



**SOL-JEL YÖNTEMİ İLE Zn KATKILI SiO₂ KAPLAMANIN
YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İkbal Yaren POLAT

**Danışman
Prof. Dr. Atilla EVCİN**

NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2023

Bu tez çalışması 23.FEN.BİL.08 numaralı proje ile AKÜ BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SOL-JEL YÖNTEMİ İLE Zn KATKILI SiO₂ KAPLAMANIN
YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

İkbal Yaren POLAT

Danışman

Prof. Dr. Atilla EVCİN

NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ

Temmuz 2023

TEZ ONAY SAYFASI

İkbal Yaren POLAT tarafından hazırlanan “Sol-Jel Yöntemi ile Zn Katkılı SiO₂ Kaplamanın Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 21/07/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Atilla EVCİN

Başkan : Prof. Dr. Nalan ÇİÇEKBEZİR
Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Atilla EVCİN
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İsmail YILDIZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, İncehisar MYO

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL

Enstitü Müdürü

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.

21 / 07 / 2023

İkbal Yaren POLAT

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SOL-JEL YÖNTEMİ İLE Zn KATKILI SiO₂ KAPLAMANIN YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN İNCELEMESİ

İkbal Yaren POLAT

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Atilla EVCİN

Bu çalışmada, Sol-Jel yöntemi ile farklı miktarlarda Zn katkılı SiO₂ kaplamanın düzcam ve solar cam yüzey özelliklerine etkisi incelenecektir. Öncelikle Sol-Jel yöntemiyle TEOS, HMDS, Etanol kimyasalları belirli oranlarda 450 rpm’de manyetik karıştırıcıda karıştırılarak kaplama çözeltisi hazırlanmıştır. Bu çözelti 6 eşit parçaya bölünerek katkısız, %0,1 Zn katkılı, %0,2 Zn katkılı, %0,3 Zn katkılı, %0,4 Zn katkılı ve %0,5 Zn katkılı olmak üzere karıştırma işlemine devam edilip 6 farklı kaplama çözeltisi elde edilmiştir. Elde edilen çözeltiler kullanılarak solar cam ve düzcam yüzeylerine 30 cm mesafeden sprej tabancası kullanılarak püskürtme yöntemi ile kaplama işlemi yapılmıştır. Kaplanan camlar 60°C sıcaklıkta ısıtılma işlemine tabii tutulmuş ve sonrasında temas açısı analizi, FT-IR, ışık geçirgenlik analizi, kesit görüntüsü, renk ölçüm analizi, parlaklık ölçüm analizlerine tabii tutulmuşlardır. Elde edilen sonuçlar incelenerek Zn katkısı ile cam tipinin yüzey karakteristiğine etkisi gözlemlenmiştir.

2023, ix + 51 sayfa

Anahtar Kelimeler: Hidrofobik, Kaplama, Silan, Sol-Jel.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF SURFACE PROPERTIES Zn DOPED SiO₂ COATING BY SOL-GEL PROCESS

İkbal Yaren POLAT

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Nanoscience and Nanotechnology

Supervisor: Prof. Dr. Atilla EVCİN

In this study, the effect of different amounts of Zn-doped SiO₂ coating on the surface properties of flat glass and solar glass will be examined by Sol-Gel method. Firstly, the coating solution was prepared by mixing TEOS, HMDS, Ethanol chemicals at certain rates at 450 rpm in a magnetic stirrer with the Sol-Gel method. This solution was divided into 6 equal parts and the mixing process was continued as 6 different additives as undoped, 0.1% Zn added, 0.2% Zn added, 0.3% Zn added, 0.4% Zn added and 0.5% Zn added. coating solution was obtained. Using the solutions obtained, the coating process was carried out by spraying using a spray gun from a distance of 30 cm on the solar glass and flat glass surfaces. The coated glasses were heat treated at 600°C and then subjected to contact angle analysis, FT-IR, light transmittance analysis, cross-sectional image, color measurement analysis, gloss measurement analysis. The results obtained were examined and the effect of the Zn additive and the glass type on the surface characteristics was observed.

2023, ix + 51 pages

Keywords: Hydrophobic, Coating, Silane, Sol-Gel.

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 yardımlarını esirgemeyen her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

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

İkbal Yaren POLAT
Afyonkarahisar 2023

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Camlar.....	3
2.1.1 Camın Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri	3
2.1.2 Camın Yapısı.....	3
2.1.3 Cam Üretimi.....	3
2.1.4 Camın Kullanım Alanları	4
2.1.5 Camın Kaplama İşlemleri	5
2.1.6 Cam Yüzeyleri	5
2.2 Fonksiyonel Yüzeyler	7
2.2.1 Hidrofobik Yüzeyler	8
2.2.2 Hidrofilik Yüzeyler	9
2.2.3 Antibakteriyel Yüzeyler	9
2.2.4 Anti-Korozif Yüzeyler	10
2.2.5 Anti-Reflektif Yüzeyler	10
2.3 Sol-Jel Teknolojisi	11
2.3.1 Sol-Jel Kimyası	11
2.3.1.1 Alkoksit Hidrolizi.....	13
2.3.1.2 Polimerizasyon	13
2.3.1.3 Jelleşme	14
2.3.1.4 Kalsinasyon	14
2.3.1.5 Sinterleme.....	14
2.3.2 Sol-Jel Kaplama Teknikleri.....	15
2.3.2.1 Daldırma Yöntemiyle Kaplama.....	16

2.3.2.2 Döndürerek Kaplama	17
2.3.2.3 Püskürtme Yöntemiyle Kaplama (Sprey Kaplama)	17
2.3.2.4 Rulo Kaplama.....	17
2.3.3 Sol-Jel Kimyasından Fonksiyonel Kaplamalara	17
2.3.3.1 Fonksiyonel Kaplamanın Özellikleri ve Tasarımı.....	20
3. MATERYAL ve METOT	22
3.1 Kullanılan Malzemeler	22
3.2 Deney Akış Planı	23
3.3 Deney Numunelerinin Hazırlığı.....	24
3.4 Karakterizasyon Analizleri	28
3.4.1 Temas Açısı Ölçümü.....	28
3.4.2 FT-IR Analizi	29
3.4.3 Renk Ölçüm Analizi.....	29
3.4.4 Parlaklık Ölçüm Analizi.....	30
3.4.5 Işık Geçirgenliği Analizi	31
3.4.6 Kesit Görüntüsü	32
3.4.7 Toz Tutma Testi	32
4. BULGULAR	33
4.1 Temas Açısı Ölçüm Sonuçları	33
4.2 FT-IR Analizi Sonuçları	35
4.3 Renk Ölçüm Analizi Sonuçları	36
4.4 Parlaklık Ölçüm Analizi Sonuçları	37
4.5 Işık Geçirgenliği Analiz Sonuçları	38
4.6 Kesit Görüntüleri	39
4.7 Toz Tutma Test Sonuçları.....	40
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	42
6. KAYNAKLAR.....	44

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

SiO ₂	Silisyum dioksit
TiO ₂	Titanyum dioksit
H ₂ O	Su
Zn	Çinko
M	Manganez
Mg	Magnezyum
Si	Silisyum
Ti	Titanyum
Zr	Zirkonyum
Al	Alüminyum
Fe	Demir
B	Bor
CH ₃	Metil
C ₂ H ₅	Etil
H ₂ O ₂	Hidrojen peroksit
H ₂ SO ₄	Sülfürik asit
Si(OC ₂ H ₅) ₄	Tetraetilortosilikat
ZnC ₄ H ₁₀ O ₆	Çinko asetat
C ₆ H ₁₉ NSi ₂	Hekzametildisilazan
gr	Gram
cm ³	Santimetreküp
nm	Nanometre
mm	Milimetre
ml	Mililitre
°	Derece
γ _l	Sıvının yüzey gerilimi
γ _s	Katının yüzey gerilimi
γ _l ^d	Sıvıya bağlı london kuvvetleri dahil yüzey gerilimi
Y _s ^d	Katıya bağlı london kuvvetleri dahil yüzey gerilimi

Kısaltmalar

CVD	Kimyasal buhar biriktirme
PVD	Fiziksel buhar biriktirme
UV	Ultraviyole
R	Alkil grubu
HMDS	Hekzametildisilazan
TEOS	Tetraetilortosilikat
TMOS	Trimetoksisilan
OIH	Organik-inorganik hibrit
8-HQ	8-hidroksikinolin

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Camın endüstriyel kullanım alanları	4
Şekil 2.2 Sol-Jel teknolojisi ürünleri	12
Şekil 2.3 Alkoksititin hidrolizi	13
Şekil 2.4 Kondenzasyon reaksiyonları	13
Şekil 2.5 Daldırma yöntemiyle kaplama	16
Şekil 2.6 Bir silis ağı oluşturmak için silikon alkoksitlerin reaksiyonu R=Alkoksi	18
Şekil 2.7 Bir Sol-Jel prosesindeki ana adımların diyagramı	18
Şekil 2.8 Üç temas açısını temsil eden şema	20
Şekil 2.9 (a) Düz tepeli ve (b) yarım daire biçimli yapıların gösterimi	21
Şekil 3.1 HMDS moleküler gösterimi	22
Şekil 3.2 Çinko-asetat molaküler gösterimi	22
Şekil 3.3 TEOS moleküler gösterimi	22
Şekil 3.4 Etil Alkol moleküler gösterimi	23
Şekil 3.5 Saf Su moleküler gösterimi	23
Şekil 3.6 Yapılan çalışmaların akış planı	24
Şekil 3.7 Manyetik karıştırıcıda kaplama çözeltilerinin hazırlanması	26
Şekil 3.8 Kaplanmış camlar	27
Şekil 3.9 Kaplanan camlara ısıtma işlemi uygulanması	27
Şekil 3.10 FT-IR analiz sonuçları	35
Şekil 3.11 Kaplanmış düzcam numunelerin kesit görüntüleri	39
Şekil 3.12 Kaplanmış solar cam numunelerin kesit görüntüleri	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Kullanılan kimyasalların teknik özellikleri.....	23
Çizelge 3.2 Kaplama işlemi için oluşturulan çözeltiler.....	25
Çizelge 4.1 Düz cam yüzey temas açısı değerleri.....	33
Çizelge 4.2 Solar cam yüzey temas açısı değerleri.....	34
Çizelge 4.3 Renk ölçüm analizi sonuçları	36
Çizelge 4.4 Parlaklık ölçüm analizi sonuçları	37
Çizelge 4.5 Işık geçirgenliği ölçüm analizi sonuçları	38
Çizelge 4.6 Solar cam numunelerinin toz tutma test sonuçları	40
Çizelge 4.7 Düzcam numunelerinin toz tutma test sonuçları	41

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Temas açısı analiz cihazı	28
Resim 3.2 FT-IR analiz cihazı	29
Resim 3.3 Renk ölçüm analizi cihazı.....	30
Resim 3.4 Parlaklık ölçüm analizi cihazı.....	31
Resim 3.5 Işık geçirgenliği analiz cihazı	32



1. GİRİŞ

Son yıllarda, yüzey kaplamaları endüstriyel uygulamalarda büyük önem kazanmıştır. Yüzey kaplama, malzemelerin kimyasal ve mekanik özelliklerini iyileştirerek, dayanıklılıklarını artırarak, sürtünme dirençlerini ve yüzey pürüzlülüğünü kontrol ederek, yüzeylerin görünümünü ve optik özelliklerini değiştirerek, yüzeylerin hidrofobiklik veya hidrofiliklik özelliklerini ayarlayarak ve koruyucu kaplamalar uygulayarak birçok farklı uygulama alanında kullanılmaktadır. Bu nedenle, yüzey kaplamaları, birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüzey kaplamaları, metal, cam, seramik, plastik ve polimer gibi farklı malzemelerin kaplanması için kullanılan teknolojilerdir.

Sol-Jel yöntemi, inorganik kaplamaların üretiminde gitgide daha popüler hale gelmektedir. Sol-Jel yöntemi, ince filmler üretmek için basit, ekonomik ve çevre dostu bir yöntemdir. Bu yöntem, düşük sıcaklıkta kaplama yaparak, çeşitli malzemelerin kaplanmasına olanak sağlar. Sol-Jel yöntemi, inorganik malzemelerin kaplanması için kullanılabilecek birçok farklı reaktif içerebilir.

Bu çalışmada, SiO₂ kaplama solüsyonuna çinko katkısı ekleyerek Sol-Jel yöntemi kullanılarak cam yüzeylerinin kaplanması incelenmiştir. Sol-Jel yöntemi, inorganik malzemelerin üretiminde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Bu yöntem, birçok farklı malzemenin nanometre boyutlu partiküllerinin üretimi için kullanılabilir. SiO₂ kaplama solüsyonunun çinko katkısı ile birleştirilmesi, kaplanan yüzeylerin hidrofobiklik özelliklerini artırabilir ve malzeme yüzeylerinin kimyasal ve mekanik özelliklerinde iyileşme sağlayabilir.

Kaplama işlemi sonrası, yüzeyler farklı sıcaklıklarda ısıtılma tabi tutulmuştur. Bu işlem, kaplanan yüzeylerin termal stabilitesini artırabilir ve yüzeylerin hidrofobiklik özelliklerindeki değişiklikleri değiştirebilir. Ayrıca, yüzey kaplama işlemlerinin kalitesini ve üretim süreçlerinin optimizasyonunu etkileyen diğer parametreler de incelenmiştir.

Bu çalışma, kaplama işlemindeki çinko katkısının, kaplanan yüzeylerin hidrofobik özellikleri ve morfolojik yapısı üzerindeki etkisini inceler. Ayrıca, kaplama işlemi sonrası

yüzey özelliklerinin iyileştirilmesinde çinko katkısının önemini ve Sol-Jel yönteminin yüzey kaplama uygulamaları için uygunluğunu tartışır. Bu çalışmanın sonuçları, yüzey kaplama teknolojileri için yeni bir yol haritası sunabilir.



2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Camlar

Cam, binlerce yıldır insanlık için önemli bir malzeme olarak kullanılmaktadır. İlk zamanlarda cam, süs eşyaları ve heykeller gibi sanatsal amaçlar için kullanılsa da, zamanla daha farklı alanlarda kullanım alanı bulmuştur (Xu vd. 2020). Cam, yapı malzemelerinde, otomotiv ve hava aracı endüstrilerinde, bilgisayar ekranlarında ve daha birçok alanda kullanılmaktadır. Günümüzde, cam teknolojisi sürekli olarak gelişmektedir ve bu gelişmeler, camın daha birçok alanda kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

2.1.1 Camın Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Cam, silikat mineralleri veya silisyum dioksit (SiO_2) gibi malzemelerden yapılır (Zhang vd. 2016). Camın kimyasal bileşimi, camın özelliklerinde önemli bir rol oynar. Cam, sıcaklığa bağlı olarak viskozite değiştirir ve genellikle bir amorf katı olarak sınıflandırılır (Zanotto 2018). Camın fiziksel özellikleri arasında optiksel şeffaflık, sertlik, kırılgenlik, düşük termal genleşme katsayısı, yüksek ısıl iletkenlik, düşük elektriksel iletkenlik ve kimyasal inertlik yer alır (Brow 2000).

