 4.14** 5. Grup  $ZrOCl_2$  ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin değerleri.

5. Grup CA görüntüleri ve değerleri Çizelge 4.7’de gösterilmiştir ayrıca Şekil 4.14 de grafik değerleri verilmiştir. 5. Grup numunelerin CA değerlerine bakıldığında hidrofilik olduğu görülmektedir. 5. grup numunelerin içinde en düşük CA değeri SR15 numunesinde olduğu görülmekte ve SR16 değerinde artış gösterdikten sonra  $ZrOCl_2$  ve asetil aseton değerinin artması ile çok az da olsa CA değerinin düştüğü görülmektedir. Bu CA değerlerinde artması ve sonra düşüş göstermesi SR16 kaplama reçetesinde en yüksek değere sahip olduğunu göstermektedir. Saf mikroskop lam camı ile karşılaştırıldığında ise CA değerinin arttığı görülmektedir.



**Çizelge 4.8** 6. Grup  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin CA görüntüleri ve değerleri.

|                                                                                   |                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| SR19                                                                              | SR20                                                                               |
| 50,43                                                                             | 72,12                                                                              |
|  |  |
| SR21                                                                              | SR22                                                                               |
| 115,44                                                                            | 45,16                                                                              |



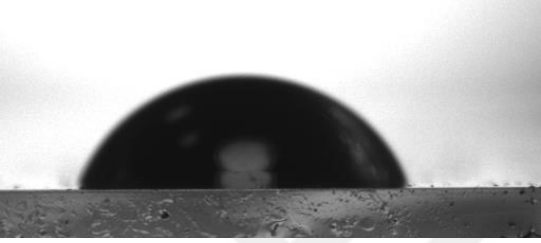
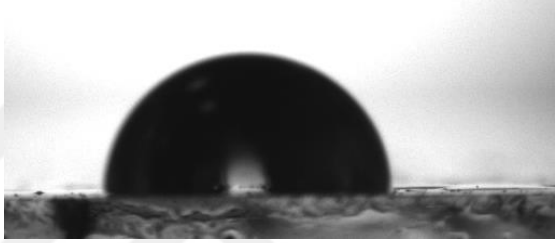
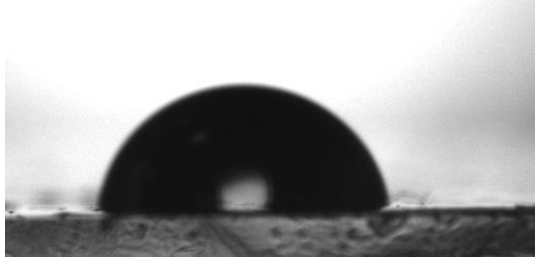
**Şekil 4.15** 6. Grup  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin CA değerleri.

6. Grup CA görüntüleri ve değerleri Çizelge 4.8’de gösterilmiştir ayrıca Şekil 4.15 de grafik değerleri verilmiştir. 6. Grup numunelerin CA değerlerine bakıldığında SR21 hidrofobik değerde olduğu görülmekte diğer numuneler ise hidrofilik değerde oldukları

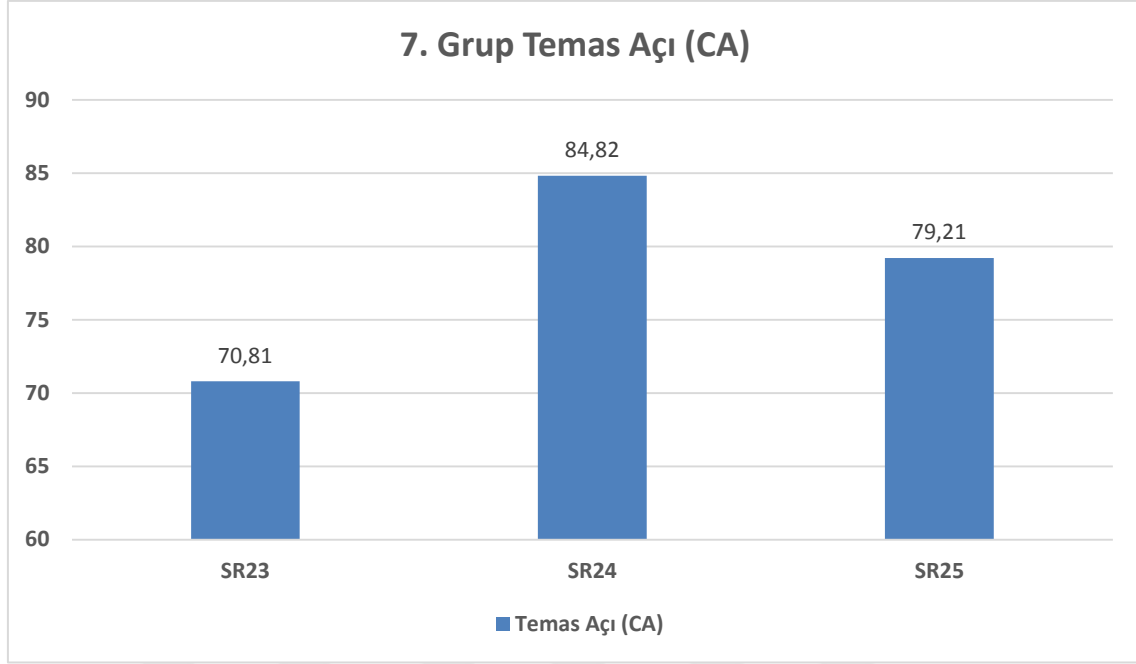
görülmektedir. 6. Grup'ta  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  ve asetil aseton oranlarının artması ile CA değerinde belirgin bir şekilde artış gözlenmekte SR21 numunesinde alabilecek en yüksek CA değerini almıştır.  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  ve asetil aseton oranlarının az daha artması ile ani bir düşüş görülmektedir. Saf mikroskop lam cam ile karşılaştırdığımızda CA değerinde artış gözlenmekte fakat  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  ve asetil aseton SR21 den sonra artan oranı için CA değerinde ani düşüş ile saf mikroskop lam cam değerine yaklaştığı görülmektedir.

**Çizelge 4.9** 7. Grup TEOS, koloidal silika ve asetil aseton ile hazırlanan bileşimlerin CA görüntüleri ve değerleri.

---

|                                                                                     |                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|    |  |
| SR23                                                                                | SR24                                                                               |
| 70,81                                                                               | 84,82                                                                              |
|  |                                                                                    |
| SR25                                                                                |                                                                                    |
| 79,21                                                                               |                                                                                    |

---

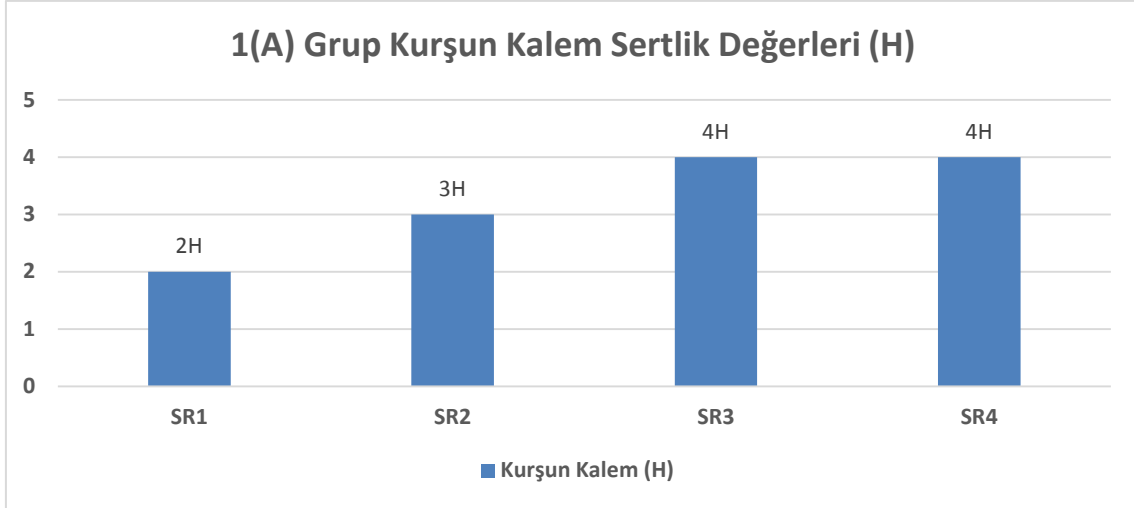


**Şekil 4.16** 7. Grup TEOS, koloidal silika ve asetil aseton ile hazırlanan bileşimlerin CA değerleri.

7. Grup CA görüntüleri ve değerleri Çizelge 4.9’de gösterilmiştir ayrıca Şekil 4.16 da grafik değerleri verilmiştir. 7. Grup numunelerine bakıldığında CA değerleri hidrofilik olduğu görülmektedir. 7. Grupta katkı bulunmayan SR23 temas açısı diğerlerine göre daha düşük CA değerine sahiptir. TEOS ve koloidal silika katkıları CA değerini arttırdığı görülmektedir. Koloidal silika TEOS’ a göre daha CA daha az yükseltmektedir. Saf mikroskop cam ile karşılaştırdığımızda ise CA değerlerinde arttırdığı görülmektedir.

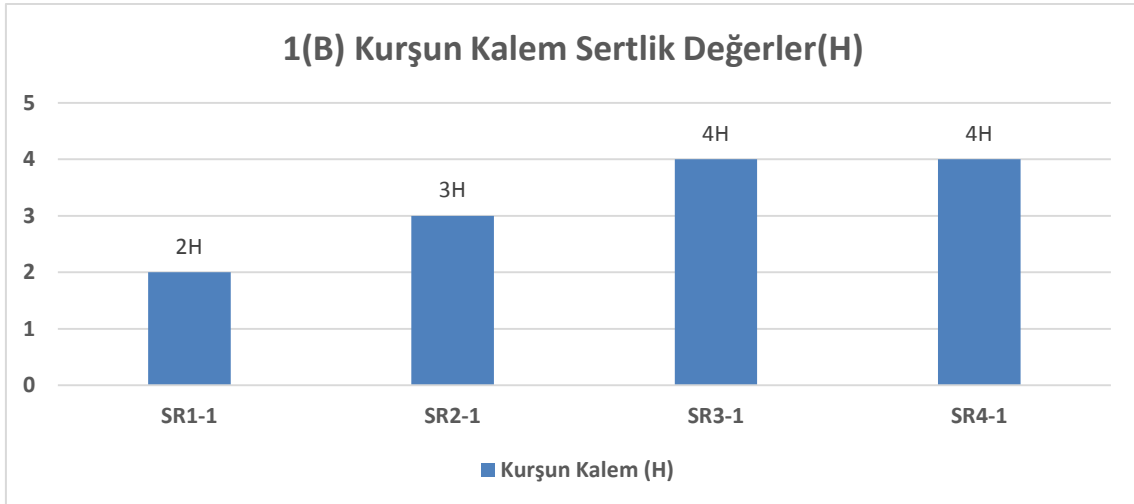
#### 4.4 Kurşun Kalem Sertlik Sonuçları

Kurşun kalem sertlik sonuçları hazırlanan numunelerin gruplarına göre değerlendirilmiştir. Kurşun kalem sertlik testi 6B ile 8H arasında ölçüldü. Hiçbir işlem uygulanmamış saf mikroskop lam cam kurşun kalem test sonucu 2H ölçüldü.



**Şekil 4.17** 1(A) Grup Ti ve Zr alkoksitli hazırlanan bileşimlerin sertlik değerleri.

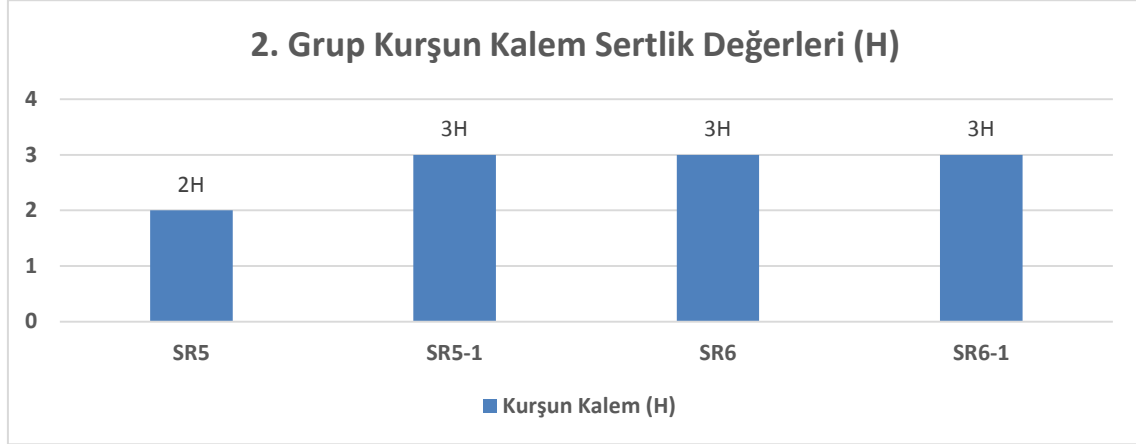
1(A) Grup kurşun kalem sertlik değerleri Şekil 4.17’ de verildi. 1(A) Grup numunelerin kurşun kalem sertlik değerlerine bakıldığında Zr ve Ti alkoksit kimyasal katkıları sertlik değerini arttırdığı gözlenmektedir. Ti alkoksit içeriği Zr alkoksit içeriğine göre sertliği daha fazla arttırmaktadır. Saf mikroskop lam camı ile karşılaştırdığımızda katkısız kaplamanın sertlik değerini etkilemediği Zr ve Ti içeriğine sahip katkıların sertliği etkilediği görülmektedir.



**Şekil 4.18** 1(B) Grup Ti ve Zr alkoksitli hazırlanan bileşimlerin sertlik değerleri.

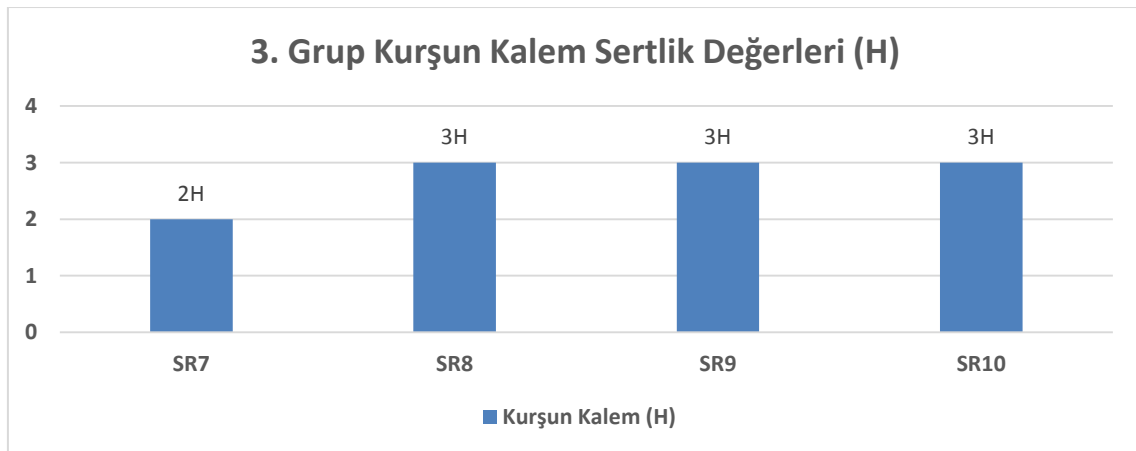
1(B) Grup kurşun kalem sertlik değerleri Şekil 4.18’ de verildi. 1(B) Grup numunelerin kurşun kalem sertlik değerlerine bakıldığında Zr ve Ti alkoksit kimyasal katkıları sertlik

değerini arttırdığı gözlenmektedir. Ti alkoksit içeriği Zr alkoksit içeriğine göre sertliği daha fazla arttırmaktadır. 1(A) Grubuna göre BYK katkısı sertlik değeri bakımından numuneleri etkilememiştir. Saf mikroskop lam camı ile karşılaştırdığımızda katkısız kaplamanın sertlik değerini etkilemediği Zr ve Ti içeriğine sahip katkıların sertliği etkilediği görülmektedir.



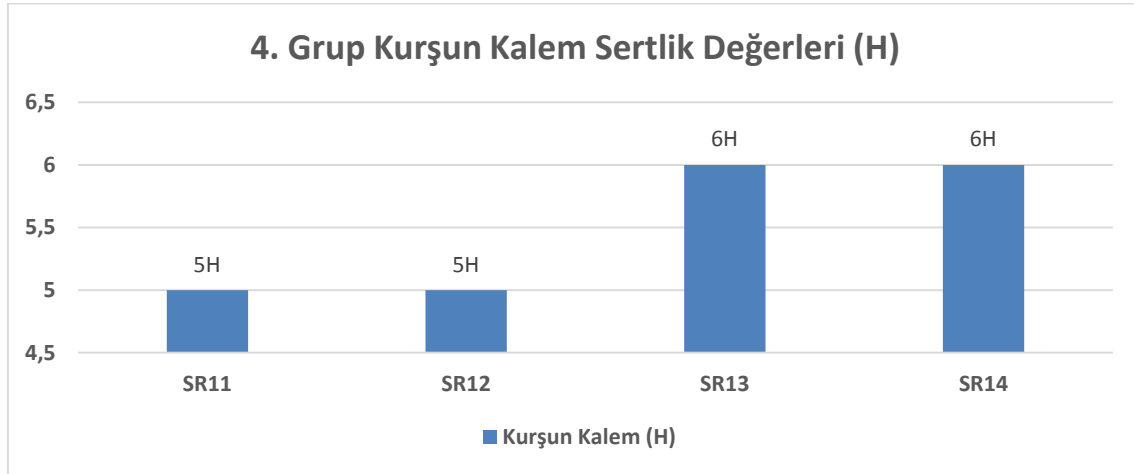
**Şekil 4.19** 2. Grup kolloidal silikalı hazırlanan bileşimler sertlik değerleri.

2. Grup kurşun kalem sertlik değerleri Şekil 4.19’da verildi. 2. Grup numunelerin sertlik değerlerine bakıldığında kolloidal silika ve CeO kimyasalların katılması ile sertliğin arttığı görülmektedir. Saf mikroskop lam camı ile karşılaştırdığımızda SR5 numune üzerindeki kaplama sertlik değerlerini etkilememiştir fakat diğer numunelerdeki kaplamalar sertlik değerini arttırdığı gözlenmiştir.



**Şekil 4.20** 3.Grup DAMO’lu hazırlanan bileşimler sertlik değerleri.

3. Grup kurşun kalem sertlik değerleri Şekil 4.20’ de verildi. 3. Grup numunelerin sertlik değerlerine bakıldığında Zr, Ti alkoksit ve CeO kimyasalları eklendiğinde sertlik değerini arttırdığı gözlenmekte ve her bir bileşen diğer bileşenler ile aynı değeri gösterdiği görülmektedir. Saf mikroskop lam camı ile karşılaştırıldığında SR7 numune kaplaması sertlik değerinin değişmediği diğer numunelerin ise sertlik değerinin arttığı görülmektedir.



**Şekil 4.21** 4. Grup Ti alkoksit ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin sertlik değerleri.

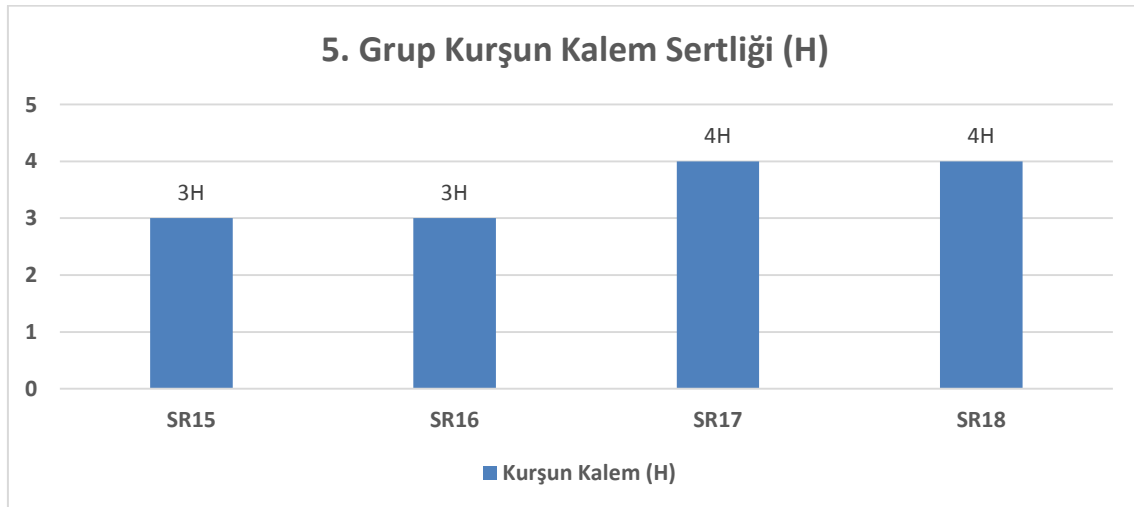
4. Grup kurşun kalem sertlik değerleri Şekil 4.21’ de verildi. 4. Grup numunelerin sertlik değerlerine bakıldığında Ti alkoksit ve asetil aseton kimyasalların bileşim oranı arttıkça sertlik değerinde artış görülmektedir. Saf mikroskop lam camı ile karşılaştırdığımızda SR11 ve SR12 numunelerinde sertlik değeri 3 kademe arttığı görülmekte SR13 ve SR14 numunelerinde ise sertlik değerinin 4 kademe arttığı görülmektedir.

Chun vd. (2009) çalışmasında soda kireç cam üzerine  $TiO_2$  metal alkoksit ile hazırlanan sol püskürtmeli ve daldırmalı kaplama ile cam yüzeylere kaplanmış, sertlik değerleri ölçüldüğünde daldırmalı kaplama değeri 7H iken püskürtmeli kaplama değeri 5H çıkmıştır. Her iki çalışmaya bakıldığında ise Ti alkoksit içeriğinin artması ile sertlik değerinin olumlu yönde etkilemiştir.

Rivero vd. (2018) çalışmasında İki organik modifiye silika alkoksitin, GLYMO ve MTEOS kopolimerizasyonu ile bir hibrit matris imal edilmiştir. Bu hibrit matris  $TiO_2$  NP'lerin daha fazla yakalanması için kullanıldığından kilit bir rol oynar.  $TiO_2$  içeriğinin artması ile sertlik değerinde artış gözlenmiştir. Her iki çalışmada da  $TiO_2$  içeriği sertlik açısından olumlu yönde etkilemiştir.

Dinelli vd. (2011) çalışmasında, bir  $SiO_2$  ve  $TiO_2$  şeffaf inorganik kaplamalar tasarlamış ve bir mikrodalga destekli sol-jel ısıtma kullanılarak sentezlemişler ve plastik yüzeyler üzerine uygulanan kaplamaların gerekliliği göz önünde bulundurularak, sert, dirençli ve etkili yüzey sağlayan sol-jel filmlerin tavlama işlemi için çok hızlı alternatif bir yöntem olarak mikrodalga ışınlaması seçilebilir. Her iki çalışma karşılaştırılacak olursak mikrodalga ışınlaması cam yüzeyler üzerine yapılan kaplamalarda uygulanabilir.