2.1.2 Camın Yapısı

Camın yapısı, atomik düzeyde düzenlenmemiş bir yapıya sahip olması nedeniyle oldukça karmaşıktır. Cam, yüksek sıcaklıkta erimiş malzeme hızlıca soğutulduğunda oluşur (Mauro vd. 2014). Bu soğutma işlemi, malzemenin atomik düzeyde düzenlenmemiş bir yapıya sahip olmasına neden olur. Camın yapısı, X-ışını kristalografisi ve nötron saçılması gibi tekniklerle incelenebilir (Smedskjaer vd. 2011).

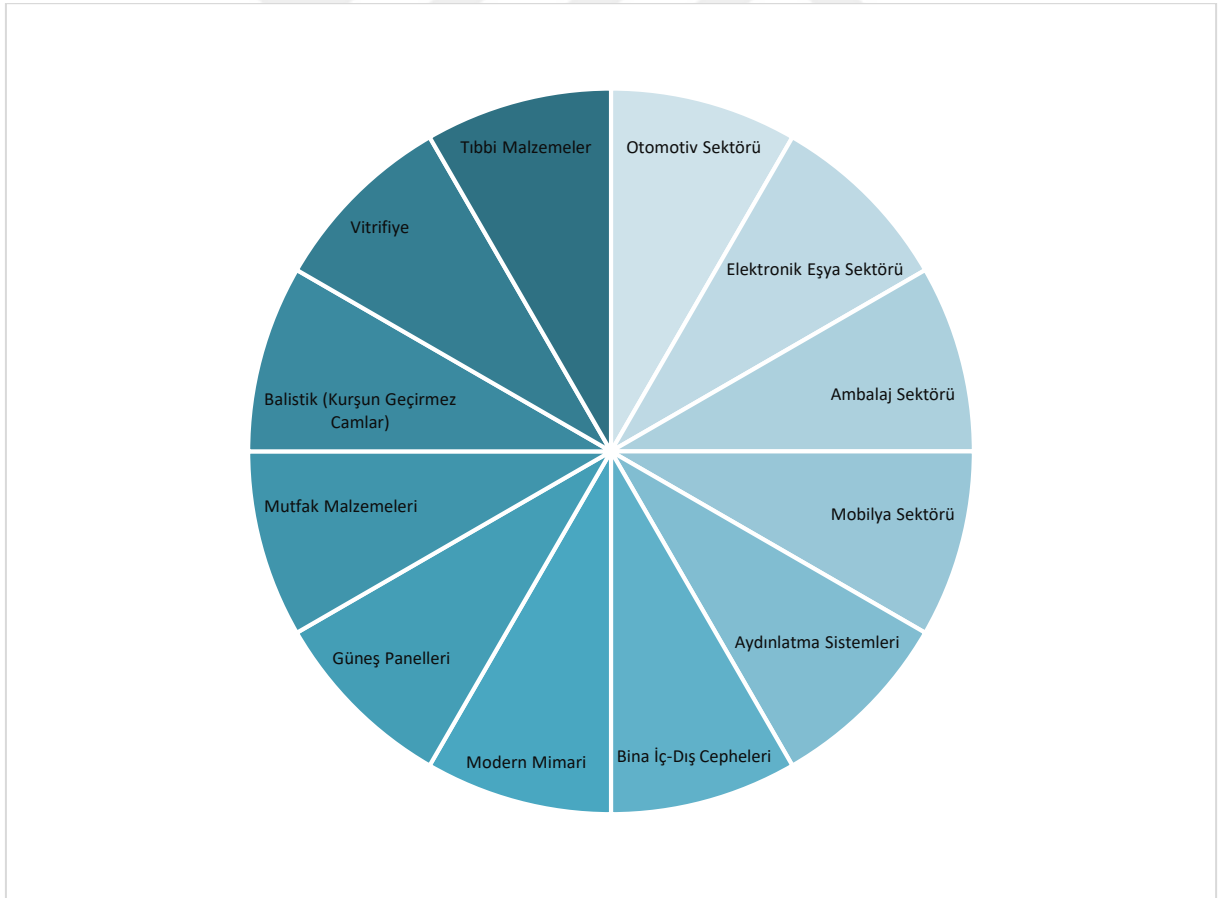
2.1.3 Cam Üretimi

Cam üretimi, farklı endüstrilerde kullanılan birçok farklı yöntemle gerçekleştirilebilir (Pfaender ve Bange 2005). Camın üretimi, kum, soda külü, kalsiyum karbonat ve diğer

katkı maddelerinin birleşmesiyle gerçekleştirilir. Bu malzemeler, yüksek sıcaklıkta eritilir ve daha sonra hızlı bir şekilde soğutulur. Bu soğutma işlemi, amorf bir yapıya sahip olan camın oluşmasına neden olur (Sharma vd. 2015).

2.1.4 Camın Kullanım Alanları

Cam, yapısı ve özellikleri nedeniyle birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Cam, cam eşyaları, pencereler, optik cihazlar, ışıklandırma malzemeleri, yalıtım malzemeleri, araç camları, tıp malzemeleri, telekomünikasyon cihazları, güneş enerjisi panelleri ve daha birçok alanda kullanılır (Karaman ve Aydın 2018). Camın kullanım alanlarındaki artış, cam üretiminin artmasına ve yeni cam üretim tekniklerinin geliştirilmesine yol açmıştır (Pantano 2004). Cam kullanım alanları şema halinde Şekil 2.1’te verilmiştir.



Şekil 2.1 Camın endüstriyel kullanım alanları.

2.1.5 Camın Kaplama İşlemleri

Cam, üstün özellikleri nedeniyle birçok endüstride kullanılan önemli bir malzemedir. Ancak, cam yüzeyi bazen belirli özellikleri kazandırmak için kaplanması gerekebilir. Cam yüzeyi, kimyasal buhar biriktirme (CVD), fiziksel buhar biriktirme (PVD), elektrostatik kaplama ve Sol-Jel kaplama gibi farklı kaplama yöntemleriyle kaplanabilir (Bao 2003). Sol-Jel yöntemi, düşük maliyeti, düşük sıcaklıkta çalışabilmesi, kaplama kalınlığının kontrol edilebilmesi ve kaplama işleminin hassas kontrolü nedeniyle cam kaplamada popüler bir yöntemdir (Brinker ve Scherer 2013).

2.1.6 Cam Yüzeyleri

Cam yüzeyleri, yapılarındaki düzensizlikler ve düzgün olmayan moleküler bağları nedeniyle çok yönlü ve ilginç özelliklere sahip malzemelerdir (Karaman ve Özkan 2017). Cam, öncelikle silika (SiO_2) veya silikat mineralleri gibi doğal hammaddelerden yapılır. Sanayide cam üretimi için kullanılan ana hammaddeler ise silika kumu, soda külü ve kireç taşıdır. Camın yapısındaki en önemli özellik, sürekli ağ örgüsüdür (Ritter ve Farley 2000). Cam molekülleri, uzun zincirler halinde birbirine bağlıdır ve bu zincirler, 3 boyutlu bir ağ yapısında düzenlenir (Zallen 2003).

Cam yüzeyleri, farklı endüstrilerde ve uygulamalarda kullanılan çok çeşitli malzemelerdir. Ancak, cam yüzeyleri her zaman temiz, parlak ve pürüzsüz değildir. Cam yüzeylerindeki kirlilikler, çeşitli kaynaklardan kaynaklanabilir. Bunlar arasında toz, kir, yağ, su lekeleri, kalıntılar, korozyon ürünleri, pas ve organik bileşikler bulunur (Padture 1995). Cam yüzeylerinin kirlenmesi, görünümünü bozar, işlevlerini azaltır ve çoğu zaman hasarlarını artırır. Bu nedenle, cam yüzeylerinin temizlenmesi ve korunması, çok önemlidir (Karaman ve Özkan 2017).

Cam yüzeylerinin temizliği için birçok farklı yöntem kullanılabilir. Bu yöntemler arasında mekanik temizleme, kimyasal temizleme ve kombinasyonları bulunur. Mekanik temizleme, yüzeydeki kirleri fiziksel olarak çıkarmak için çeşitli araçlar kullanır. Bu yöntemler arasında süpürme, fırçalama, silme, sıkma, öğütme ve patlatma bulunur.

Ancak, bu yöntemler yüzeyi çizme, yıpratma ve hasara neden olabilir (Malik vd. 2019). Kimyasal temizleme, yüzeydeki kirleri çözmek ve çıkarmak için kimyasal bileşikler kullanır. Bu yöntemler arasında asitler, bazlar, komplekslenme ajanları ve yüzey aktif maddeler bulunur (Arroyo ve Novoa 2008).

Cam yüzeylerinin temizlenmesi ve korunması için kullanılan diğer bir yöntem, cam yüzeyleri kaplamaktır. Cam kaplama, cam yüzeylerinin temizlenmesini ve korunmasını kolaylaştırır, aynı zamanda camın dayanıklılığını artırır ve çizilmelere karşı koruma sağlar (Kwon ve Sung 2019). Cam kaplama işlemi, cam yüzeylerine kimyasal olarak bağlanabilen ince bir film tabakası uygulamayı içerir. Bu film tabakası, yüzeyin pürüzsüz olması ve iyi bir yapışma sağlaması için çeşitli işlemlerden geçirilir (Yamamoto vd. 2010). Cam kaplama malzemeleri arasında sıvı cam, seramik kaplama, polimer kaplama, silikon kaplama ve nano-kaplamalar yer alır (Liu vd. 2019).

Sıvı cam kaplama, sıvı camın yüzeye püskürtülmesiyle uygulanır. Bu yöntem, yüzeyin mikroskopik düzeyde kaplanmasına ve kirlenmeye karşı korunmasına olanak tanır. Seramik kaplama, cam yüzeyine bir seramik katman uygulama işlemidir. Bu yöntem, yüzeyin çizilmelere ve aşınmaya karşı dayanıklılığını artırır (Chou ve Lu 2013). Polimer kaplama, cam yüzeyine polimer tabakası uygulanması işlemidir. Bu yöntem, yüzeyin parlaklığını artırır ve çizilmelere karşı koruma sağlar (Bhowmik ve Khastgir 2018). Silikon kaplama, cam yüzeyine silikon tabakası uygulanması işlemidir. Bu yöntem, yüzeyin kayganlığını artırır ve su iticiliği sağlar (Shirshath ve Sabnis 2017). Nano-kaplamalar, yüzeye nanometre boyutunda kaplamalar uygulayan özel kimyasal bileşiklerdir. Bu yöntem, yüzeyin dayanıklılığını artırır ve kir ve su iticiliği sağlar (Wu vd. 2018).

Cam yüzeyleri, farklı uygulama alanlarındaki gereksinimlere göre farklı kaplama yöntemleri kullanılarak işlenebilir. Örneğin, otomotiv endüstrisinde, cam yüzeylerinde su iticiliği, anti-statik özellikler, çizilmeye karşı dayanıklılık ve UV ışınlarına karşı koruma gibi özellikler gerektiren kaplamalar kullanılır (Wang vd. 2016). Ayrıca, cam yüzeyleri optik uygulamalar, tıp ve biyoteknoloji alanlarında da kullanılır. Bu uygulama alanlarında cam yüzeyleri, farklı kaplama yöntemleri kullanılarak özel işlemlerden geçirilir ve istenen özellikleri kazandırılır (Zhu vd. 2019).

Sonuç olarak, cam yüzeyleri, doğal hammaddelerden yapılan ve birbirine bağlı zincirlerin oluşturduğu sürekli ağ yapısına sahip malzemelerdir. Cam yüzeyleri, farklı endüstrilerde ve uygulamalarda kullanılan çok çeşitli malzemelerdir ve kirlenme, hasar ve işlev kaybı riski taşırlar.

2.2 Fonksiyonel Yüzeyler

Fonksiyonel yüzeyler, belirli bir işlevi yerine getirmek üzere tasarlanmış yüzeylerdir. Bu yüzeyler, fiziksel, kimyasal veya biyolojik özelliklerinin bir kombinasyonu ile belirli bir işlevi yerine getirebilirler (Jiang vd. 2020). Bu işlevler arasında suya dayanıklılık, kirlenmeye direnç, bakteri önleyici özellikler, ısı yansıtma ve ışık emme gibi özellikler yer alabilir.

Fonksiyonel yüzeylerin en önemli özelliği, belirli bir işlevi yerine getirmek üzere tasarlanmış olmalarıdır. Bununla birlikte, fonksiyonel yüzeylerin diğer özellikleri arasında yüzey malzemesi, yüzey yapısı, yüzey kaplama ve yüzey işlemi yer alabilir (Nosonovsky ve Bhushan 2010).

Yüzey malzemesi, yüzeyin kullanım amacına uygun olarak seçilen malzemedir. Örneğin, suya dayanıklı bir yüzey tasarlanırken, suya dayanıklı malzemeler kullanılır. Yüzey yapısı, yüzeyin şekli ve boyutudur. Bu özellik, yüzeyin işlevine göre değişebilir. Örneğin, anti-kirlenme yüzeyler, küçük pürüzlü yapılarla kaplanır ve kirlenmeyi önlemek için yüzeyin düzgünlüğü artırılır (Barthlott ve Neinhuis 1997).

Yüzey kaplama, yüzeyin özelliklerini değiştirmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu kaplamalar, yüzeyin işlevine göre seçilir. Örneğin, anti-bakteriyel kaplamalar, yüzeydeki mikropların büyümesini önlemek için kullanılır (Zhai 2006). Yüzey işlemi, yüzeyin özelliklerini değiştirmek için kullanılan bir diğer yöntemdir. Örneğin, yüzey işlemi, yüzeyin pürüzlülüğünü artırarak suya dayanıklılığı artırmak için kullanılabilir (Li 2018).