Yemmireddy vd. (2015) çalışmasında paslanmaz çelik yüzeylere çeşitli bağlayıcı maddeleri farklı oranlarda  $TiO_2$  kaplama uygulamışlardır.  $TiO_2$  kaplamaların bakterisidal özelliğini azaltabileceğini ortaya koymuşlardır. Bağlayıcı olarak poliüretan içeren  $TiO_2$  kaplamalar 4B kalem sertlik değeri ile en yüksek çizilme direncini göstermiştir. Her iki çalışma Ti içerikli kaplamaların bakterisidal özelliği incelenebilir kalem sertlik değerlerine bakıldığında cam yüzeylerdeki kaplamanın daha yüksek değer aralığında çıktığı görülmektedir.



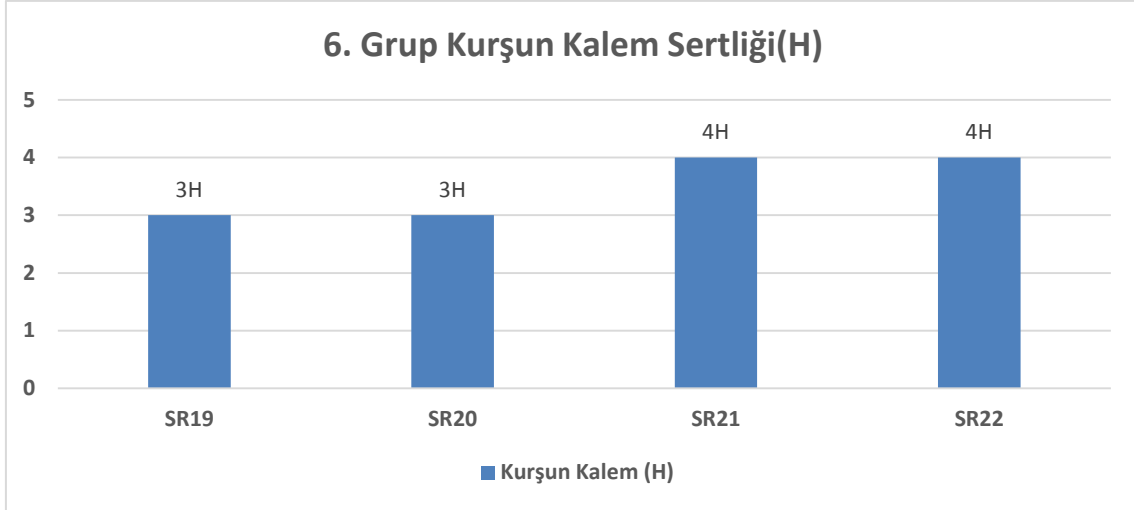
**Şekil 4.22** 5. Grup  $ZrOCl_2$  ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin sertlik değerleri.

5. Grup kurşun kalem sertlik değerleri Şekil 4.22' de verildi. 5. Grup numunelerin sertlik değerlerine bakıldığında  $ZrOCl_2$  ve asetil aseton kimyasalların bileşim oranı arttıkça sertlik değerinde artış görülmektedir. Saf mikroskop lam camı ile karşılaştırdığımızda SR15 ve SR16 numunelerinde sertlik değeri 1 kademe arttığı görülmekte SR17 ve SR18 numunelerinde ise sertlik değerinin 2 kademe arttığı görülmektedir.

Suriano vd. (2017) çalışmasında farklı zirkonya ve silika molar içeriğine sahip sert kaplama cam malzeme ve PC üzerine uygulamışlardır. Cam yüzeyindeki kaplama üzerine uygulanan kalem sertlik değeri zirkonya oranının artmasıyla kaplama sertliği 2-3H değerinden 3-4H değerine yükselmiştir PC yüzeyindeki kaplama üzerine uygulanan kalem sertlik değerini ise 5-6B değerinden B-HB değerine yükseldiği görülmektedir. 5. Grup çözelti ile kaplanan cam malzemelere bakıldığında ise  $ZrOCl_2$  içeriğinin arttığı gözlenmiştir. Her iki çalışmaya bakıldığında Zirkonya içeriğinin artması ile sertlik değerinin arttığı gözlenmiştir.

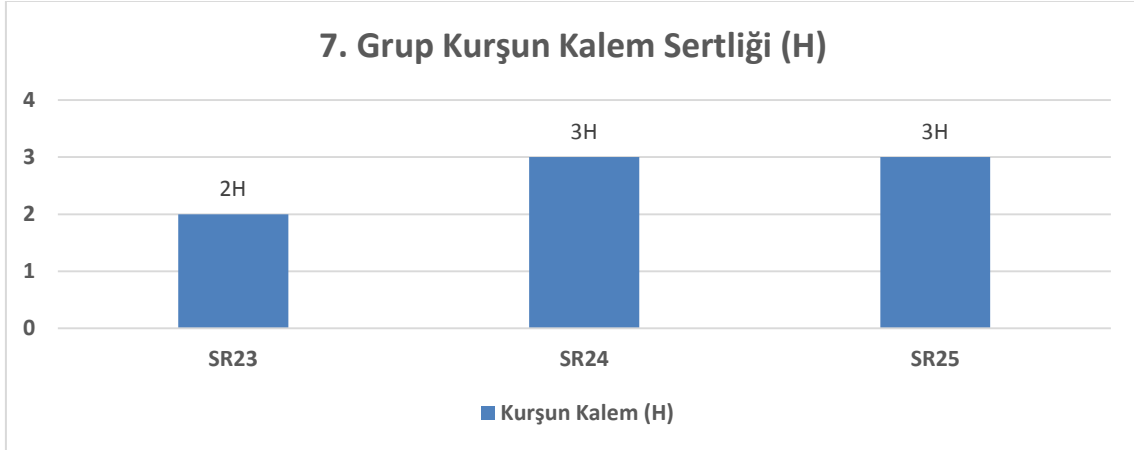
Chang vd. (2013) çalışmasında  $ZrO_2$  nano partikülleri ile 3-trimetoksisilil propilmetakrilat (MSMA) bağlanma maddesi ile PMMA yüzeylerine kaplamışlardır. Kaplanan yüzeyleri UV ile kütleme işlemi yapmışlardır. Kurşun kalem sertlik değeri 7-8H değerleri arasında çıktığı görülmektedir. Her iki numune karşılaştırıldığında aradaki fark çok fazla olduğu görülmektedir. Bu fark kaplanacak yüzeyden, bağlanma maddesi veya kaplanan yüzeyin UV ile kütleme işleminden kaynaklı olabilir.





**Şekil 4.23** 6. Grup  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin sertlik değerleri.

6. Grup kurşun kalem sertlik değerleri Şekil 4.23’ de verildi. 6. Grup numunelerin sertlik değerlerine bakıldığında  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  ve asetil aseton kimyasalların bileşim oranı arttıkça sertlik değerinde artış görülmektedir. Saf mikroskop lam camı ile karşılaştırdığımızda SR19 ve SR20 numunelerinde sertlik değeri 1 kademe arttığı görülmekte SR21 ve SR22 numunelerinde ise sertlik değerinin 2 kademe arttığı görülmektedir.



**Şekil 4.24** 7. Grup TEOS, koloidal silika ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin sertlik değerleri.

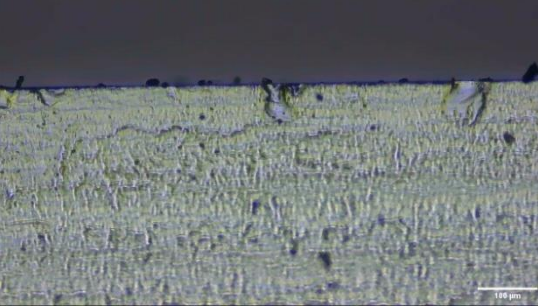
7. Grup kurşun kalem sertlik değerleri Şekil 4.24’ de verildi. 7. Grup numunelerin sertlik değerlerine bakıldığında TEOS ve koloidal silika katkıları sertlik değerini yükselttiği görülmektedir. Saf mikroskop lam camı ile karşılaştırdığımızda SR23

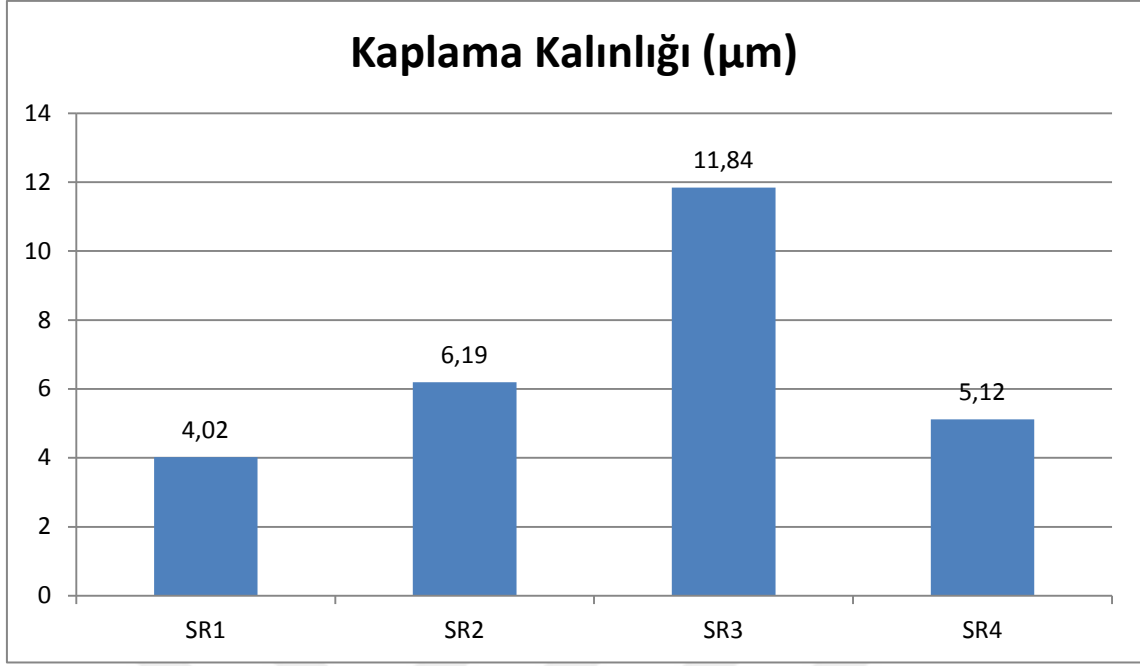
numunesinde değişim gözlenmediği SR24 ve SR25 numunelerinde 1 kademe yükseldiği görölmektedir.

#### 4.5 Mikroskop Görüntüsü

Mikroskop test analizinde hazırlanan numuneler kendi grupları içinde incelenmiştir. Kaplama kalınlık ölçümleri  $\mu\text{m}$  olarak verilmiştir. Mikroskop görüntüleri, numune kodları ve kaplama kalınlıkları Çizelge olarak verilmiştir. Ayrıca ölçüm sonuçların grafiği çizilmiştir.