Fonksiyonel yüzeylerin önemi ve uygulama alanları oldukça geniştir. Bu yüzeyler, tıp, enerji, çevre, inşaat ve endüstriyel üretim gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Örneğin,

anti-bakteriyel yüzeyler, hastanelerde enfeksiyon riskini azaltmak için kullanılmaktadır (Mehta ve Siddique 2015). Su geçirmez yüzeyler, binalarda ve diğer yapılarında suya karşı dayanıklılığı artırmak için kullanılmaktadır (Zhang 2021). Işık emici yüzeyler, güneş enerjisi üretmek için kullanılan güneş panellerinde kullanılabilmektedir (Hossain 2018). Ayrıca, fonksiyonel yüzeyler, endüstriyel üretim süreçlerinde yüzey özelliklerinin kontrol altında tutulması için kullanılabilmektedir (Schröder 2019).

Fonksiyonel yüzeylerin geliştirilmesi, özellikle son yıllarda nanoteknoloji, biyoteknoloji ve malzeme bilimi gibi ilerlemelerin ortaya çıkması ile hızlandı. Nanoteknoloji, özellikle yüzey malzemelerinin üretiminde kullanılan nano boyutlu malzemelerin geliştirilmesinde büyük bir rol oynamaktadır (Hulteen ve Duyne 1995). Biyoteknoloji, yüzeylerin antimikrobiyal özelliklerini artırmak için kullanılan biyofilmler gibi biyolojik materyallerin üretiminde kullanılmaktadır. Malzeme bilimi ise, yüzeylerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirmek için kullanılan malzemelerin geliştirilmesinde rol oynamaktadır (Chen 2020). Son yıllarda, fonksiyonel yüzeyler üzerinde çalışmalar artmış ve yüzeylerin özelliklerini değiştirme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu kısımda, hidrofobik, hidrofilik, antibakteriyel, anti-korozif ve anti-reflektif yüzeyler hakkında bilgi verilecektir.

2.2.1 Hidrofobik Yüzeyler

Hidrofobik yüzeyler, suyu iten yüzeylerdir. Bu yüzeyler, düşük yüzey enerjisine sahip olup, suyun yüzeyde yayılmasını engelleyen yapıya sahiptir (Chen ve Mao 2019). Hidrofobik yüzeyler, su iticilik özellikleri nedeniyle birçok endüstriyel uygulamada kullanılır. Örneğin, kaplamalar, tekstiller, elektronik cihazlar, gemi gövdeleri ve kapakları, su geçirmez ürünler gibi birçok alanda kullanılırlar.

Hidrofobik yüzeylerin üretimi için birçok yöntem vardır. Bunlar arasında kimyasal işlemler, fiziksel işlemler ve kompozit kaplama yöntemleri yer alır. Kimyasal yöntemler arasında hidrofobik ajanların yüzey kaplama işlemi, fotolitografi yöntemi, plazma işlemleri ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemi sayılabilir (Ivanova vd. 2013). Fiziksel yöntemler arasında nano-ışın yöntemi, elektrofiliz, elektrostatik püskürtme, toz

püskürtme, ısı püskürtme, iyon demeti spreyi ve diğerleri yer alır (Wang vd. 2020). Kompozit kaplama yöntemleri arasında da nanoparçacık katkı kaplamalar, karıştırılmış polimer kaplamalar ve karmaşık kaplamalar sayılabilir.

2.2.2 Hidrofilik Yüzeyler

Hidrofilik yüzeyler, suyu çeken ve suyun yüzeyde yayılmasını kolaylaştıran yüzeylerdir. Hidrofilik yüzeyler, suyun dağılma yeteneği nedeniyle birçok alanda kullanılır. Bu alanlar arasında tıp, ilaç, gıda, tekstil, inşaat malzemeleri, temizlik malzemeleri ve daha birçok alan yer alır (Fang vd. 2017).

Hidrofilik yüzeylerin üretimi için de birçok yöntem vardır. Yöntemler arasında kimyasal işlemler, fiziksel işlemler ve kompozit kaplama yöntemleri yer alır. Kimyasal yöntemler arasında yüzey fonksiyonel gruplarının değiştirilmesi, polimerleştirme, yüzey modifikasyonu ve yüzey kaplama işlemleri yer alır (Wang vd. 2020). Fiziksel yöntemler arasında plazma işlemleri, elektrofiz, ısı yöntemler, ışık yöntemleri ve diğerleri yer alır. Kompozit kaplama yöntemleri arasında nanoparçacık katkı kaplamalar, karıştırılmış polimer kaplamalar ve karmaşık kaplamalar sayılabilir.

2.2.3 Antibakteriyel Yüzeyler

Antibakteriyel yüzeyler, bakterilerin üremesini engelleyen yüzeylerdir. Bu yüzeyler, birçok alanda kullanılmaktadır, özellikle tıp alanında enfeksiyonların önlenmesinde büyük önem taşımaktadır (Han ve Lin 2016). Antibakteriyel yüzeylerin üretimi için birçok yöntem vardır. Yöntemler arasında nanoparçacık katkı kaplamalar, yüzey modifikasyonu, yüzey kaplama işlemleri ve diğerleri yer alır.

Nanoparçacık katkı kaplamalar, antibakteriyel yüzeylerin en sık kullanılan yöntemlerinden biridir. Nanoparçacıklar, yüzeylerin mikro yapısında bakterilerin üremesini engelleyen çukurlar ve pürüzlülükler oluşturur (Fu vd. 2019). Yüzey modifikasyonu, yüzey fonksiyonel gruplarının değiştirilmesiyle gerçekleştirilir. Bu değişiklikler, bakterilerin yüzeye tutunmasını engeller (Xu vd. 2017). Yüzey kaplama

işlemleri, yüzeylere antibakteriyel bileşiklerin kaplanmasıyla gerçekleştirilir. Bu bileşikler, bakterilerin üremesini engelleyen özelliklere sahiptir.

2.2.4 Anti-Korozif Yüzeyler

Anti-korozif yüzeyler, malzemelerin paslanmasını önleyen yüzeylerdir. Bu yüzeyler, birçok endüstriyel uygulamada kullanılır. Özellikle, deniz taşımacılığı, petrol ve gaz endüstrisi, inşaat, otomotiv ve diğer birçok alanda kullanılır (Gao vd. 2018). Anti-korozif yüzeylerin üretimi için birçok yöntem vardır. Yöntemler arasında yüzey kaplama işlemleri, pasivasyon, elektrokimyasal kaplama ve diğerleri yer alır.

Yüzey kaplama işlemleri, anti-korozif yüzeylerin en sık kullanılan yöntemlerinden biridir. Bu işlem sırasında, yüzeylere koruyucu kaplamalar uygulanır. Bu kaplamalar, yüzeylerin paslanmasını önler ve malzemelerin ömrünü uzatır (Li vd. 2017). Pasivasyon, yüzeylerin paslanmasını önlemek için kullanılan bir başka yöntemdir. Bu yöntem sırasında, malzemelerin yüzeyinde pasif bir tabaka oluşturulur. Bu tabaka, yüzeyin paslanmasını önleyen bir bariyer görevi görür (Kajiyama vd. 2018). Elektrokimyasal kaplama, malzemelerin yüzeylerine elektrokimyasal yöntemlerle kaplamalar uygulamak için kullanılan bir başka yöntemdir.

2.2.5 Anti-Reflektif Yüzeyler

Anti-reflektif yüzeyler, yüzeylerden yansıyan ışık miktarını azaltan yüzeylerdir. Bu yüzeyler özellikle optik cihazlar ve güneş panelleri gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. Anti-reflektif yüzeylerin üretimi için birçok yöntem vardır. Yöntemler arasında nano yapıli kaplamalar, mikro yapıli yüzeyler, katmanli kaplamalar ve diğerleri yer alır.

Nano yapıli kaplamalar, anti-reflektif yüzeylerin en sık kullanılan yöntemlerinden biridir. Bu kaplamalar, yüzeylerdeki yansıyan ışık miktarını azaltmak için tasarlanmış nano yapıli malzemelerdir. Mikro yapıli yüzeyler, yüzeylerin pürüzlülüğünü artırarak yansıyan ışık miktarını azaltır. Katmanli kaplamalar, yüzeylerdeki yansıyan ışık miktarını azaltmak için tasarlanmış çok katmanli kaplamalardır (Guo ve Liu 2014).

2.3 Sol-Jel Teknolojisi

Malzeme biliminde Sol-Jel işlemi, küçük moleküllerden katı malzemeler üretme yöntemidir. Küçük moleküllerin polimerizasyonu, geleneksel seramik ve cam teknolojisinin aksine oda sıcaklığında camsı ve seramik katı malzemeler oluşturmak üzere gerçekleşir.

İlk Sol-Jel polimerizasyonu 1845 yılında Fransız kimyacı J. J. Ebelmen tarafından gerçekleştirilmiştir. O zamandan beri, Sol-Jel süreci birçok endüstriyel uygulamada derinlemesine incelendi, geliştirildi ve kullanıldı. Çözelti - jelleşme için Sol-Jel prosesi, genellikle metal alkoksitler olan öncü maddelerin hidrolize edilmesi, su molekülleri tarafından ayrışması, kimyasal bağlanması ve yoğunlaştırılmasından (inorganik polimerizasyon) oluşur. Süreç, bir sıvı içinde katı parçacıkların kararlı olduğu bir "sol" ve sol tarafından oluşturulan inorganik entegre bir ağ olan bir "jel" in iki ardışık fazının oluşumunu içerir (Soytaş 2019).

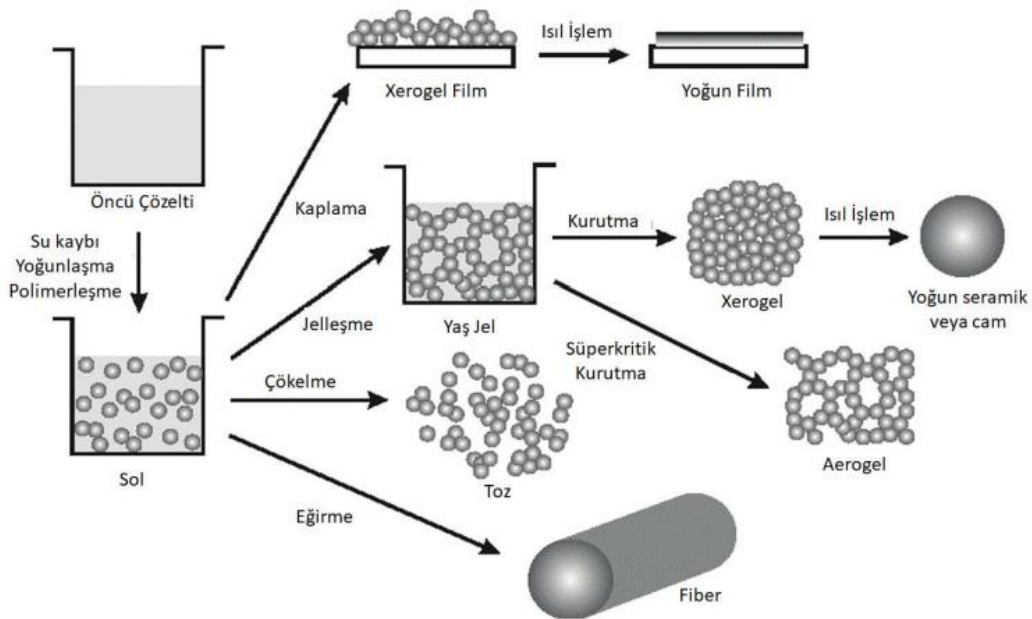
2.3.1 Sol-Jel Kimyası

Sol-Jel teknolojisi, çok yönlülüğü ve basitliği nedeniyle inorganik polimerlerin veya gelişmiş organik-inorganik hibritlerin sentezinde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Hidroliz ve yoğunlaşma olmak üzere iki kimyasal reaksiyon söz konusudur ve bunlar, silikon alkoksit veya metal alkoksitler gibi öncü monomerlerden çeşitli organik-inorganik ağlar üretir (Brinker vd. 1990). Bu teknik, herhangi bir biçimde malzeme elde edilmesine izin verir ve tokluk, yüksek saflık, optik şeffaflık, kimyasal kararlılık, kontrollü gözeneklilik ve oda sıcaklığında termal direnç ve düşük maliyet gibi arzu edilen özelliklere sahip homojen malzemeler üretmek mümkündür (Schaefer vd. 1983).

Sol-Jel işlemi, adından da anlaşılacağı gibi, sıvı bir koloidal çözeltinin (sol) katı bir üç boyutlu matrise (jel) geçişidir. Bu kolloidlerin sentezi için öncüler, birkaç reaktif ligandla çevrili bir metal veya metaloid elementten oluşur. Metal alkoksitler, suyla kolayca reaksiyona girdikleri için en popüler olanlardır. En yaygın olarak kullanılanlar, metal alkoksitler ve tetrametoksisilan (TMOS) ve tetraetilortosilikat (TEOS) gibi

alkoksisilanlardır. Bununla birlikte, alüminatlar, titanatlar ve boratlar gibi diğer alkoksitler de sıklıkla TEOS ile karıştırıldıkları Sol-Jel işleminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

En yaygın kullanılan yöntem, genellikle bir alkol veya başka bir düşük moleküler ağırlıklı organik çözücü içinde monomerik metal veya metaloid alkoksit öncüleri $M(OR)_n$ 'nin bir çözeltisiyle başlayan organik yaklaşımdır. Burada M, Si, Ti, Zr, Al, Fe ve B gibi ağ oluşturu bir elementi temsil ederken, R tipik olarak bir alkil grubudur (C_xH_{2x+1}) [4]. Sol-Jel işlemi, sıvı bir koloidal çözeltiden (sol) katı bir üç boyutlu matrise (jel) geçişi içerir. Bu kolloidlerin sentezi için öncüler, birkaç reaktif ligandla çevrili bir metal veya metaloid elementten oluşur. Metal alkoksitler, su ile yakınlıkları nedeniyle en popüler olanlardır. En çok kullanılan alkoksillenmiş ajanlar arasında tetrametoksisilan (TMOS), tetraetilortosilikat (TEOS) ve TEOS ile karıştırılmış alüminatlar, titanatlar ve boratlar gibi alkoksitler bulunmaktadır (Brinker vd. 1990). Şekil 2.2’de Sol-Jel teknolojisi ve ürünleri verilmiştir. Sol-Jel adımları aşağıdaki başlıklarda kısaca anlatılmıştır.



Şekil 2.2 Sol-Jel teknolojisi ürünleri.

2.3.1.1 Alkoksit Hidrolizi

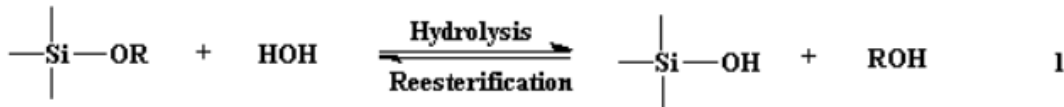
Sol-Jel prosesi, metal alkoksitlerin veya metal organik bileşiklerinin hidrolizi ile başlar. Bu adımda alkoksit grupları, su veya alkol ile reaksiyona girerek hidroksil grupları ile değiştirilir. Bu hidroliz reaksiyonu, jeli oluşturmak için daha fazla reaksiyona girecek olan metal hidroksit veya metal oksit türleri oluşturur (Bokov vd. 2021).