**Çizelge 4.10** 1(A) Grup Ti ve Zr alkoksitli hazırlanan bileşimlerin mikroskop görüntüleri ve kaplama kalınlıkları.

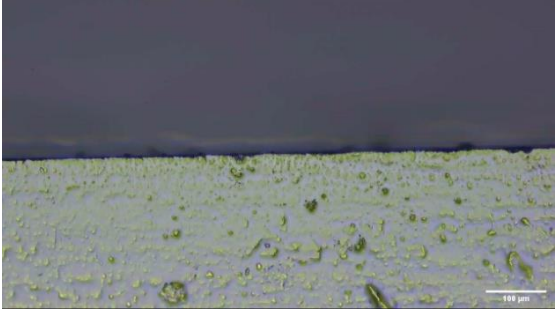
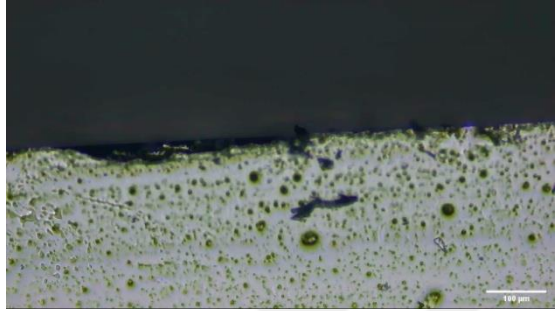
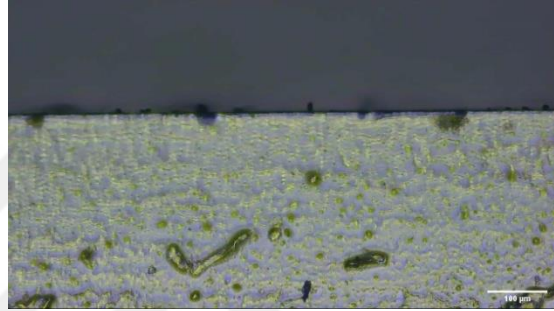
|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |
| SR1                                                                                 | SR2                                                                                  |
| 4,02                                                                                | 4,28                                                                                 |
|  |  |
| SR3                                                                                 | SR4                                                                                  |
| 11,84                                                                               | 5,12                                                                                 |

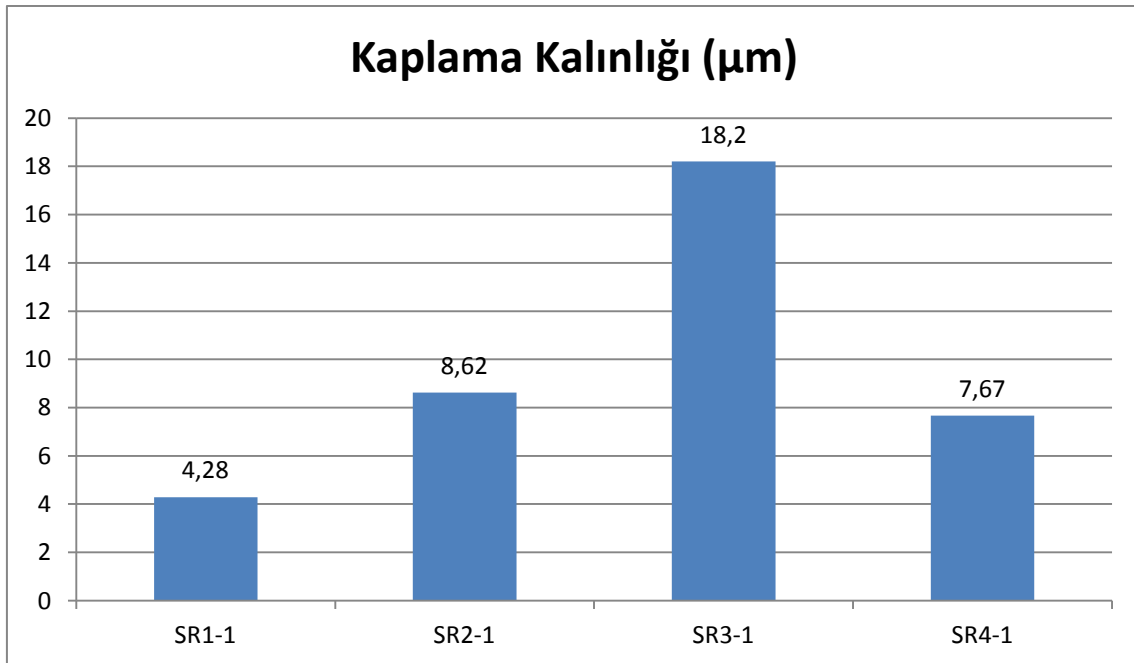


**Şekil 4.25** 1(A) Grup Ti ve Zr alkoksitli hazırlanan bileşimlerin kaplama kalınlıkları.

1(A) Grup mikroskop görüntüleri ve değerleri Çizelge 4.12’de gösterilmiştir ayrıca Şekil 4.25’da grafik değerleri verilmiştir. Kaplama kalınlıkları incelendiğinde Zr ve Ti alkoksit içeriğinin kaplama kalınlığını yükselttiği görülmüştür. Ti alkoksit içeriğinin kaplama kalınlığını daha fazla arttırdığı gözlenmiştir. Mikroskop görüntülerine bakıldığında yüzey görüntüsü pürüzsüzdür.

**Çizelge 4.11** 1(B) Grup Ti ve Zr alkoksitli ve BYK katkısı ile hazırlanan bileşimlerin mikroskop görüntüleri ve kaplama kalınlığı.

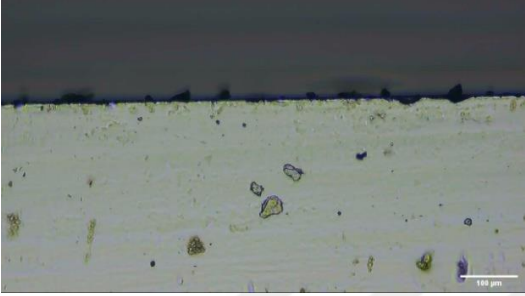
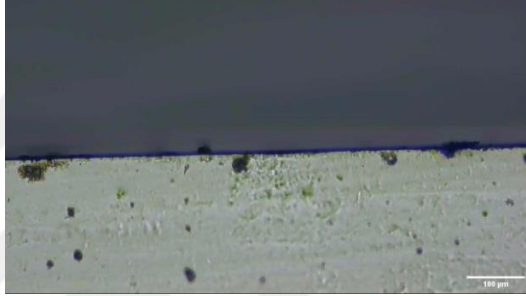
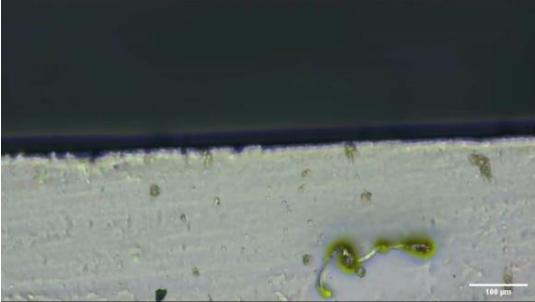
|                                                                                    |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |
| SR1-1                                                                              | SR2-1                                                                               |
| 4,28                                                                               | 8,62                                                                                |
|  |  |
| SR3-1                                                                              | SR4-1                                                                               |
| 18,20                                                                              | 7,67                                                                                |

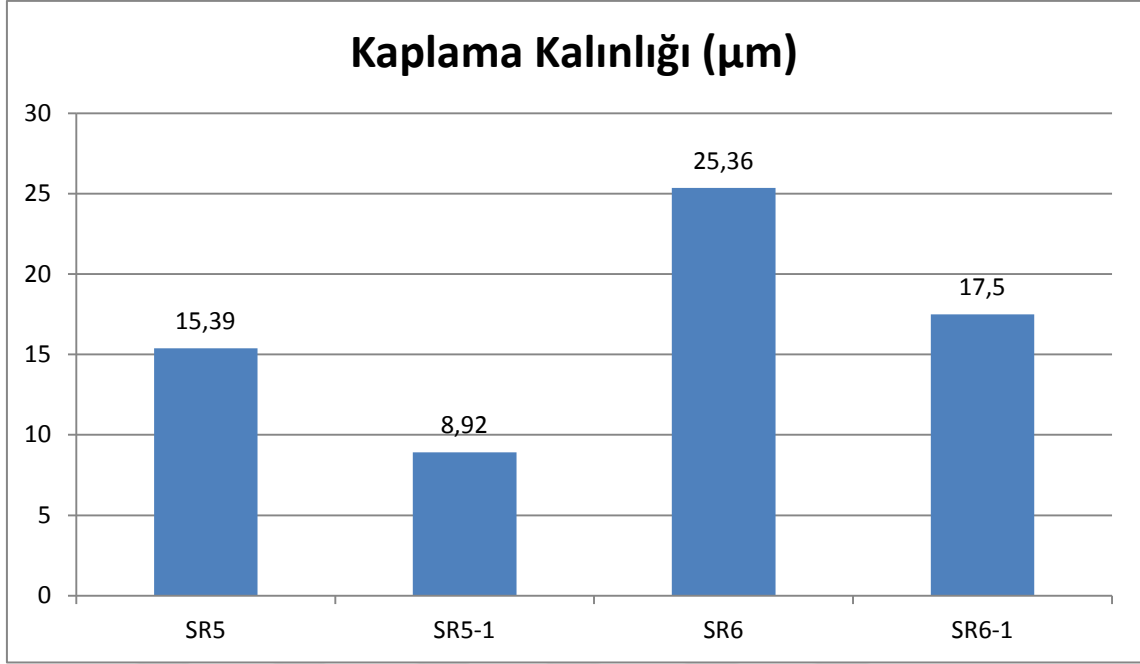


**Şekil 4.26** 1(B) Grup Ti ve Zr Alkoksitli ve BYK katkısı ile hazırlanan bileşimlerin kaplama kalınlığı değerleri.

1(B) Grup mikroskop görüntüleri ve değerleri Çizelge 4.13’de gösterilmiştir ayrıca Şekil 4.26’da grafik değerleri verilmiştir. 1(B) Grup kaplama kalınlıklarına bakıldığında Kaplama kalınlıkları incelendiğinde Zr ve Ti alkoksit içeriğinin kaplama kalınlığını yükselttiği görülmüştür. Ti alkoksit içeriğinin kaplama kalınlığını daha fazla arttırdığı gözlenmiştir. Mikroskop görüntülerine bakıldığında yüzey görüntüsü pürüzsüzdür. 1(A) Grubu ile kıyaslandığında BYK-377 katkısının kaplama kalınlığında olumsuz yönde etkilemiştir ve kaplama kalınlık değerini yükseltmiştir.

**Çizelge 4.12** 2. Grup koloidal silikalı hazırlanan bileşimrin mikroskop görüntüleri ve kaplama kalınlığı.

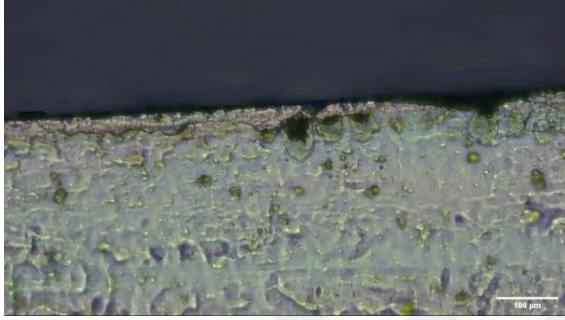
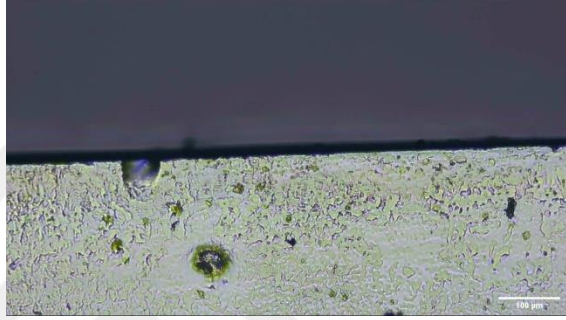
|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |
| SR5                                                                                 | SR5-1                                                                                |
| 15,39                                                                               | 8,92                                                                                 |
|  |  |
| SR6                                                                                 | SR6-1                                                                                |
| 25,36                                                                               | 17,50                                                                                |

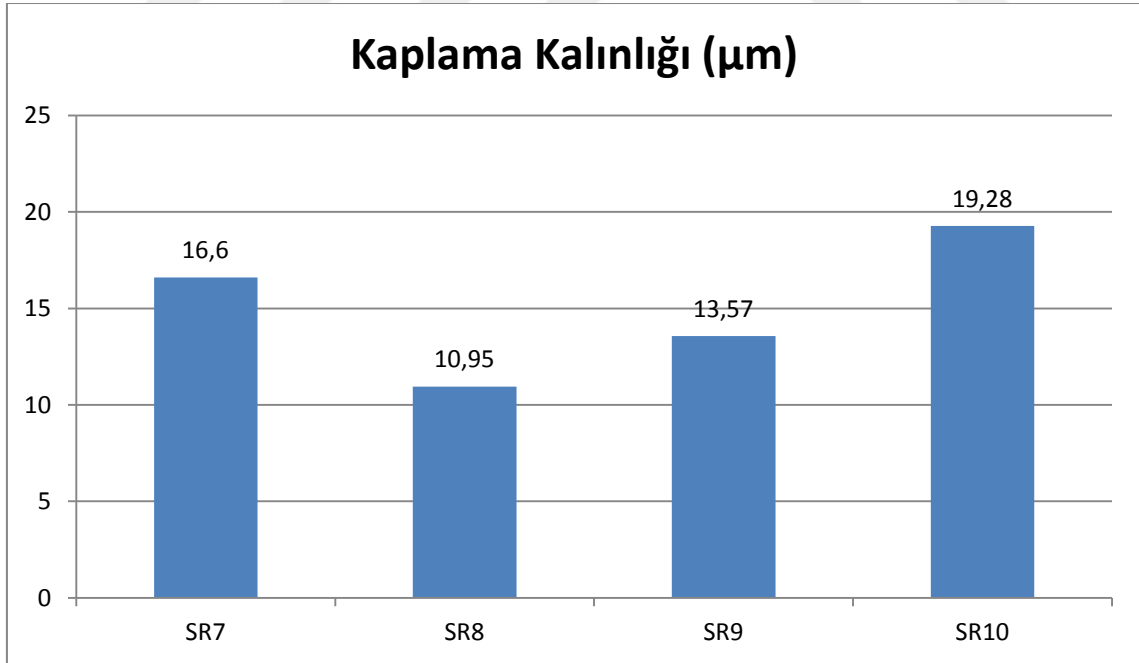


Şekil 4.27 2. Grup kolloidal silikalı hazırlanan bileşimlerin kaplama kalınlığı.

2. Grup mikroskop görüntüleri ve değerleri Çizelge 4.14’de gösterilmiştir ayrıca Şekil 4.27’da grafik değerleri verilmiştir. Kaplama kalınlığı değerlerine bakıldığında CeO kaplama kalınlığında olumlu yönde etkilemiştir. Kolloidal silika olumsuz yönde etkilemiştir. Mikroskop görüntüleri incelendiğinde Kolloidal silika ile kaplanan kaplamada yüzey pürüzlülüğü az olduğu gözlenmiştir. CeO katkılı kaplamada ise yüzeyde pürüzlülüklerin olduğu gözlenmiştir.

**Çizelge 4.13** 3. Grup DAMO' lu hazırlanan bileşimlerin mikroskop görüntüleri ve kaplama kalınlığı.

|                                                                                    |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |
| SR7                                                                                | SR8                                                                                 |
| 16,60                                                                              | 10,95                                                                               |
|  |  |
| SR9                                                                                | SR10                                                                                |
| 13,57                                                                              | 19,28                                                                               |

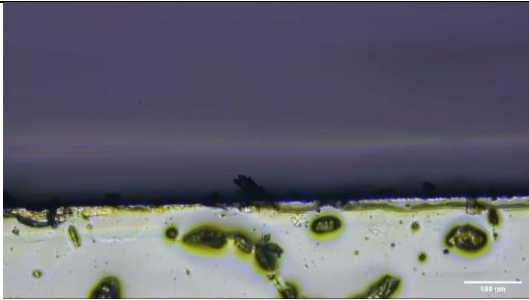
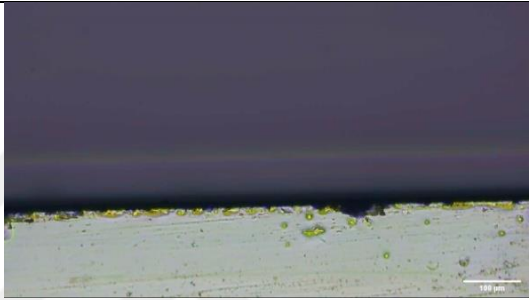


**Şekil 4.28** 3. Grup DAMO' lu hazırlanan bileşimlerin kaplama kalınlığı.

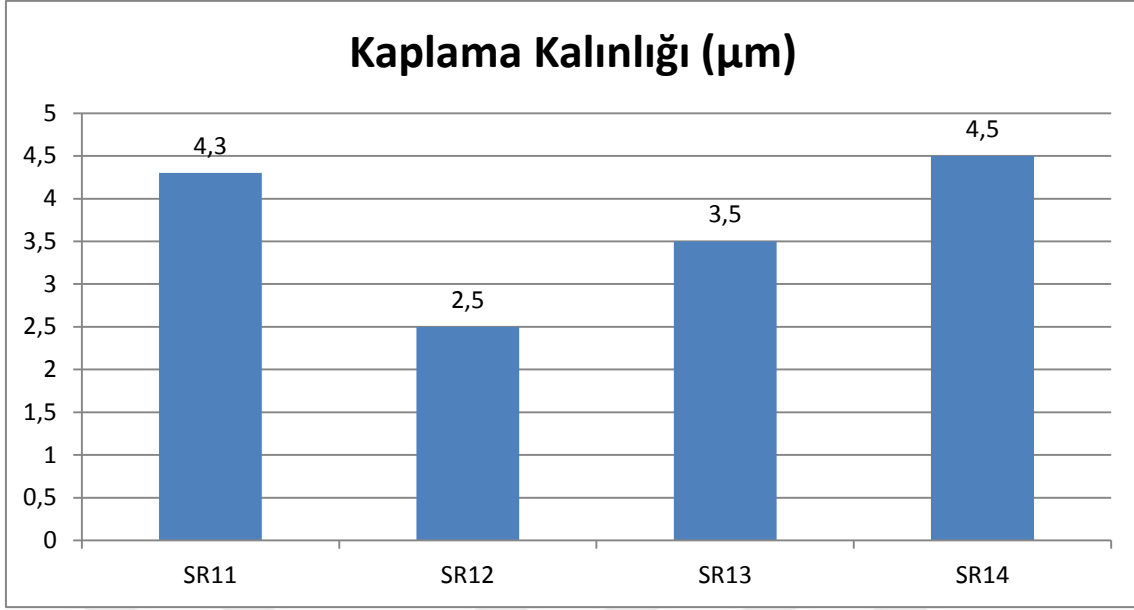


3. Grup mikroskop görüntüleri ve değerleri Çizelge 4.15’de gösterilmiştir ayrıca Şekil 4.28’da grafik değerleri verilmiştir. Kaplama kalınlıklarına bakıldığında Zr ve Ti katkılarının kaplama kalınlığında olumlu yönde etkilemiştir. CeO katkılı kaplamada ise kaplama kalınlığını yükselttiği gözlenmiştir. Mikroskop görüntülerine bakıldığında metal oksit katkısız numunede yüzeyde kalıntıların olduğu görülmüştür.

**Çizelge 4.14** 4.Grup Ti alkoksit ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin mikroskop görüntüleri ve kaplama kalınlığı.

|                                                                                     |       |                                                                                      |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------|
|    |       |    |       |
| SR11                                                                                | 21,85 | SR12                                                                                 | 19,28 |
|  |       |  |       |
| SR13                                                                                | 23,93 | SR14                                                                                 | 27,67 |

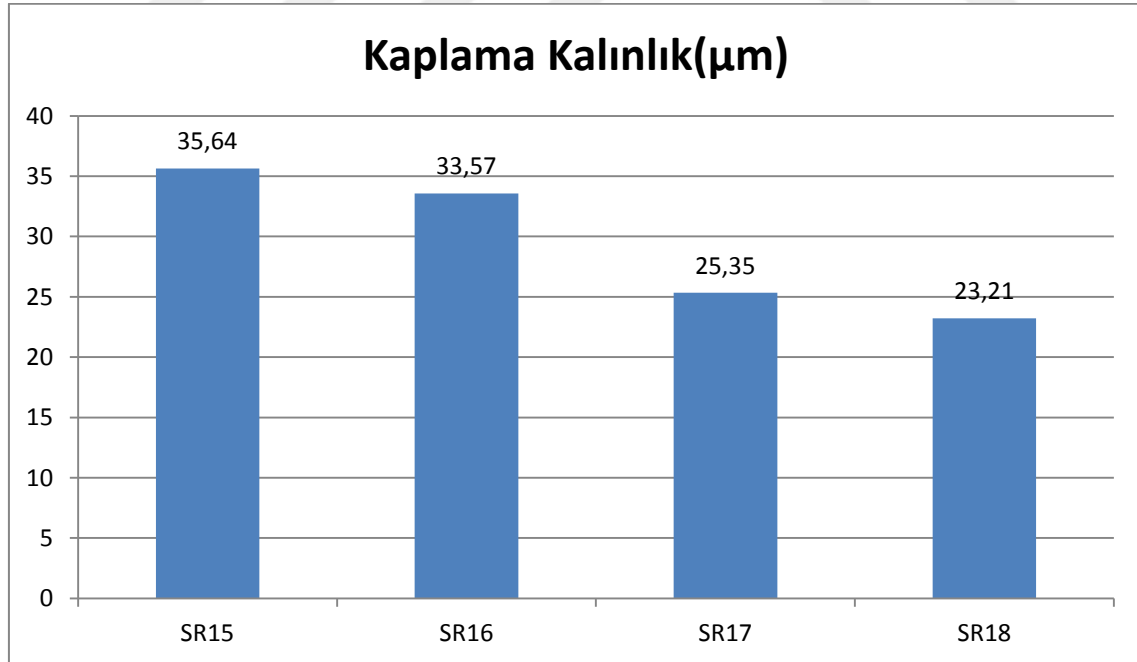
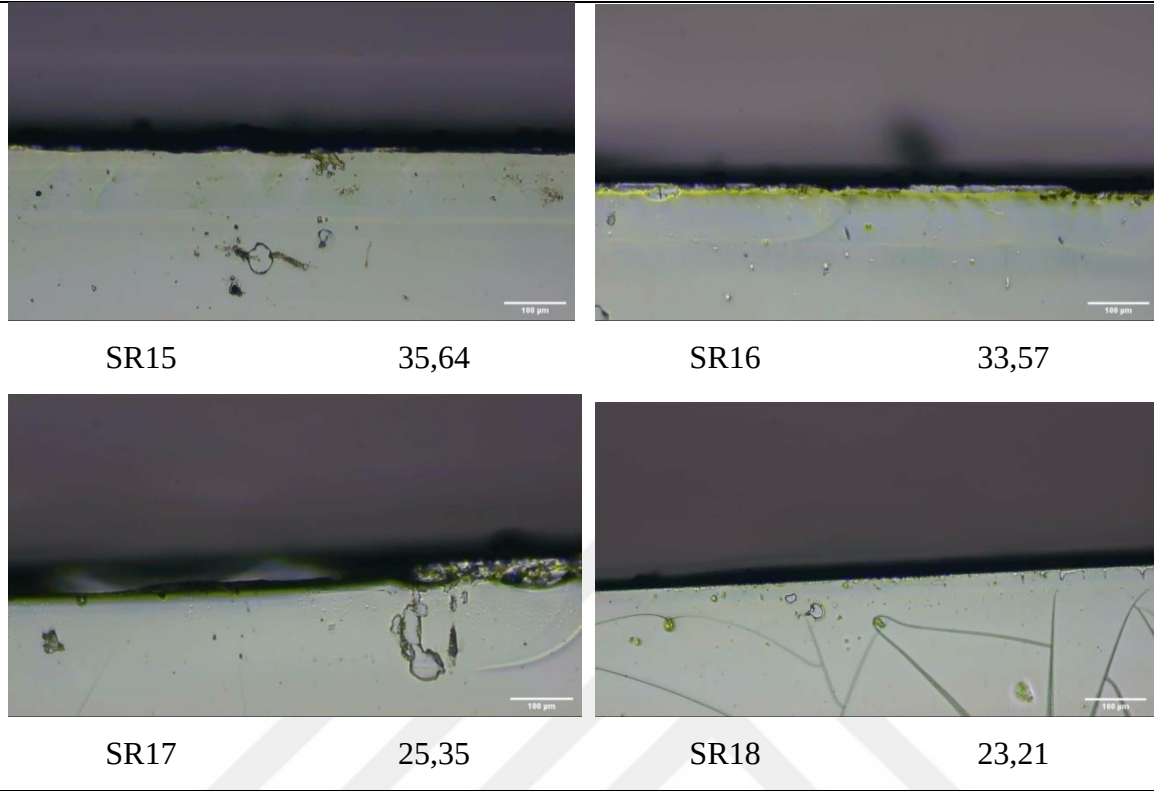