M: Kaplama yapılacak metal malzeme

R: CH₃ (metil) ve C₂H₅ (etil) gibi alkil gruplarını

n: Metal değerine göre değişiklik gösteren değerliğini ifade eder.

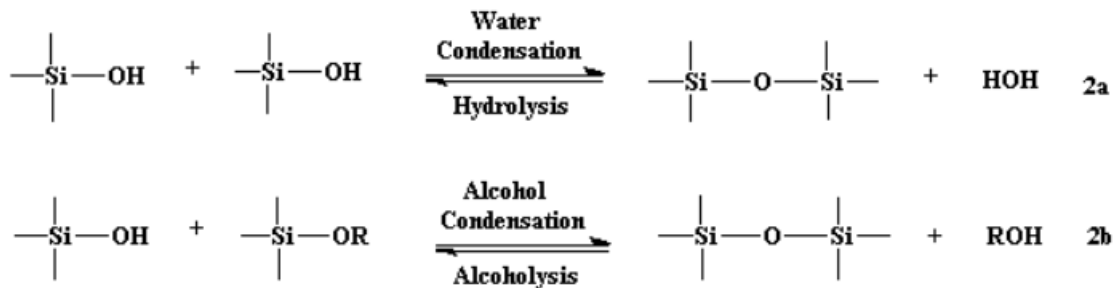
Şekil 2.3'te Alkoksitin hidroliz reaksiyonu verilmiştir.



Şekil 2.3 Alkoksitin hidrolizi.

2.3.1.2 Polimerizasyon

Hidrolizden sonra, hidrolize metal alkoksitler veya metal organik bileşikler polimerizasyon reaksiyonlarına girer. Bu reaksiyonlar, jel yapısının oluşumuna katkıda bulunan polimerik zincirlerin veya ağların oluşumuna yol açar. Polimerizasyon işlemi kademeli olarak gerçekleşir ve sol sistemi içinde üç boyutlu bir ağın gelişmesine neden olur (Yue vd. 2018). Şekil 2.4'te kondenzasyon reaksiyonları verilmiştir.



Şekil 2.4 Kondenzasyon reaksiyonları.

2.3.1.3 Jelleşme

Jelleşme, kolloidal bir süspansiyon olan solu, üç boyutlu bağlantıya sahip katı benzeri bir malzeme olan bir jele dönüştürme işlemidir. Jelleşme, polimerize sol partiküller bir araya gelip çapraz bağlanarak bir ağ yapısı oluştururken meydana gelir. Bu ağ sıvı fazı hapsederek jel oluşumuna yol açar (Chaudhury vd. 2007).

2.3.1.4 Kalsinasyon

Jelleşmeden sonra, sıvı fazı uzaklaştırmak ve katı bir malzemeye dönüştürmek için jel kurutulur. Kalsinasyon, uçucu bileşenleri uzaklaştırmak ve iyi tanımlanmış bir kristal yapı oluşumunu teşvik etmek için jelin yüksek sıcaklıklarda ısıtılmasını içerir. Kalsinasyon, iyileştirilmiş mekanik dayanım ve kararlılık gibi istenen malzeme özelliklerini elde etmek için önemli bir adımdır (Yang vd. 2016).

2.3.1.5 Sinterleme

Sinterleme, kurutulmuş jelin, malzemenin erime noktasının altında yüksek sıcaklıklara tabi tutulduğu bir işlemdir. Sinterleme, malzemenin daha fazla yoğunlaştırılmasına yardımcı olur, parçacıklar arasında daha güçlü bağların oluşumunu teşvik eder ve nihai ürünün mekanik ve termal özelliklerini geliştirir. Sinterleme, özellikle alt-tabakalar üzerinde kaplama veya film biriktirme için Sol-Jel işlemi kullanıldığında önemlidir (Pebriyanto vd. 2015).

Genel olarak, Sol-Jel teknolojisi alkoksit hidrolizi ile başlar, ardından üç boyutlu bir ağ oluşturmak için polimerizasyon ve jelleşme gelir. Jel daha sonra istenen malzeme özelliklerini elde etmek için kalsinasyon ve sinterleme adımlarına tabi tutulur.

2.3.2 Sol-Jel Kaplama Teknikleri

Sol-Jel kaplamalar, sıvı bir solun katı bir jel ağına dönüştürülmesini içeren Sol-Jel işlemiyle oluşturulan bir kaplama sınıfıdır. Bu kaplamalar, metaller ve cam dahil olmak üzere çeşitli yüzeylere uygulanabilir ve hidrofobiklik, hidrofiliklik ve korozyon önleyici koruma gibi bir dizi özellik sunar.

Hidrofobik Sol-Jel kaplamalar, suyu ve diğer sıvıları itmek için tasarlandığından, su direncinin istendiği uygulamalar için kullanışlıdır. Bu kaplamalar, florlu zincirler veya nanoparçacıklar gibi hidrofobik bileşenlerin Sol-Jel matrisine dahil edilmesiyle elde edilebilir. Örneğin, Rivero ve ark. (Rivero vd. 2018), alüminyum alaşım koruması için TiO_2 nanoparçacıkları ve florlu zincirlerin kombinasyonuna dayalı olarak Sol-Jel hibrit kaplamaların hidrofobik ve korozyon davranışını araştırdı. TiO_2 nanoparçacıklarının varlığının kaplamaların hidrofobikliğini arttırdığını bulmuşlardır.

Öte yandan, hidrofilik Sol-Jel kaplamalar suyu çekmek ve tutmak için tasarlanmıştır. Bu kaplamalar, biyomedikal kaplamalar gibi arttırılmış ıslanabilirliğin istendiği uygulamalarda yararlı olabilir. Chandrasekar (2023), poliollerin, magnezyum alaşımları üzerindeki biyoaktif Sol-Jel kaplamaların in vitro biyobozunması ve biyoaktivitesi üzerindeki etkisini inceledi. Polioller kullanılarak hazırlanan kaplamaların hidrofilik özellikler sergilediğini bulmuşlardır.

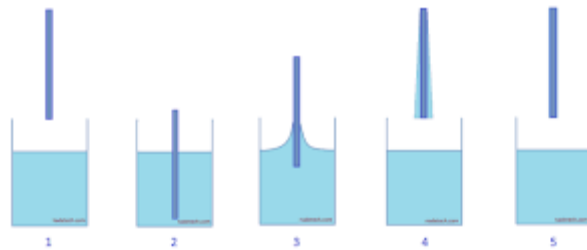
Sol-Jel kaplamalar ayrıca korozyona karşı koruma özellikleri sunarak onları metal korozyonunun önemli olduğu endüstrilerde değerli kılar. Figueira vd. (2013), metal korozyon koruması için organik-inorganik hibrit (OIH) Sol-Jel kaplamaların geliştirilmesindeki son gelişmelerin bir incelemesini sağladı. OIH Sol-Jel kaplamalarının sınıflandırılmasını, substrat ile etkileşimini ve sentezlerinde kullanılan ana öncülleri tartıştı. Galio vd. (2010), Sol-Jel filmlerine bir korozyon inhibitörü, 8-hidroksikinolin (8-HQ) ekleyerek magnezyum alaşımı AZ31'in korozyon koruması için Sol-Jel kaplamaları hazırladı.

Sol-Jel işlemi, mikro yapıları ve özellikleri üzerinde yüksek düzeyde kontrole sahip kaplamaların sentezine izin verir. Katkı konsantrasyonu, substrat üzerindeki tampon tabakası, solun yaşlanma süresi, film kalınlığı ve yapısı ve tavlama işlemi gibi faktörler Sol-Jel kaplamaların özelliklerini etkileyebilir. Sol-Jel prosesi, basitliği, maliyet etkinliği, geniş alanları kaplayabilmesi ve kalınlığın homojenliği nedeniyle özellikle çekicidir (Zhang vd. 2010).

Özetle, Sol-Jel kaplamalar hidrofobiklik, hidrofiliklik ve korozyona karşı koruma gibi çeşitli özellikler sunar. Bu kaplamalar, kaplamanın mikro yapısı ve özellikleri üzerinde hassas kontrol sağlayan Sol-Jel işlemi kullanılarak metaller ve cam üzerine uygulanabilir. Öncülerin seçimi, nanoparçacıklar veya korozyon inhibitörleri gibi katkı maddelerinin dahil edilmesi ve tavlama gibi işlem sonrası teknikleri, Sol-Jel kaplamaların özelliklerini daha da uyarlayabilir.

2.3.2.1 Daldırma Yöntemiyle Kaplama

Daldırma kaplama tekniği, kaplanacak alt tabakanın bir sıvıya daldırıldığı ve daha sonra kontrollü sıcaklık ve atmosferik koşullar altında iyi tanımlanmış bir hızla çekildiği bir işlem olarak tanımlanabilir. Bu süreçte, atmosfer çözücünün buharlaşmasını kontrol eder ve ardından çözücünün buharlaşmasıyla solların kararsız hale gelmesi, jelleşme sürecine ve içinde küçük parçacık boyutu olan bir filmin oluşmasına yol açar. Kaplama kalınlığı esas olarak çekme hızı, katı içeriği ve sıvının viskozitesi ile tanımlanır. Daldırma kaplama işleminin ilginç yanı, uygun bir viskozite seçilerek, kaplama kalınlığının yüksek optik kaliteyi korurken tam olarak 20 nm ile 50 nm arasında değişebilmesidir (Boudiba vd. 2021). Daldırma ile kaplama işlemi Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5 Daldırma yöntemiyle kaplama.

2.3.2.2 Döndürerek Kaplama

Döndürerek kaplama işleminde, substrat, kaplama alanına dik olması gereken bir eksen etrafında döner. Bu süreç, mikroelektronikte dönen camlar ve dönme simetrisine sahip alt tabakalar için geliştirilmiştir, örn. optik lensler. Bu süreçte dört aşama vardır: solun biriktirilmesi, spin up, spin off ve solvent buharlaştırma ile jelleşme. Döndürerek kaplama, daldırma kaplamadan farklıdır, çünkü biriken film santrifüjlü boşaltma ile incelik ve merkezkaç kuvveti ile viskoz kuvvet (sürtünme) arasındaki denge nedeniyle uniform olma eğilimi gösterir (Boudiba vd. 2021).

2.3.2.3 Püskürtme Yöntemiyle Kaplama (Sprey Kaplama)

Sprey kaplama teknikleri, endüstride organik cilalar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Sprey tekniği ile optik kaplamaların hazırlanması, daldırma kaplama tekniğine kıyasla çeşitli avantajlar sunar, çünkü şimdiye kadar gerçekleştirilen işleme hızı 10 kat daha hızlıdır, kaplama sollarının atığı çok daha azdır, kaplama solları oldukça kısa kap ömrüne sahip olabilir ve kullanılabilir. Kaplama adımı, hat içi bir süreç oluşturmak için uygundur (Boudiba vd. 2021).

2.3.2.4 Rulo Kaplama

Son olarak rulo kaplama, sıvının, yüzeyleri aynı yönde (ileri) veya zıt yönlerde (geri) hareket eden iki döner silindir arasındaki dar bir boşluğa aktığı bir işlemdir. Sıvının bir kısmı boşluktan geçer ve akış yönünde her biri silindirlerden birini kaplayan iki filme ayrılır. Bu teknik, rulodan ruloya boyama, fotoğraf ve teyp kaydı, boyalı metal endüstrilerinde, bir veya birkaç tek tip katmanla geniş bir yüzey alanını kaplamak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Boudiba vd. 2021).

2.3.3 Sol-Jel Kimyasından Fonksiyonel Kaplamalara

Alkoksitler, geniş çapta incelenen ve farklı yüzeyler üzerine ince filmler biriktirmek için uygulanan Sol-Jel işleminin temelini oluşturur. Sol-Jel kaplamalar, örneğin fotonik ve mikroelektronikte işlevsel bir rol oynayabilir, ancak aynı zamanda yüzey değiştiriciler

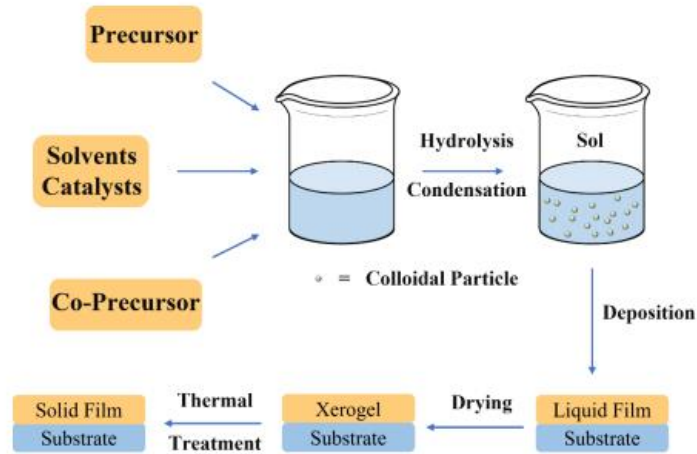
olarak da kolayca uygulanabilir. Sol-Jel yöntemleri, sentezin basitliği, parçacık boyutunu kontrol etme olasılığı, parçacık düzeni ve dağılımının kontrolü, hafif reaksiyon koşulları altında hem yoğun hem de gözenekli yapılar elde etme olasılığı nedeniyle nanomalzemeler, mikro ve nanoparçacık üretmek için kullanılmıştır (Innocenzi 2016).

Termodinamik bir olay olmayan bir soldan jele faz geçişi, birbirine bağlı bir ağ oluşumuna yol açan hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonları tarafından yönetilir (Şekil 2.6) (Innocenzi 2020).



Şekil 2.6 Bir silis ağı oluşturmak için silikon alkoksitlerin reaksiyonu R=alkoksi.

Sol-Jel işlemi, düşük sıcaklıkta işlemeyen oksit ve hibrit organik-inorganik malzemeler hazırlamak için yumuşak kimya yolu olarak basitleştirilmiş ve genel bir şekilde tarif edilebilir. Sentez, sıralı sentez adımlarını içeren çok adımlı bir yöntem olarak tanımlanabilir (Şekil 2.7):



Şekil 2.7 Bir Sol-Jel prosesindeki ana adımların diyagramı.