**Şekil 4.29** 4.Grup Ti alkoksit ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin kaplama kalınlığı.

4. Grup mikroskop görüntüleri ve değerleri Çizelge 4.16’de gösterilmiştir ayrıca Şekil 4.29’da grafik değerleri verilmiştir. 4. Grup kaplama kalınlıklarına bakıldığında kalınlık değerleri olumlu çıkmıştır. SR12’de kaplama kalınlık değerinin düştüğü ve SR12 çözelti oranında minimum kalınlık değerine sahiptir. Ti alkoksit içeriği arttıkça kaplama kalınlık değerinin arttığı gözlenmiştir. Mikroskop görüntülerine bakıldığında Ti alkoksit değeri arttıkça pürüzlük düşmüştür.

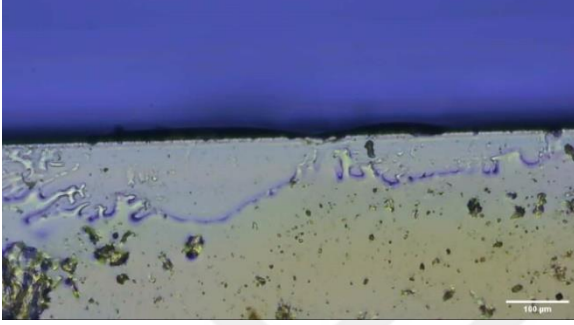
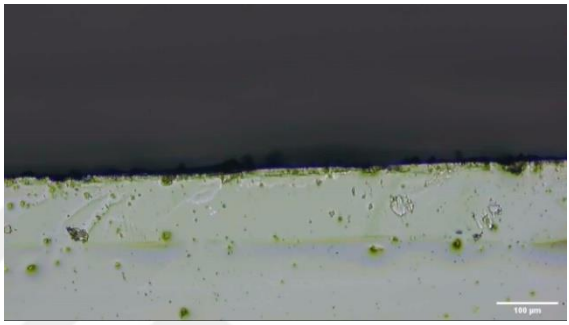
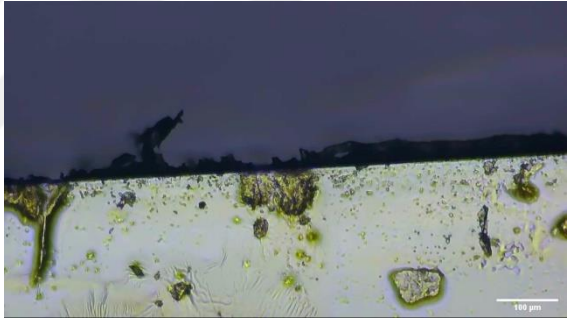
**Çizelge 4.15** 5.Grup  $ZrOCl_2$  ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin mikroskop görüntüleri ve kaplama kalınlıkları.

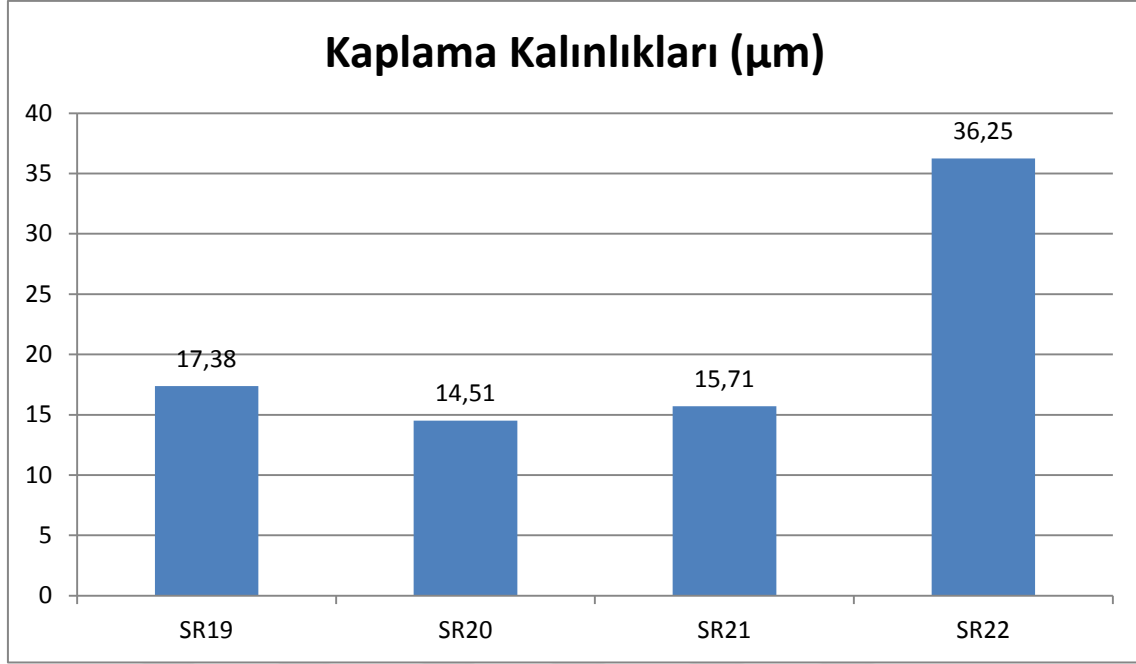


**Şekil 4.30** 5.Grup  $ZrOCl_2$  ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin kaplama kalınlığı.

5. Grup mikroskop görüntüleri ve değerleri Çizelge 4.17’de gösterilmiştir ayrıca Şekil 4.30’da grafik değerleri verilmiştir. 5. Grup numunelerin kalınlık değerlerinde  $ZrOCl_2$  oranının artması ile kaplama kalınlık değerinde azalma gözlenmiştir. Mikroskop görüntülerine bakıldığında kaplama yüzeyleri  $ZrOCl_2$  katkısı ile minimum pürüzlülüğe sahip numuneler elde edilmiştir.

**Çizelge 4.16** 6. Grup  $Ce(NO_3)_3$  ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin mikroskop görüntüleri ve kaplama kalınlıkları.

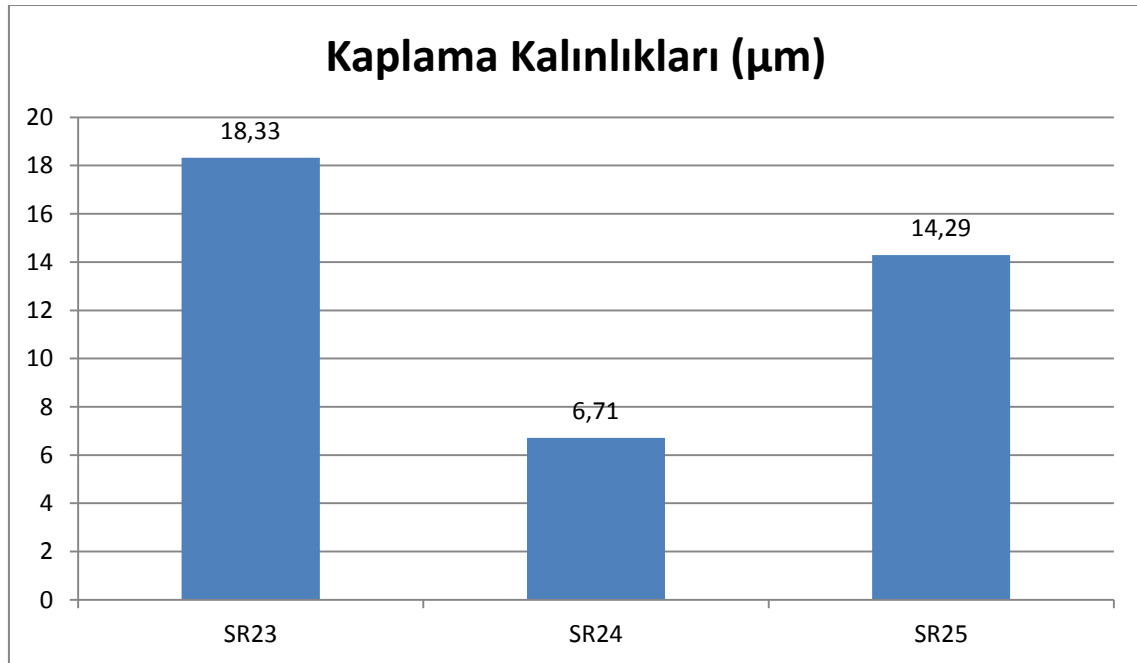
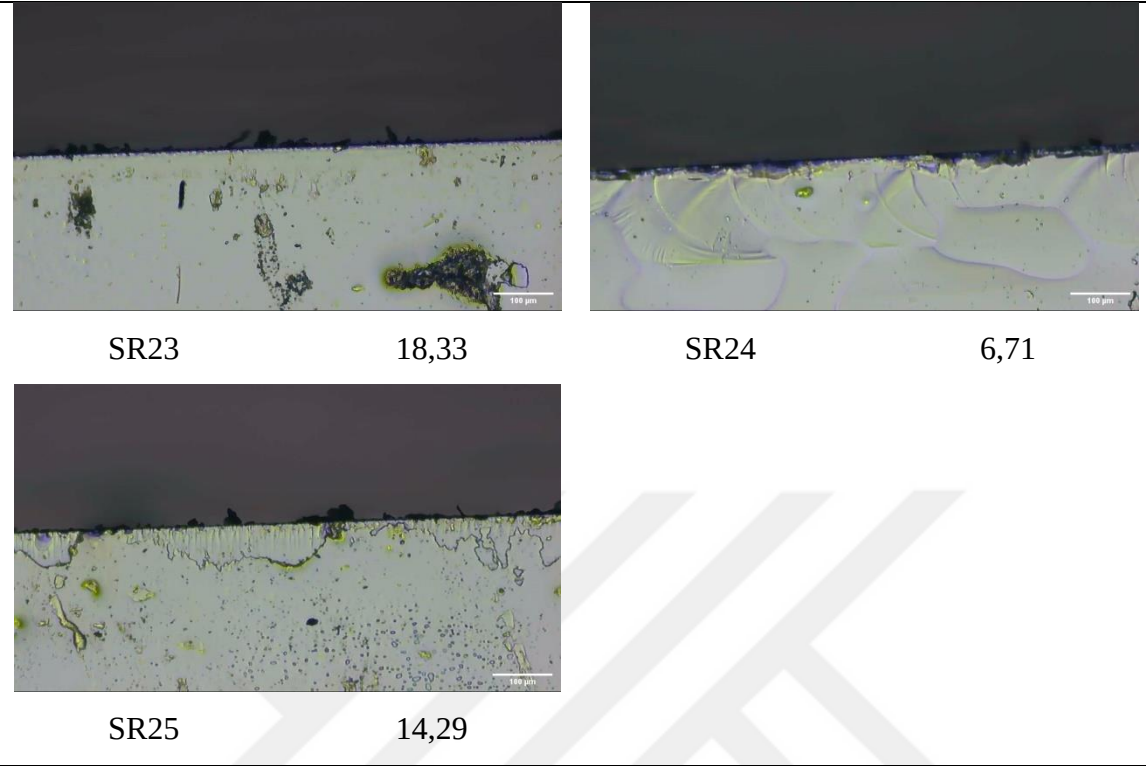
|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |
| SR19                                                                                | SR20                                                                                 |
| 17,38                                                                               | 14,51                                                                                |
|  |  |
| SR21                                                                                | SR22                                                                                 |
| 15,71                                                                               | 36,25                                                                                |