- Birinci adım: Sol oluşumu. Öncülerin su, organik çözücü (örneğin metanol veya etanol) içinde uygun bir katalizör ile karıştırılmasıyla bir sol elde edilir;
- İkinci adım: Jel oluşumu. Hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonlarının ilerlemesi, biri sıvı (sol) ve diğeri katı (inorganik veya hibrit ağ) olmak üzere iki sürekli ve birbirine bağlı fazın oluşumuyla soldan jele geçişe izin verir. Bu adım, yalnızca bir yığın elde edilmesi gerektiğinde kullanılır. Bir film biriktirme durumunda, kontrollü eskitme solu kullanılır. Yaşlanma, öncü sollarındaki inorganik kümelerin boyutlarını ve yapısını yönetir;
- Üçüncü adım: Film biriktirme. Öncü sollar, belirli bir biriktirme yöntemiyle (yani döndürme veya daldırma kaplama) farklı alt tabakalar üzerine ince filmler biriktirmek için kullanılır;
- Dördüncü adım: Kurutma. Film biriktirmeden sonra artık çözücü, bir kserojel elde etmek için bir kurutma işlemi yoluyla uzaklaştırılır;
- Beşinci adım: Ateşleme. Film, yoğunluğunu ve mekanik özelliklerini artırmak için kontrollü bir ısı işlemi kullanılarak yoğunlaştırılır. Alt tabakadan çatlamayı veya delaminasyonu önlemek için bu adım dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir.

Bu avantajlar, organik bileşiklerin inorganik bir matrise bağlandığı organik-inorganik hibrit yüzeylerin üretilmesini de mümkün kılar. Hibrit organik-inorganik kaplamalar kullanılarak optik dalga kılavuzları, optik sınırlayıcılar, optik anahtarlar elde edilmiştir (Lebeau ve Innocenzi 2011).

Bir hibrit filmde, organik bileşen, malzemenin fonksiyonel özelliklerini değiştirdiği ve mekanik özelliklerini ve dayanıklılığını etkilediği için önemli bir rol oynar. Organik zincir uzunluğu arttıkça filmin mekanik ve yapışma özelliklerinin azaldığı gözlenmiştir (Atanacio vd. 2005).

2.3.3.1 Fonksiyonel Kaplamanın Özellikleri ve Tasarımı

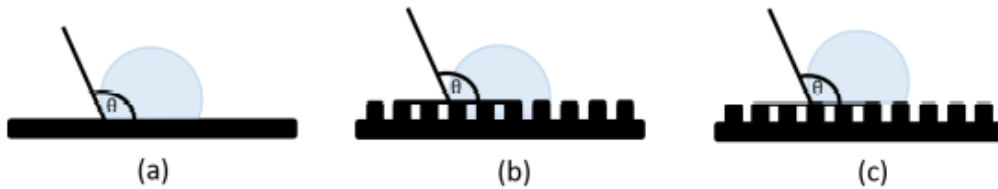
Bir Yüzey enerjisi, temas açısı ve yüzey pürüzlülüğü, hidrofobik ince filmlerin üretimi veya kontrol altında tutulması için anahtar parametrelerdir.

Bir filmin yüzey enerjisini hesaplamanın Berthelot yöntemi, Antonow yöntemi, Zisman yaklaşımı, Good ve Garifalco yaklaşımı, Owens modeli, Neumann modeli ve Fowkes modeli gibi çeşitli yolları vardır. Yöntemlerin geçerliliği konusunda hararetli tartışmalar devam etse de en yaygın kullanılanı Fowkes yöntemidir. En basit durumda, katı-sıvı bir sistem için ilgili yüzey enerjisi şu şekilde verilir (Sharma ve Rao 2002):

$$\gamma_s = \gamma_s + \gamma_l - 2\sqrt{\gamma_s^d + \gamma_l^d} \quad (2.1)$$

γ_s katının yüzey gerilimi, γ_l sıvının yüzey gerilimi, γ_s^d katıya bağlı london kuvvetleri dahil yüzey gerilimi ve γ_l^d sıvıya bağlı london kuvvetleri dahil yüzey gerilimidir.

Temas açısının ölçülmesi, bir yüzeyin hidrofobik-hidrofilik yapısını değerlendirmek için en hızlı ve en yaygın yöntemlerden biridir. Temas açısı ve yüzey ıslanabilirliği ile ilgili en eski çalışmalar, Thomas Young'ın pürüzsüz bir katı ve sıvı arasındaki arayüzde etkileşimleri etkileyen faktörler hakkındaki hipotezini açıklamaya çalıştığı 1800'lerin başlarına kadar uzanır. Daha sonra iki rejim daha formüle edildi, Wenzel ve Cassie-Baxter rejimleri (Şekil 2.9).



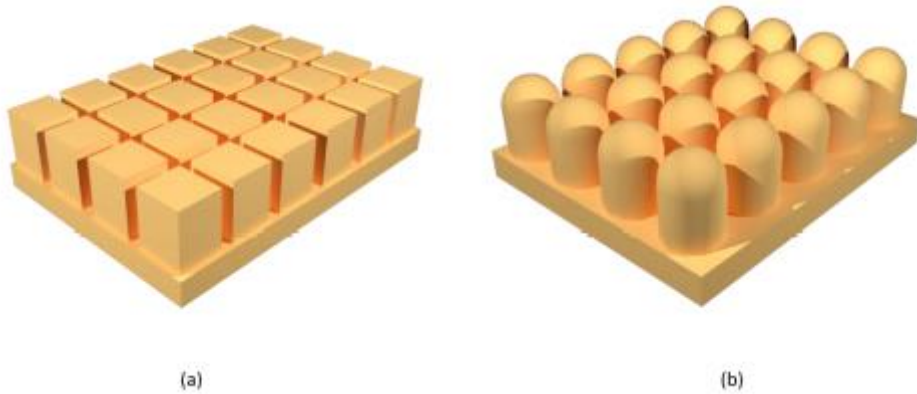
Şekil 2.8 Üç temas açısını temsil eden şema, (a) Young rejimi, (b) Wenzel rejimi, (c) Cassie-Baxter rejimi.

Bir yüzey, su damlacığı ile yüzey arasındaki temas açısı 90°'den büyük olduğunda hidrofobik ve temas açısı 150°'den büyük olduğunda süperhidrofobik kabul edilir.

Young rejiminin klasik bir örneği, Lv vd. (2010) tarafından önerilen rejimdir; Fotolitografi ve endüktif olarak birleştirilmiş plazmanın dağlanmasıyla hidrofobik bir film ile üretimi. Han vd. (2007) Wenzel rejimine ait bir pürüzlülük elde etmek için yüzeyin yapısal modifikasyonunu incelemek amacıyla florlu reaktiflerle modifiye edilmiş bir titanyum oksit filminin sentezi üzerine bir çalışma bildirdi.

Bir yüzeyin hidrofobikliğini etkileyen ana parametrelerden biri pürüzlülüktür. Yüzey morfolojisinin araştırılması, bir arayüzün hidrofobik özelliklerinde pürüzlülüğün öneminin keşfedilmesine yol açmıştır. Farklı gözeneklilik derecelerine sahip iyi düzenli bir yapı, yüzey ile su damlacığı arasındaki hava miktarından dolayı hidrofobik karakterin artmasına neden olur (Yang vd. 2006).

Genel olarak, uygun yapısal modifikasyonu uygulayarak bir yüzeyin hidrofilik karakterini hidrofobik bir karaktere dönüştürmek mümkündür. Marmur vd. (2020) hidrofobik bir yüzey tasarlamak için ideal bir yöntem tarif etmişlerdir. Çalışmalarında, esas olarak iki morfolojik modeli (Şekil 2.10) dikkate alarak yüzeyin hidrofobikliğini etkileyen parametreleri incelediler: düz tepeli ve yarım daire biçimli. Her iki model de Cassie-Baxter rejimini takip ediyor. Flat-top modelde, su damlası sütunların arasına girmez, ara yüzeyde hapsolan hava sayesinde yüzeylerinde kalır. Yarım daire modelinde, sütunlar yuvarlak bir şekle sahiptir, bu da su damlacıklarının üzerlerinden akmasına, yapıya nüfuz etmesine ve hidrofobik karakterini azaltmasına neden olur (Kijlstra vd. 2002).



Şekil 2.9 (a) Düz tepeli ve (b) yarım daire biçimli yapıların gösterimi.

3. MATERYAL ve METOT

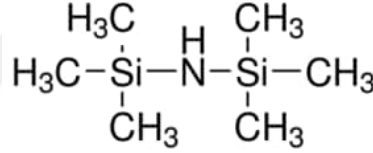
3.1 Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, %99 analitik saflıkta Sigma ve Merck ürünleri kullanılmıştır.

1. Piranha Çözeltisi

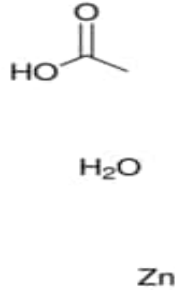
(30 ml H_2SO_4 ve 10 ml %30'luk H_2O_2 yavaş yavaş karıştırılarak hazırlanmıştır.)

2. HMDS (Hekzametildisilazan) (Şekil 3.1). Sigma-Aldrich firmasından %99.0 analitik saflıkta temin edilmiştir.



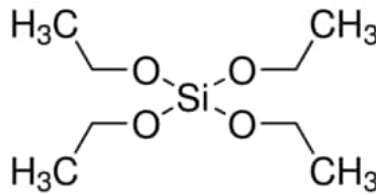
Şekil 3.1 HMDS moleküler gösterimi.

3. $ZnC_4H_{10}O_6$ (Çinko Asetat) (Şekil 3.2).



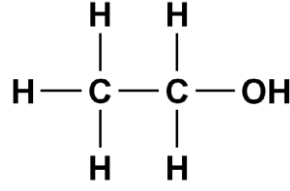
Şekil 3.2 Çinko-Asetat moleküler gösterimi.

4. TEOS (Tetraetilortosilikat) (Şekil 3.3).



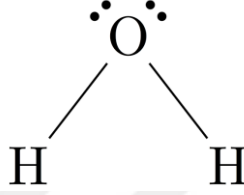
Şekil 3.3 TEOS moleküler gösterimi.

5. Etanol (Etil Alkol) (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Etil Alkol moleküler gösterimi (Şekil 3.5).

6. Saf Su.



Şekil 3.5 Saf Su moleküler gösterimi.

7. 3,2 mm kalınlığında Solar Cam ve 4 mm kalınlığında Düzcam.

Kullanılan kimyasalların teknik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

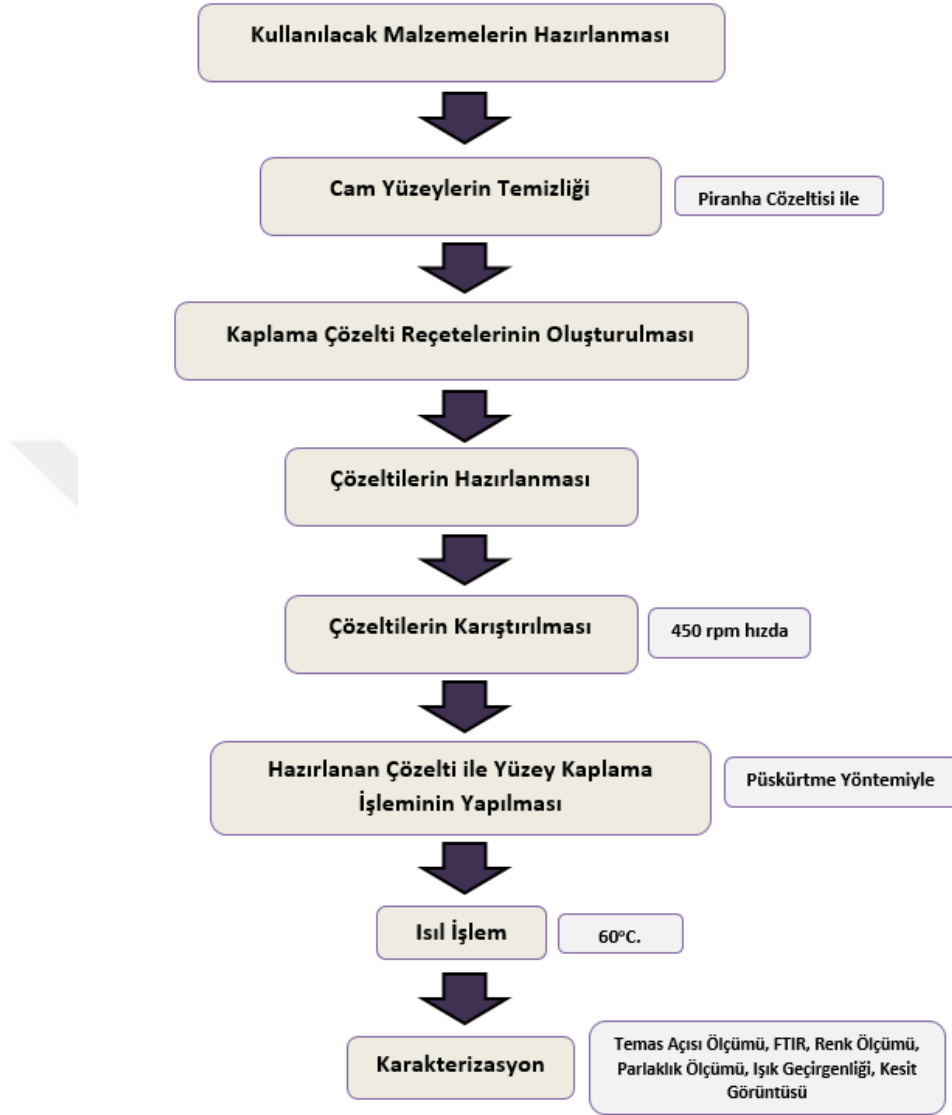
Çizelge 3.1 Kullanılan kimyasalların teknik özellikleri.

Kimyasal Kısaltma	Kimyasal Adı	Formül	Saflık %	Molekül Ağırlığı	KN°C	Yoğunluk g/cm ³
HMDS	Hekzametildisilazan	C ₆ H ₁₉ NSi ₂	99	161,39	125	0,774
Zn-Asetat	Çinko Asetat	ZnC ₄ H ₁₀ O ₆	99	219,491	908	1,84
TEOS	Tetraetilortosilikat	Si(OC ₂ H ₅) ₄	99	208,33	168	0,94
Etanol	Etanol (Etil Alkol)	CH ₃ CH ₂ OH	99	46,07	78,3	0,789
Saf Su	Saf Su	H ₂ O	99	18,02	100	0,997

3.2 Deney Akış Planı

Malzeme hazırlığı, cam yüzey temizliği sonrasında farklı parametrelerde çözelti formülasyonları hazırlanarak karışımlar hazırlanmıştır. Karıştırılan çözeltiler ile kaplama işlemi yapıldıktan sonra cam yüzeyler ısıtma işlemi tabii tutulduktan sonra Karakterizasyon

testleri yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmaların akış planı Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6 Yapılan çalışmaların akış planı.

3.3 Deney Numunelerinin Hazırlığı

Öncelikle Zn Katkılı SiO₂ kaplamanın yüzey özelliklerinde etkili olacak parametreler belirlenmiştir. Bunlar Zn miktarı ve cam tipidir. Buna göre Çizelge 3.2’de verilen bileşimlerde tek kat kaplama solüsyonu hazırlanmıştır.

Çizelge 3.2 Kaplama işlemi için oluşturulan çözeltiler.

Numune Kodu	Cam Tipi	Isıl İşlem Sıcaklığı (°C)	Zn Miktarı (%)
DC-0	Düzcam	60	0
DC-0,1			0,1
DC-0,2			0,2
DC-0,3			0,3
DC-0,4			0,4
DC-0,5			0,5
S-0	Solar Cam	60	0
S-0,1			0,1
S-0,2			0,2
S-0,3			0,3
S-0,4			0,4
S-0,5			0,5

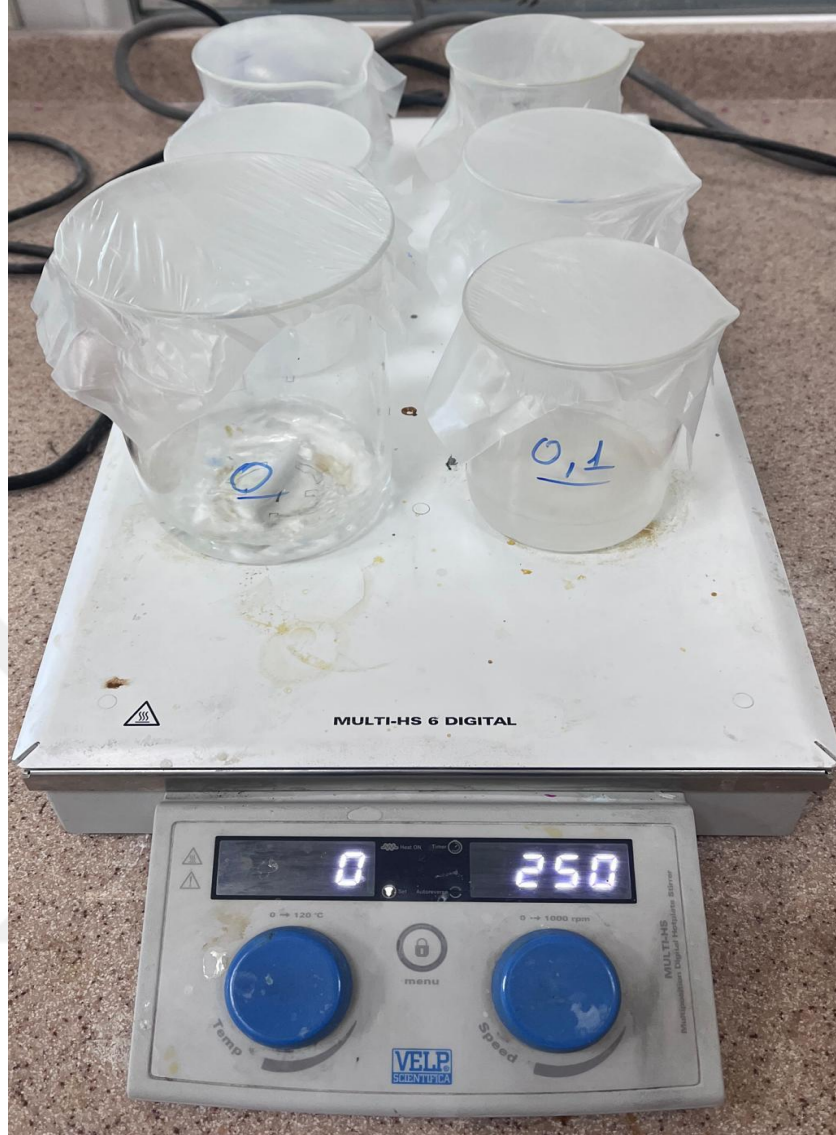
DC harfi: Düzcam S harfi: Solar camı ve sayısal değerler kaplama solüsyonundaki Zn katkı miktarını ifade etmektedir.

– Cam Yüzeylerinin Temizlenmesi

İlk olarak yüzey özellikleri incelenecek olan kaplamanın uygulanacağı düzcam ve solar camların yüzey temizlik işlemlerinin yapılması için 30 ml H₂SO₄ ve 10 ml %30'luk H₂O₂ yavaş yavaş karıştırılarak Piranha çözeltisi hazırlanmıştır. Camlar Piranha çözeltisi içerisinde 1 saat bekletilip yüzey aktifliği sağlandıktan sonra saf su ile yıkanarak kurumaya bırakılmıştır.

– Çözeltilerin Oluşturulması

Hazırlanan reçetelere göre 30 ml Etanol ile 2,1 ml TEOS 10 dakika boyunca manyetik karıştırıcıda 450 rpm'de karıştırılmıştır. Sonrasında çözeltiliye 2 ml HMDS eklenerek aynı hızda 30 dakika daha karıştırma işlemine devam edilmiştir. Karışım 6 eşit miktara bölünerek farklı beherlere aktarılmıştır. Katkısız, %0,1 Çinko Asetat katkılı, %0,2 Çinko Asetat katkılı, %0,3 Çinko Asetat katkılı, %0,4 Çinko Asetat katkılı, %0,5 Çinko Asetat katkılı olmak üzere 6 farklı kaplama solüsyonu oluşturulup içerisine 3 ml saf su eklenerek 1 saat 20 dk karıştırılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Manyetik karıştırıcıda kaplama çözeltilerinin hazırlanması.

– Yüzey kaplama işlemi

Oluşturulan farklı miktarda Zn katkılı çözeltiler ile cam yüzeyler sprey tabancası kullanılarak cam ile tabanca arasında 30 cm mesafe olacak şekilde ayarlanarak püskürtme yöntemiyle kaplama işlemi yapılmıştır. Kaplanan camlar Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Kaplanmış camlar.

– Isıl İşlem

Kaplama işlemi yapılmış camlar reçetede belirlenen 60°C, 80°C, 100 °C, 120 °C olmak üzere dört farklı sıcaklıkta 30 dakika süreyle etüv içerisinde ısıl işleme (Şekil 3.9) tabii tutulmuştur.

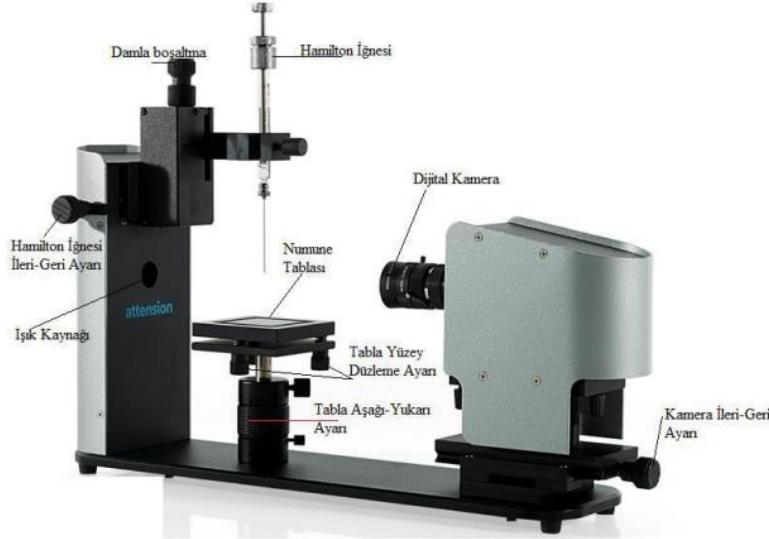


Şekil 3.9 Kaplanan camlara ısıl işlem uygulanması.

3.4 Karakterizasyon Analizleri

3.4.1 Temas Açısı Ölçümü

Temas açısı ölçümleri, etüvden çıkartılan kaplama uygulanmış cam numunelerin üzerinde “KSV Attension” marka “ThetaLite TL 101 Optical Tensiometer” cihazıyla damla yayılımı (Sessile Drop) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Bu cihaz, yüzey gerilimi (veya enerjisi) belli olan sıvının Hamilton mikro şırınga vasıtasıyla katı yüzeye damlatılarak bu damlanın katı yüzeyde oluşturacağı temas açısının optik kamera ile görüntüsünün alınması ve sonrasında bu görüntü üzerinde dijital gonyometre yardımıyla temas açısının ölçülmesi prensibine dayanarak çalışmaktadır (Resim 3.1).

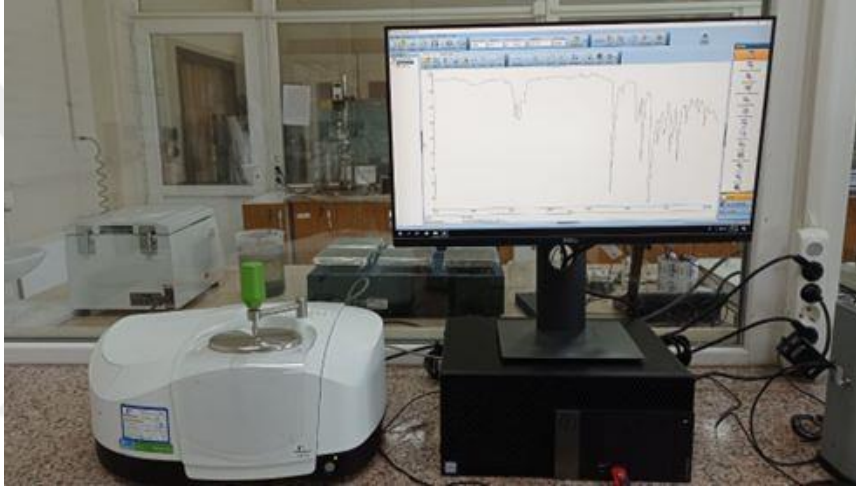


Resim 3.1 Temas açısı analiz cihazı.

Sıvı cam yüzeye damlatıldıktan hemen sonra (milisaniye aralıklarında) 10 farklı görüntüsü alınıp kaydedilir. Sonra alınan tüm görüntülerdeki su damlasının yüzeye yaptığı temas açısı bulunur. Bu açı sıvı damlasının her iki yönde yaptığı açının ortalamasıdır. Sonrasında diğer görüntülerin de temas açıları ölçülerek bütün bu ölçümlerin aritmetik ortalaması alınır. Bu şekilde cam yüzeyinde farklı 3 noktadaki temas açısı bulunarak bu açıların tekrardan ortalaması alınır ve bu sayede o tablet numunesinin nihai temas açısı bulunur (Arsoy 2014).

3.4.2 FT-IR Analizi

Fourier Transform Infrared (FT-IR) analizi, çeşitli malzemelerin karakterizasyonu için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Kızılötesi radyasyonun bir numune tarafından soğurulmasının ölçülmesi prensibine dayalı olarak çalışır. Numune, geniş bir kızılötesi dalga boyu aralığına maruz bırakılır ve elde edilen spektrum, ölçülen sinyali Fourier'nin dönüştürmesiyle elde edilir. Bu spektrum, numunede bulunan fonksiyonel gruplar ve kimyasal bağlar hakkında bilgi sağlar (Prati vd. 2010). Analiz Perkin Elmer FT-IR cihazıyla yapılmıştır (Resim 3.2).



Resim 3.2 FT-IR analiz cihazı.

3.4.3 Renk Ölçüm Analizi

Renk ölçümü analizi, çeşitli malzeme ve nesnelerin renk özelliklerinin ölçülmesini ve analiz edilmesini içerir. Renk karakterizasyonu ve analizi için önemli olan ton, doygunluk ve değer gibi parametreleri ölçmek için kullanılır. Renk ölçüm cihazlarının çalışma prensibi, bir nesnenin spektral yansımalarının yakalanmasını ve matematiksel modeller ve algoritmalar kullanılarak renk bilgisine dönüştürülmesini içerir. Bu cihazlar, nesne tarafından yansıtılan veya iletilen ışığın yoğunluğunu ölçmek ve renk özelliklerini belirlemek için bu verileri işlemek için sensörler veya dedektörler kullanır. Renk ölçüm analizinin renk eşleştirme, kalite kontrol, görüntü analizi ve kolorimetrik karakterizasyonda uygulamaları vardır. Analizler için Linshang marka LS173 model kolorimetre kullanılmıştır (Resim 3.3).



Resim 3.3 Renk ölçüm analiz cihazı.

3.4.4 Parlaklık Ölçüm Analizi

Parlaklık ölçüm analizi, çeşitli malzeme ve nesnelerin parlaklık özelliklerinin ölçülmesini ve analiz edilmesini içerir. Bir nesne tarafından yayılan veya yansıtılan ışığın yoğunluğunu veya parlaklığını ölçmek için kullanılır. Parlaklık ölçümünün çalışma prensibi, kullanılan özel bağlama ve tekniğe bağlıdır. Parlaklık analizi, hücre görüntülerini analiz etmek ve tek tek hücreleri parlaklıklarına veya kontrastlarına göre tespit etmek için optik mikroskopi alanında da uygulanabilir. Genel olarak, parlaklık

ölçümü analizi, parlaklıkla ilgili özelliklerin karakterizasyonuna ve optimizasyonuna olanak tanıyan çeşitli bilimsel ve teknolojik uygulamalarda çok önemli bir rol oynar (Selinummi vd. 2009). Analizler için 3nh marka parlaklık ölçer kullanılmıştır (Resim 3.4).



Resim 3.4 Parlaklık ölçüm analiz cihazı.

3.4.5 Işık Geçirgenliği Analizi

Işık geçirgenliği analizi, bir malzemeden veya ortamdan geçen ışık miktarının ölçülmesini içerir. Işık geçirgenliği analizinin çalışma prensibi, kullanılan özel bağlama ve tekniğe bağlıdır. Örneğin, kuantum aydınlatma alıcıları kullanılarak hedef tespiti çalışmasında, optimum kuantum alıcı performansını elde etmek için geri dönen ışık ve rölanti ışını üzerinde ortak bir ölçüm yapılır. Yaprak geçirgenliğinin ölçülmesinde, belirli bir spektral aralıkta kısmen paralelleştirilmiş yaprak geçirgenliğini ölçmek için bir spektrodymetre kullanılır. Işık geçirgenliği analizi, saçılma grafiklerinin ve parametrelendirme tekniklerinin kullanıldığı Arktik deniz buzu yoluyla ışık iletiminin mevsimsel gelişimini incelemek için de kullanılabilir. Ek olarak, ışık geçirgenliği analizi, stereoskopik görüntülerden yüzeylerin hafifliği, opaklığı ve derinliği gibi çıkarımlar yapmak gibi yüzey algısının anlaşılmasında rol oynar (Anderson, 2003). Analizler BTG-6 Fotovoltaik Cam Spektral Geçirgenlik Test Cihazıyla yapılmıştır (Resim 3.5).