**Şekil 4.31** 6. Grup  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  ve asetil asetonlu hazırlanan bileşimlerin kaplama kalınlığı.

6. Grup mikroskop görüntüleri ve değerleri Çizelge 4.18’de gösterilmiştir ayrıca Şekil 4.31’da grafik değerleri verilmiştir. 6. Grup numunelerin kaplama kalınlık değerlerine bakıldığında SR20 numunesinin  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  oranına kadar düşüş gözlenmiştir.  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  oranının artması ile tekrar kaplama kalınlığında artma gözlenmiştir. Mikroskop görüntülerine bakıldığında  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  değerlerinin artması ile yüzeyde kalıntıların arttığı görülmüştür.

**Çizelge 4.17** 7. Grup TEOS, kolloidal silika ve asetil aseton ile hazırlanan bileşimlerin mikroskop görüntüleri ve kaplama kalınlıkları.



**Şekil 4.32** 7. Grup TEOS, kolloidal silika ve asetil aseton ile hazırlanan bileşimlerin kaplama kalınlığı.

7. Grup mikroskop görüntüleri ve değerleri Çizelge 4.19’de gösterilmiştir ayrıca Şekil 4.32’da grafik değerleri verilmiştir. 7. Grup numunelerin kaplama kalınlığına bakıldığında Si Alkoksit ve kolloidal silikanın katkılarının kaplama kalınlığının düşürdüğü görülmüştür. Si alkoksit katkısı daha fazla düşürmüştür. Mikroskop değerlerine bakıldığında Si alkoksit katkılı numunede kaplama yüzeyi diğer numunelere göre daha pürüzsüz olduğu görülmüştür.



## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada; sol-jel yöntemi ile mikroskop lam cam malzemelerin üzerine metal oksit ve silan bileşenleri kullanılarak yüzey geliştirildi. Kullanılan cam malzemelerin yüzey özellikleri bulanıklık %0,5, ışık geçirgenlik %93, temas açısı 44,27° ve kalem sertlik 2H değerlerini vermektedir.

Bulanıklık değerlerine bakıldığında SR6 ve SR7 numuneleri sırasıyla %0,39 ve %0,44 değerleri ile işlem uygulanmamış mikroskop lam cam numunelerinden düşük değere sahiptir. Bulanıklık değeri en yüksek olan numuneler SR10, SR4-1 ve SR4 olarak sırasıyla %37,3, %24,6 ve %22,3 değerlerine sahiptir.

Işık geçirgenlik değerlerine bakıldığında SR5, SR24 ve SR6-1 sırasıyla %91,7, %91,7 ve %91,6 değerleri ile en yüksek değerlere sahiptir. SR20, SR10 ve SR14 numuneleri sırasıyla %85, %87,3 ve %89 değerleri ile en düşük ışık geçirgenlik değerlerine sahiptir.

Temas açısı değerlerine bakıldığında SR21, SR5, SR5-1 numuneleri sırasıyla 115,44°, 91,02° ve 89,95° değerleri ile en yüksek değerlere sahiptir. SR22 SR1-1 ve SR19 numuneleri ise 45,16°, 48,48° ve 50,43° değerleri ile en düşük temas açısı değerlerine sahiptir.

Kurşun kalem sertlik değerlerine bakıldığında SR13 ve SR14 numuneleri 6H sertlik değeri ile en yüksek değere sahiptir. SR11 ve SR12 numuneleri 5H sertlik değeri ile ikinci yüksek sertlik değerine sahiptir.

Mikroskop testine bakıldığında SR1 ve SR1-1 numuneleri 4,02 ve 4,28 değerleri ile kaplama kalınlığında en düşük değere sahiptir. Mikroskop görüntülerine bakıldığında SR6, SR10, SR12 ve SR18 numunelerinde kaplanan yüzeyleri diğer numunelere göre daha pürüzsüzlüğe sahiptir.

Tüm çalışmalar ve yapılan değerlendirmeler sonunda en iyi sonuç SR13 numunesinden alınmıştır. Kurşun kalem sertlik sonucunda 6H değeri ile en yüksek sonucu vermiştir.

Bulanıklık sonucuna bakıldığında %0,52 değeri ile yüzeydeki kaplamanın etkilemediği görülmektedir. Işık geçirgenlik sonucunda %89,8 değeri ile önemli bir derece de azalma gerçekleşmemiştir. Temas açısı sonucunda 79,69° değerinde bulunmuştur. Kaplama kalınlığına bakıldığında 23,93µm değerinde çıkmıştır. Mikroskop görüntüsüne bakıldığında kaplama yüzeyindeki pürüzlülüğü çok fazla olmadığı görülmektedir.





## 6. KAYNAKLAR

- Akarsu E, Çamurlu H E, 2018, Preparation and Characterization of Photocatalytic TiO<sub>2</sub>/GLYMO Nanocomposite Films, Turkish Journal of Chemistry, 42, 1265–1274.
- Aksoy S, 2017, Sol-Jel Spin Kaplama Yöntemiyle Elde Edilen Nano Yapılı Metal Oksit Filmlerin Fiziksel Karakterizasyonu, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 219s, Eskişehir.
- Anonim, 2008, Seramik Cam Teknolojisi, Camın Kimyasal Yapısı, T.C Milli Eğitim Bakanlığı (MEB), Ankara.
- Anonim, 2009, A Guide to Silane Solutions, Silan Coupling Agents, Xiameter Co., USA.
- Anonim, 2009, A Guide to Silane Solutions, The Basics of Silane Chemistry, Xiameter Co., USA.
- Anonim, 2012, Silanes 1 Organofunctional, For Powerful Connections, Wacker Chemie AG., München.
- Anonim, 2013, Seramik ve Cam Teknolojisi, Cam Türleri ve Camı Oluşturan Oksitler, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı (MEB), Ankara.
- Anonim, 2017, Combination Of Organic And İnorganic Metarials, Shin-Etsu Chemical Co., Ltd, Tokyo.
- Arsoy Z, 2014, Talkın Yüzey Özelliklerine Öğütmenin Etkisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 101 s, Afyon.
- Asmaz A C, 2013, Evrensel Ölçekte Cam Eğitimi ve Bu Alandaki Gelişmeler, Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 177s, Eskişehir.
- Biçer E D, 2015, Sol-Jel Yöntemi ile Hazırlanan TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> Nanokompozit İnce Filmlerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 129s, İstanbul.

- Boztoprak Y, Kahraman M V, Kayaman N A, Güngör A, 2007, Sol-Jel Tekniğiyle Kaplanan Polikarbonatların Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, 8. Uluslararası Kırılma Konferansı Bildirileri Kitabı, 7-9 Kasım, İstanbul, 330-337.
- Cansever S, 2011, Metal/Poli(Pentachlorophenyl Methacrylate-Co-Glycidyl Methacrylate) Heterojunction Diyotların elektriksel ve Optiksel Karakteristiklerinin İncelenmesi, Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 71s, Yozgat.
- Chang C C, Hwang F H, Hsieh C Y, Chen C C, Cheng L P, 2013, Preparation and Characterization of Polymer/Zirconia Nanocomposite Antistatic Coatings on Plastic Substrates, Journal of Coatings Technology and Research, 10, 73–7.
- Chantarachindawong R, Luangtip W, Chindaudom P, Osotchan T, Srihirin T, 2012, Development of the Scratch Resistance on Acrylic Sheet with Basic Colloidal Silica (SiO<sub>2</sub>)—Methyltrimethoxysilane (MTMS) Nanocomposite Films by Sol–Gel Technique, The Canadian Journal of Chemical Engineering, 90, 888-896.
- Chen S, You B, Zhou S, Wu L, 2009, Preparation and Characterization of Scratch and Mar Resistant Waterborne Epoxy/Silica Nanocomposite Clearcoat, Journal of Applied Polymer Science, 112, 3634–3639.
- Chen X, Zhou S, You, Wu L, 2011, Ambient-Curable Polysiloxane Coatings: Structure and Mechanical Properties, Journal of Sol-Gel Science and Technology, 58, 490–500.
- Chun H Y, Park S S, You S H, Kang G H, Bae W T, Kim K W, vd., 2009, Preparation of a Transparent Hydrophilic TiO<sub>2</sub> Thin Film Photocatalyst, Journal of Ceramic Processing Research, 10, 219-223.
- Çinko U O, 2016, Tekstil Yüzeylerinin Sol-Jel Yöntemi ile Yüze Modifikasyonun Araştırılması, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 73s, Bursa.
- Danks A E, Hallb S R ve Schnepf Z, 2016, The Evolution Of ‘Sol–Gel’ Chemistry As A Technique For Materials Synthesis, Materials Horizons, 3, 91-112.

- Dinelli M, Fabbri E, Bondioli F, 2011 TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> Hard Coating on Polycarbonate Substrate by Microwave Assisted Sol-Gel Technique, Journal of Sol-Gel Science and Technology 58, 463-469.
- Evcin A, 2016, İnce Film Teknolojisi, Sol-Jel Kaplamalar, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- Farahbakhsh E B, 2014, Cam Yapı Malzemelerinin Farklı Derece Gün Bölgelerindeki Enerji Performanslarının Değerlendirilmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 97s, Ankara.
- Güner M, 2017, Sol-Jel Yöntemiyle Hazırlanan Seramik Karoların Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83s, Nevşehir.
- Karakaya N, 2007, Farklı Dolgu Maddelerin Termoplastik Elastomer Malzemenin Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Etkileri, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 122s, Kocaeli.
- Karasu B, Sarıcaoğlu B, 2018, Cam Yüzey Kaplama Teknolojileri, 5, 475-500.
- Koç M, 2012, Sol-Jel Yöntemiyle Elde Edilen Alüminyum, Antimon ve Bakır Katkılı Nano Tanecikli TiO<sub>2</sub> İnce Filmlerinin Optiksel, Yapısal ve Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 96s, Konya.
- Kumar D, Wua X, Fua Q, Hoa J W C, Kanhere P D, Li L, Chen Z, 2015, Development of Durable Self-Cleaning Coatings Using Organic-Inorganic Hybrid Sol-Gel Method, Applied Surface Science, 344, 205-212.
- Küçükbenli M, 2018, Polimer Bazlı Cam Parlatma Keçelerinin Üretimi, Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 89s, Çorum.
- Küçükbiçmen E, 2015, Cam Şekillendirme Yöntemleri ve Kişisel Yorumlar, Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Sanatta Yeterlik, 191s, Eskişehir.
- Külcü H K, 2015, İndantasyon Tekniği ile Temperli ve Tempersiz Soda-Silika Cam Kırılma Tokluğunun Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 98s, İstanbul.