Resim 3.5 Işık geçirgenliği analizi cihazı.

3.4.6 Kesit Görüntüsü

Işık geçirgenliği analizi, bir malzemeden veya ortamdan geçen ışık miktarının ölçülmesini içerir. Işık geçirgenliği analizinin çalışma prensibi, kullanılan özel bağlama ve tekniğe bağlıdır. Örneğin, kuantum aydınlatma alıcıları kullanılarak hedef tespiti çalışmasında, optimum kuantum alıcı performansını elde etmek için geri dönen ışık ve rölanti ışını üzerinde ortak bir ölçüm yapılır.

3.4.7 Toz Tutma Testi

Toz testinin amacı, kaplamalı yüzeylerin toz tutma kabiliyetlerini gözlemlemektir. Bu testte, her cam yüzeyi eşit miktarda tozla kaplanmıştır. Daha sonra, her cam yüzeyi aynı şekilde silkelendikten sonra tozların yüzeye tutunma miktarı gözlemlenmiş ve görüntüleri çekilmiştir. Ardından, kalıntı tozların yüzeydeki tutunma özellikleri belirlenmek için su ile yıkanan cam yüzeylerinin görüntüleri çekilmiştir.

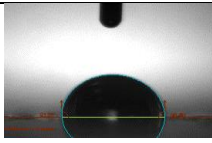
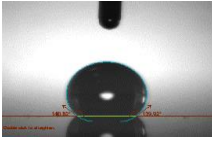
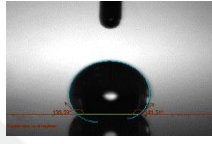
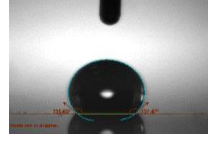
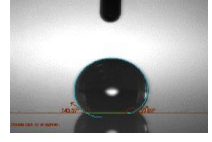
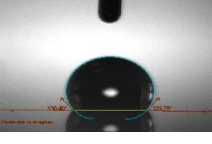
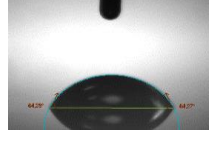
Bu test için cam yüzeylere eşit miktarda toz serpilmiş ve silkelendikten sonra tozların tutunma miktarları gözlenmiştir. Aynı şekilde, su ile yıkanarak kalıntı tozlarını içeren cam yüzeylerinin görüntüleri çekilerek toz tutma kabiliyetleri belirlenmiştir. Bu yöntemle, hidrofobik kaplamalı yüzeylerin toz tutma davranışları değerlendirilmiş ve kaplamaların etkisi anlaşılır bir şekilde ortaya konmuştur.

4. BULGULAR

4.1 Temas Açısı Ölçüm Sonuçları

Düzcamların temas açısı ölçüm sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

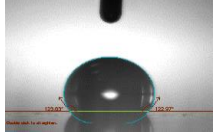
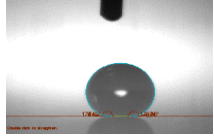
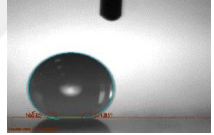
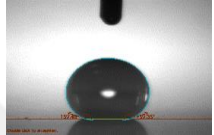
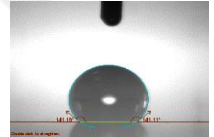
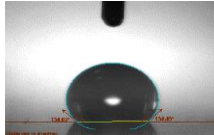
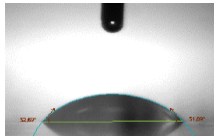
Çizelge 4.1 Düzcamların temas açısı değerleri.

Numune	Time [s]	CA left [°]	CA right [°]	CA mean [°]	Volume [μl]	Baseline [mm]	Görüntü
DC-0	7,83	93,27	90,4	91,84	8,88	3,26	
DC-0.1	8,08	140,82	139,92	140,37	7,33	1,82	
DC-0.2	8,33	133,59	141,51	137,55	7,79	1,97	
DC-0.3	8,75	135,69	137,47	136,58	7,53	1,93	
DC-0.4	9,41	143,37	159,09	151,23	6,93	1,54	
DC-0.5	8,5	130,4	129,78	130,09	8,53	2,22	
DC-Kaplamasız	8,5	64,28	64,27	64,28	9,12	4,1	

Düzcamların temas açısı ölçüm sonuçları en yüksek temas açısı değeri DC-0,4 kodlu 0,4 Zn katkılı numunede 151,23° olarak elde edilmiştir. Bu numunede süper-hidrofobik yüzey elde edilmiştir. En düşük sonuç ise kaplamasız düzcamlarda 64,28° olarak bulunmuştur.

Solar cam yüzeylerin temas açısı ölçüm sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Solar cam yüzey temas açısı değerleri.

Numune	Time [s]	CA left [°]	CA right [°]	CA mean [°]	Volume [μl]	Baseline [mm]	Görüntü
S-0	9,58	123,03	122,97	123	9,79	2,53	
S-0.1	9,66	170,62	170,06	170,34	5,17	0,85	
S-0.2	4,5	160,62	171,31	165,96	10,12	1,24	
S-0.3	8,5	159,48	159,35	159,41	9,07	1,45	
S-0.4	5,24	141,18	141,11	141,14	8,42	1,89	
S-0.5	5,67	134,69	134,43	134,56	10,44	2,26	
S- Kapasız	8,66	52,69	51,09	51,89	8,55	4,42	

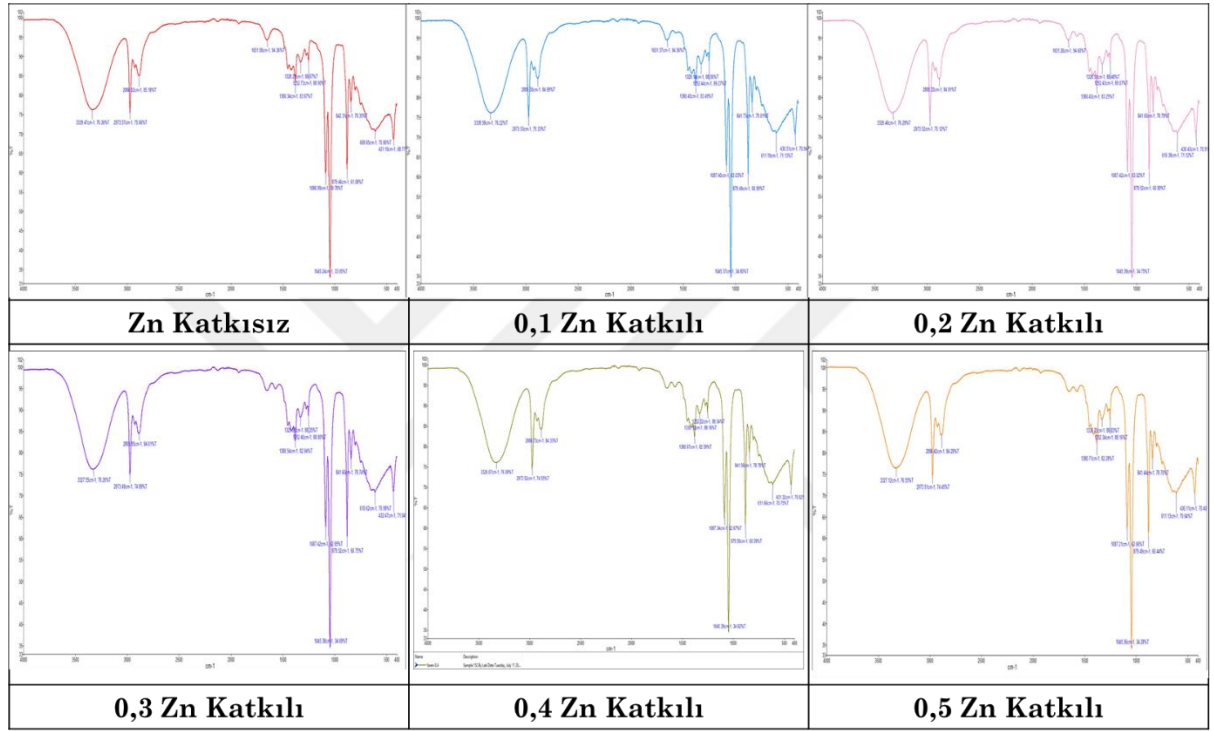
Solar cam yüzeyine yapılan kaplamalarda en yüksek temas açısı değeri S-0,1 kodlu 0,1 Zn katkılı numunede 170,34° olarak elde edilmiştir. Bu numunede süper-hidrofobik yüzey elde edilmiştir. En düşük sonuç ise kaplamasız solar camda 51,89° olarak bulunmuştur.

Elde ettiğimiz tüm sonuçları incelediğimizde en yüksek temas açısı değeri 170,34° olarak

0,1 Zn katkılı olarak hazırlanmış çözelti kaplanmış ve 60° C’de ısıtıl işlem görmüş solar camda gözlemlenmiştir.

4.2 FT-IR Analizi Sonuçları

Kaplama solüsyonlarına yapılan FT-IR analiz sonuçları Şekil 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.10 FT-IR analiz sonuçları.

FT-IR analiz sonuçlarımızı incelediğimizde yapıdaki Silisyum bağlarını ve Zn katkısını görmekteyiz.

4.3 Renk Ölçüm Analizi Sonuçları

Kaplanmış numunelere yapılan renk ölçüm analiz sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Renk ölçüm analizi sonuçları.

Numune	L	a	b
DC-Kaplamasız	96,04	0,09	0,5
DC-0	99,12	0,03	0,26
DC-0,1	93,05	-0,62	1,56
DC-0,2	90,18	-0,37	3,13
DC-0,3	89,08	-0,31	2,65
DC-0,4	93,26	-0,72	1,63
DC-0,5	88,79	-0,41	2,21
S-Kaplamasız	96,46	-0,08	0,2
S-0	96,27	-0,01	0,42
S-0,1	93,14	0,28	1,89
S-0,2	90,17	0,64	3,92
S-0,3	90,27	0,68	4,09
S-0,4	92,58	0,36	2,75
S-0,5	89,19	0,76	4,4

Renk ölçüm analiz sonuçları incelendiğinde numunelerde kaplama solüsyonundaki Zn miktarı arttıkça renkte L değerindeki düşüş beyazdan siyaha, a değerinde kayda değer bir değişim görülmediğinden dolayı nötrleşmeye, b değerinde ise meydana gelen artıştan dolayı sarıdan maviye eğilim gözlemlenmiştir.

4.4 Parlaklık Ölçüm Analizi Sonuçları

Kaplanmış numunelere yapılan parlaklık ölçüm analiz sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 Parlaklık ölçüm analizi sonuçları.

Numune	Derece (°)	Ölçüm
DC-Kaplamasız	60	153
DC-0		88,9
DC-0,1		5,3
DC-0,2		4,5
DC-0,3		3,7
DC-0,4		2,7
DC-0,5		2,9
S-Kaplamasız		125
S-0		15,5
S-0,1		11,2
S-0,2		10,4
S-0,3		9,7
S-0,4		5,7
S-0,5		4,5

Parlaklık ölçüm sonuçları incelendiğinde her iki tip cam için de Zn katkısı arttıkça parlaklık değerinde düşüş gözlemlenmiştir. Genel olarak ele aldığımızda Zn katkısının varlığı ortalama %95 düşüğe neden olmuştur.

4.5 Işık Geçirgenliği Analiz Sonuçları

Kaplanmış numunelere yapılan ışık geçirgenliği analiz sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

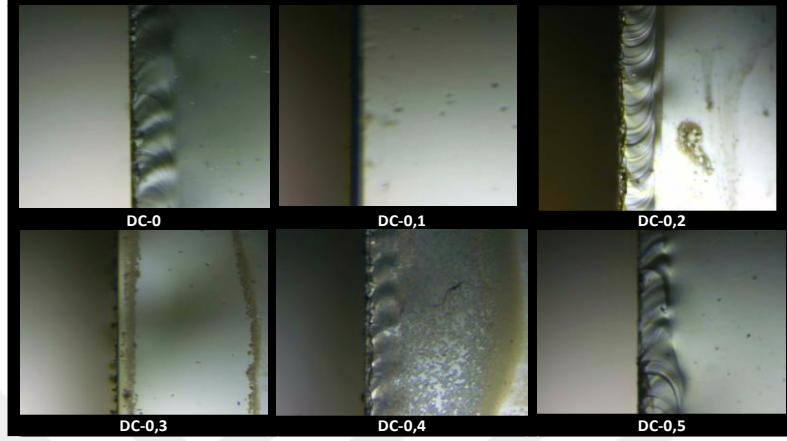
Çizelge 4.5 Işık geçirgenliği ölçüm analizi sonuçları.

Numune	Ölçüm
DC-Kaplamasız	90,11
DC-0	97,73
DC-0,1	83,09
DC-0,2	76,69
DC-0,3	74,33
DC-0,4	76,35
DC-0,5	73,72
S-Kaplamasız	90,88
S-0	90,67
S-0,1	83,29
S-0,2	76,67
S-0,3	76,99
S-0,4	82,02
S-0,5	74,56

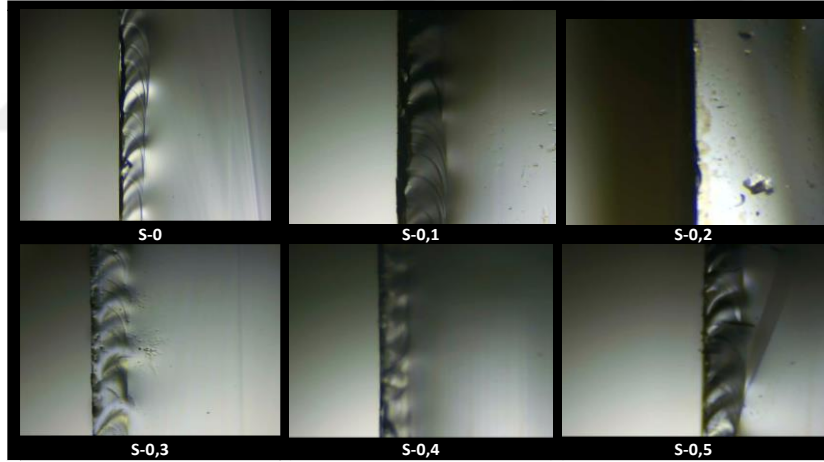
Işık geçirgenliği ölçüm analizi sonuçları incelendiğinde Zn katkısı arttıkça ışık değerliğinde düşüş meydana gelmiştir. En düşük değerler en yüksek Zn katkılı numunelerde görülmüştür.