- Lakshmi R V, Bharathidasan T, Basu B J, 2011, Superhydrophobic Sol–Gel Nanocomposite Coatings With Enhanced Hardness, *Applied Surface Science*, 257, 10421–10426.
- Li C, Jordens K, Wilkes G L, 2000, Abrasion-Resistant Coatings for Plastic and Soft Metallic Substrates by Sol–Gel Reactions of a Triethoxysilylated Diethylenetriamine and Tetramethoxysilane, *Wear*, 242, 152–159.
- Li h, Chen Y, Ruan C, Gao W, Xie Y, 2001, Preparation of Organic–Inorganic Multifunctional Nanocomposite Coating Via Sol-Gel Routes, *Journal of Nanoparticle Research*, 3, 157–160.
- More A P, Kokate S E, Mhaske S T, 2018, Development of Transparent Antimicrobial Scratch-Resistant Sol–Gel Coating for PMMA Surface, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43, 3521–3528.
- Nemeth S, Liu Y C, 2019, Mechanical Properties of Hybrid Sol–Gel Derived Films as a Function of Composition and Thermal Treatment, *Thin Solid Films*, 517, 4888–4891.
- Olgun A Z, 2009, Cam Kırığı Üretim Atık Suyunda Adsorpsiyon Yöntemiyle KOİ Gideriminin İncelenmesi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 63s, Kocaeli.
- Onar V, 2018, Sol-Jel Üretimi, Ersöz M(Ed.), Işıtan A(Ed.), Balaban M(Ed.), *Nanoteknolojinin Temelleri (102-110)*, Bilal Ofset Basın, Yayın ve Matbaacılık, 274s, Denizli.
- Öğretim İ, 2013, Yağ Asitleriyle İşlevselleştirilmiş Böhmit ve Alümina Parçacıklarının Alkit Reçinelerin Çizilme Direnci Üzerine Etkisi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 124s, Ankara.
- Özler F B, 2007, Titanyum ve Alaşımlarının Sol-Jel Daldırma Yöntemiyle Yüzey Modifikasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 71s, İstanbul.
- Palalı E, 2005, Sol-Jel Yöntemiyle İndiyum Kalay Oksit (İTO) İnce Film Üretimi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa.

- Pierre A C, 2020, Introduction to Sol-Gel Processing, Cilt 2, Springer, 716s. Rochetaillee Sur Saone, France.
- Que W, Zhang Q Y, Chan Y C, Kam C H, 2003, Sol-Gel Derived Hard Optical Coatings Via Organic/Inorganic Composites, Composites Science and Technology, 63, 347–351.
- Rivero P J, Maeztu J D, Berlanga C, Miguel A, Palacio J F, Rodriguez R, 2018, Hydrophobic and Corrosion Behavior of Sol-Gel Hybrid Coatings Based on the Combination of TiO<sub>2</sub> NPs and Fluorinated Chains for Aluminum Alloys Protection, Metals Journal, 8, 1076.
- Sowntharya L, Lavanya S, Chandra G R, Hebalkar N Y, Subasri R, 2012, Investigations on the Mechanical Properties of Hybrid Nanocomposite Hard Coatings on Polycarbonate, Ceramics International, 38, 4221–4228.
- Sönmezoğlu S, Koç M, Akın S, 2012, İnce Film Üretim Teknikleri, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28, 389-401.
- Suriano R, Ciapponi R, Griffini G, Levi M, Turri S, 2017, Fluorinated Zirconia-Based Sol-Gel Hybrid Coatings on Polycarbonate With High Durability and Improved Scratch Resistance, Surface & Coatings Technology, 311, 80-89.
- Toygun Ş, Köneçoğlu G, Kalpaklı Y, 2013, Sol-Jel Yöntemi Genel Prensipleri, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 31, 456-476.
- Uluadaoğlu E, 2008, Co, Mn, Nd Katkılı SiO<sub>2</sub> ve SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> İnce Filmlerin Elde Edilmesi ve Optik Özellikleri, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 91s, Kocaeli.
- Wouters M E L, Wolfs D P, van der Linde M C, Hovens J H P, Tinnemans A H A, 2004, Transparent UV Curable Antistatic Hybrid Coatings on Polycarbonate Prepared by the Sol–Gel Method, Progress in Organic Coatings, 51, 312–320.
- Wu L Y L, Chwa E, Chen Z, Zeng X T, 2008, A Study Towards Improving Mechanical Properties of Sol–Gel Coatings for Polycarbonate, Thin Solid Film, 516, 1056–1062.

- Yahyaei H, Mohseni M, 2013, Use of Nanoindentation and Nanoscratch Experiments to Reveal the Mechanical Behavior of Sol–Gel Prepared Nanocomposite Films on Polycarbonate, *Tribology International*, 57, 147–155.
- Yavas H, Öztürk Selçuk C D, Özhan A E, Durucan C, 2014, A Parametric Study On Processing of Scratch Resistant Hybrid Sol–Gel Silica Coatings On Polycarbonate, *Thin Solid Films*, 556, 112–119.
- Yazıcı B, 2019, Cam Malzemenin Bir Düşey Sirkülasyon Elamanı Olarak Merdivenlerde Kullanımı ve İç Mekan Tasarımına Etkileri, Marmara Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 247s, İstanbul.
- Yedikardes B, 2016, Anti Bakteriyel, Çizilme Direnci Yüksek ve Kolay Temizlenebilen Kaplamaların Sol-Jel Yöntemiyle Hazırlanması ve Karakterizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95s, İstanbul.
- Yemmireddy V K, Farrell G D, Hung Y C, 2015, Development of Titanium Dioxide (TiO<sub>2</sub>) Nanocoatings on Food Contact Surfaces and Method to Evaluate Their Durability and Photocatalytic Bactericidal Property, *Journal of Food Science*, 80, 1903-19011.
- Zajícová V, Exnar P, Staňová I, 2011, Properties of Hybrid Coatings Based on 3-Trimethoxysilylpropyl Methacrylate, *Ceramics – Silikáty*, 55, 221-227.

## İnternet Kaynakları

- 1- <http://www.nadidem.net/teknopdf/islev20092S.pdf>, 08.11.2020
- 2- <http://docplayer.net/76190318-Selection-guide-silane-coupling-agents.html>, 06.07.2020
- 3- <https://www.havaforum.com/yildirim-tasi-fulgurit-nedir/>, 22.07.2020
- 4- <https://muhendishane.org/kutuphane/temel-malzeme-bilgisi/amorf-yapidaki-seramikler/>, 02.08.2020
- 5- <https://www.bilgiustam.com/cam-cesitleri-kullanim-alanlari/>, 06.08.2020
- 6- <http://www.kimmuh.com/evcin/coating/coating8.pdf>, 10.08.2020
- 7- <https://www.brb-international.com/uploads/products/brb-silanes-presentation.pdf>, 13.09.2020
- 8- [https://instruments.byk.com/en/instruments/products/index.php?a=1&b=86&calibration=&certification=&action=&change\\_language=en\\_US](https://instruments.byk.com/en/instruments/products/index.php?a=1&b=86&calibration=&certification=&action=&change_language=en_US), 12.10.2020
- 9- <https://www.nanolinker.com.tr/cihazlar/contact-angle-measurement/>, 14.10.2020
- 10- <https://www.derstekstil.name.tr/mikroskop-testi.html>, 26.01.2021

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ahmet IŞIK  
Doğum Yeri ve Tarihi : Polatlı 05.03.1994  
Yabancı Dili : İngilizce(B1)  
İletişim (Telefon / e-posta) :0 (537) 254 9700

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Polatlı Duatepe Anadolu Lisesi (2008 – 2012)  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Böl., (2012–2018)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., İş Güvenliği (TEZSİZ) ABD, (2018 – 2020)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Nanobilim ve Nanoteknoloji ABD, (2018 – 2021)

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

:Tuğsad Kıl Maden İnş ve Nak. San. Tic. A.Ş. (2018– 2020)



## EKLER

### EK 1. Kaplanan numunelerin test sonuçları

| Numune kodu | Bulanıklık<br>(H) | Işık Geçirgenlik<br>(LT) | Temas Aç<br>(CA) | Sertlik | Kaplama<br>Kalınlığı (µm) |
|-------------|-------------------|--------------------------|------------------|---------|---------------------------|
| SR0         | 0,5               | 93                       | 44,27            | 2       | -                         |
| SR1         | 1,23              | 91,2                     | 70,6             | 2       | 4,02                      |
| SR2         | 11,5              | 90,8                     | 68,28            | 3       | 6,19                      |
| SR3         | 8,65              | 91                       | 66,96            | 4       | 11,84                     |
| SR4         | 22,3              | 89,9                     | 75,16            | 4       | 5,12                      |
| SR1-1       | 1,3               | 91,4                     | 48,48            | 2       | 4,28                      |
| SR2-1       | 19                | 90,2                     | 88,19            | 3       | 8,60                      |
| SR3-1       | 18,8              | 90,1                     | 84,14            | 4       | 18,20                     |
| SR4-1       | 24,6              | 89,8                     | 88,99            | 4       | 7,67                      |
| SR5         | 0,56              | 91,7                     | 91,02            | 2       | 15,39                     |
| SR5-1       | 1,73              | 91,1                     | 89,95            | 3       | 8,92                      |
| SR6         | 0,39              | 91,3                     | 86,56            | 3       | 25,36                     |
| SR6-1       | 0,52              | 91,6                     | 89,29            | 3       | 17,50                     |
| SR7         | 0,44              | 90,9                     | 67,25            | 2       | 16,60                     |
| SR8         | 3,64              | 90,9                     | 68,63            | 3       | 10,95                     |
| SR9         | 12,4              | 90                       | 80,11            | 3       | 13,57                     |
| SR10        | 37,3              | 87,3                     | 88,27            | 3       | 19,28                     |
| SR11        | 0,71              | 90,8                     | 75,29            | 5       | 21,85                     |
| SR12        | 1,14              | 90,3                     | 83,59            | 5       | 19,28                     |
| SR13        | 0,52              | 89,8                     | 79,69            | 6       | 23,93                     |
| SR14        | 1,13              | 89                       | 77,74            | 6       | 27,67                     |
| SR15        | 0,63              | 90,9                     | 66,49            | 3       | 35,64                     |
| SR16        | 1,55              | 90,6                     | 69,98            | 3       | 33,57                     |
| SR17        | 1,11              | 90,2                     | 69,46            | 4       | 25,35                     |
| SR18        | 2,79              | 90,7                     | 69,28            | 4       | 23,21                     |
| SR19        | 1,42              | 89,7                     | 50,43            | 3       | 17,38                     |
| SR20        | 1,59              | 91,1                     | 72,12            | 3       | 14,51                     |
| SR21        | 0,65              | 85                       | 115,44           | 4       | 15,71                     |
| SR22        | 0,81              | 90,7                     | 45,16            | 4       | 36,25                     |
| SR23        | 0,92              | 91,5                     | 70,81            | 2       | 18,33                     |
| SR24        | 3,76              | 91,7                     | 84,82            | 3       | 6,71                      |
| SR25        | 7,11              | 91,2                     | 79,21            | 3       | 14,29                     |