4.6 Kesit Görüntüleri

Kesit görüntüleri düzcam ve solar cama yapılan kaplamalar için sırası ile Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.11 Kaplanmış düzcam numunelerin kesit görüntüleri.



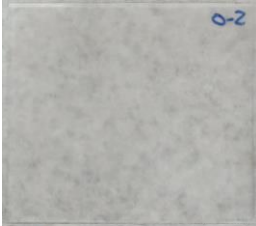
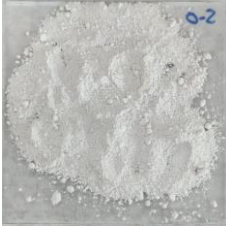
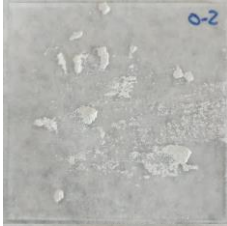
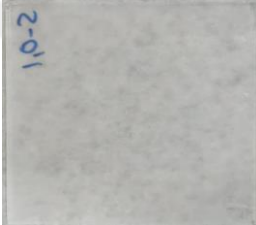
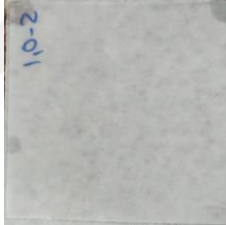
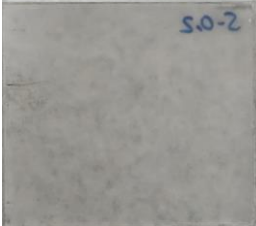
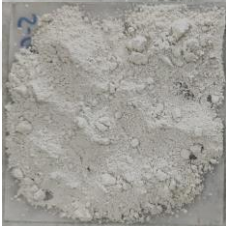
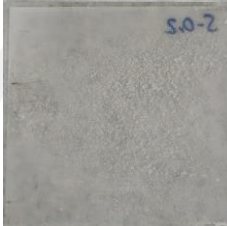
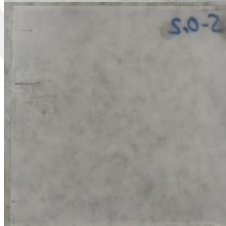
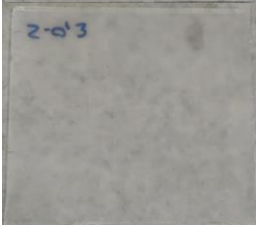
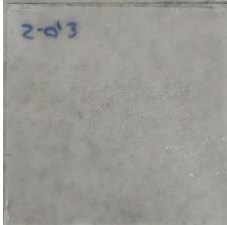
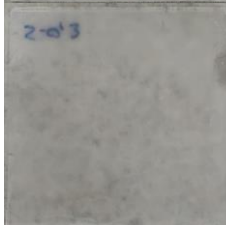
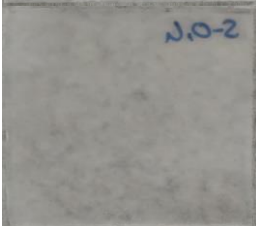
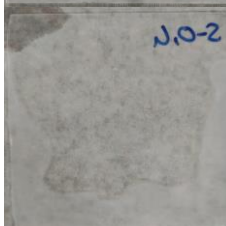
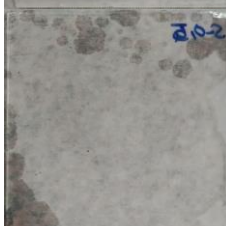
Şekil 3.12 Kaplanmış solar cam numunelerin kesit görüntüleri.

Kesit görüntülerini incelediğimizde cam yüzeyindeki boşlukların kaplama işleminden dolayı dolduğu ve pürüzsüz bir yüzey olduğu gözlemlenmiştir.

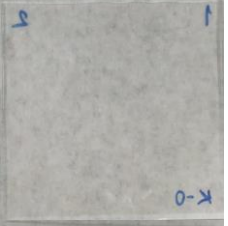
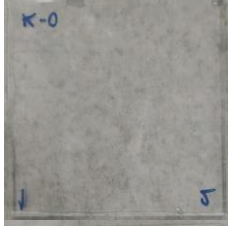
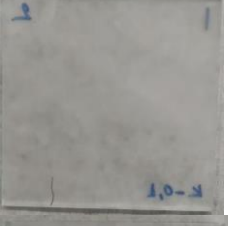
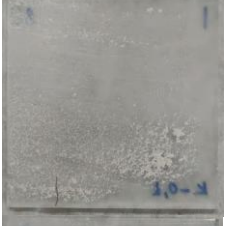
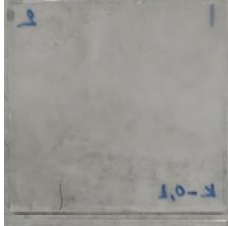
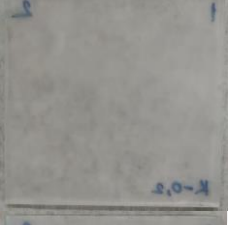
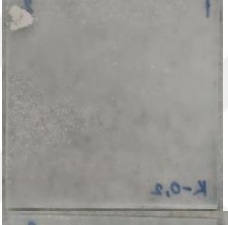
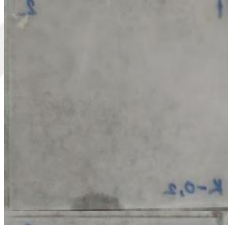
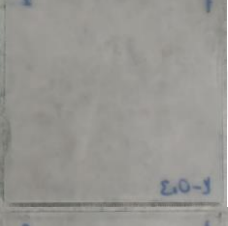
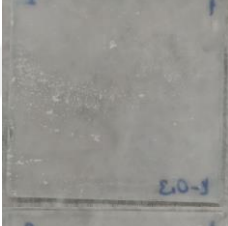
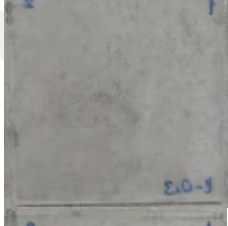
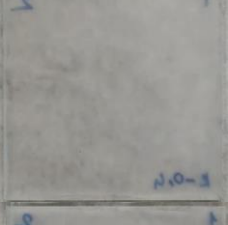
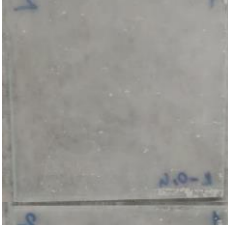
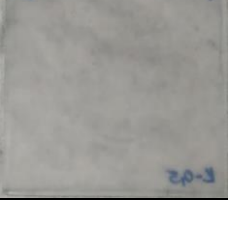
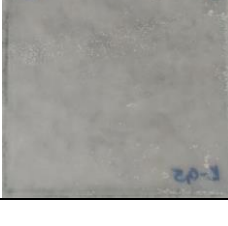
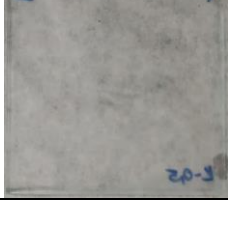
4.7 Toz Tutma Test Sonuçları

Sırasıyla solar cam ve düzcam numunelerinin toz tutma test sonuçları Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.6 Solar cam numunelerinin toz tutma test sonuçları.

Kod	Kaplamalı Yüzey	Toz Serpilmiş Yüzey	Silkelenmiş Yüzey	Su Tutulmuş Yüzey
S-0				
S-0,1				
S-0,2				
S-0,3				
S-0,4				
S-0,5				

Çizelge 4.7 Düzcamların toz tutma test sonuçları.

Kod	Kaplamalı Yüzey	Toz Serpilmiş Yüzey	Silkelenmiş Yüzey	Su Tutulmuş Yüzey
D-0				
D-0,1				
D-0,2				
D-0,3				
D-0,4				
D-0,5				

Toz testi sonuçları incelendiğinde üzerine toz serpilerek solar ve düzcamların kaplamalı numunelerde silkeleme sonrasında yüzeyde düşük miktarda toz kalıntısı kaldığı gözlemlenmiştir. Sonrasında su tutulmuş yüzeylerde ise kalıntı tozların yüzeyden su ile beraber temizlendiği ve yüzeylerde kalıntı toz, çamur oluşumu olmadığı gözlemlenmiştir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışma, Sol-Jel yöntemi kullanılarak Zn katkılı SiO₂ kaplamanın yüzey özellikleri üzerindeki etkisini incelemeyi amaçlamıştır. Kaplama işleminde kullanılan çözeltiye farklı miktarlarda Zn katkısı eklenerek, kaplanan yüzeylerin hidrofobiklik özellikleri ve morfolojik yapısı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Çalışmanın sonuçları, Zn katkısının kaplanan yüzeylerin hidrofobiklik özelliklerini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. En yüksek temas açısı değeri 170,34 derece olarak, 0,1 Zn katkısı kullanılarak kaplanan solar cam örneğinde süper hidrofobik yüzey elde edilmiştir. En düşük değer ise 0,5 Zn katkılı düzcama numunede 130,09 derece olarak elde edilmiştir. Kaplamasız düzcama ve solar cam temas açılarına göre önemli derecede bir artış sağlanmış ve hidrofobik, süper-hidrofobik yüzeyler elde edilmiştir. Bu sonuçlar, Zn'nin yüzey kaplama işleminde hidrofobiklik özelliklerin iyileştirilmesinde etkili bir katkı olduğunu doğrulamaktadır. Renk ölçüm analizini incelediğimizde Zn katkısının artması ile L,a,b değerlerinde sırasıyla beyazdan siyaha, nötrleşmeye ve sarıdan maviye eğilim gerçekleştiği görülmüştür. Parlaklık ölçüm analizi incelendiğinde ise Zn katkısı ile parlaklık değerlerinde önemli derecede düşüş meydana geldiği görülmüştür. Düzcama parlaklık değeri 153 derece iken bu değer 2,9'a kadar gerilemiştir. Solar camda ise 125 dereceden 4,5 dereceye düşüş gözlemlenmiştir. Işık geçirgenliği sonuçlarını ele aldığımızda Zn katkısı arttıkça ışık geçirgenliği değerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Kesit görüntülerinde ise yüzeydeki boşlukların dolduğunu ve pürüzsüz bir yüzey oluştuğunu görmekteyiz. Toz tutma sonuçlarını ele aldığımızda toz serpiyen yüzeyler silkelendiğinde çok düşük miktarda toz kalıntısı kaldığı ve su tutma işlemi ile bu kalıntı tozların temizlendiği, yüzeyde toz veya çamur kalıntısı kalmadığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın sonuçları, Sol-Jel yöntemiyle Zn katkılı SiO₂ kaplamaların yüzey özelliklerini iyileştirme potansiyelini vurgulamaktadır. Bu kaplama yöntemi, endüstriyel uygulamalarda kullanılabilecek çevre dostu ve ekonomik bir seçenek olarak değerlendirilebilir. Özellikle solar camlar için elde edilen hidrofobik yüzeyler, tozun tutunmasını engelleyerek kendi kendini temizleyen bir özellik sunmaktadır. Bu da güneş panellerinde verim artışı sağlamaktadır.

Gelecekte yapılacak çalışmalar, farklı Zn katkı miktarları ve kaplama koşullarının incelenmesini içerebilir. Ayrıca, kaplama sürecinin optimizasyonu ve kaplanan yüzeylerin uzun süreli stabilitesi üzerine daha fazla araştırma yapılması önerilmektedir. Bu şekilde, Sol-Jel yöntemiyle Zn katkılı SiO₂ kaplamaların endüstriyel uygulamalarda daha geniş bir kullanım alanı bulması mümkün olabilir. Özellikle, bu tür kaplamaların anti-bakteriyel özelliklere sahip yüzeyler, anti-yansıtıcı kaplamalar, su itici yüzeyler ve kendiliğinden temizlenen camlar gibi farklı endüstrilerde nasıl kullanılabileceğİ değerlendirilebilir. Bu şekilde, Sol-Jel yöntemiyle Zn katkılı SiO₂ kaplamalar, farklı endüstrilerde kullanılan yüzey kaplama teknolojilerine yeni bir perspektif sunabilir.



6. KAYNAKLAR

- Anderson, B. (2003). The Role Of Occlusion In the Perception Of Depth, Lightness, And Opacity.. *Psychological Review*, 4(110), 785-801.
- Arroyo, S. G., & Novoa, X. R. (2008). Glass surface cleaning: A review. *Journal of Coatings Technology and Research*, 5(2), 205-221.
- ASTM 907, 1982, Standart Definitions of Terms Relation to Adhesives, ASTM, Philadelphia.
- Atanacio, A.J.; Latella, B.A.; Barbé, C.J.; Swain, M.V. Mechanical properties and adhesion characteristics of hybrid sol–gel thin films. *Surf. Coat. Tech.* 2005, 192, 354–364.
- Bao, X. (2003). Deposition of thin films by physical vapor deposition: a review. *Journal of Materials Science & Technology*, 19(5), 447-460.
- Barthlott, W., & Neinhuis, C. (1997). Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces. *Planta*, 202(1), 1-8.
- Bhowmik, K. L., & Khastgir, D. (2018). A review on recent developments in the field of self-cleaning coatings for glass substrates. *Progress in Organic Coatings*, 122, 1-14.
- Bokov, D., Jalil, A., Chupradit, S., Ansari, M., Shewael, I., Valiev, G., ... & Kianfar, E. (2021). Nanomaterial By Sol-gel Method: Synthesis and Application. *Advances in Materials Science and Engineering*, (2021), 1-21.
- Boudiba H., (2021). HI-Ecowire Technical Sheet Sol-gel Process. *Materia Nova ASBL*, 1-8.
- Brinker CJ, Scherer GW. *Sol-Gel Science, the Physiscs and Chemistry of Sol-Gel Processing*, Advanced Materials. Vol. 3. Deerfield Beach, Fla: Academic Press; 1990. 1-908 p
- Brinker, C. J., & Scherer, G. W. (2013). *Sol-gel science: the physics and chemistry of sol-gel processing*. Academic press.
- Brow, R. K. (2000). Overview: glass properties. *Glass Science and Technology*, 73(5),

109-127.

- Chandrasekar, A. (2023). Influence Of Polyols On the In Vitro Biodegradation And Bioactivity Of 58s Bioactive Sol–gel Coatings On Az31b Magnesium Alloys. *Polymers*, 5(15), 1273.
- Chaudhury, N., Gupta, R., Gulia, S. (2007). Sol-gel Technology For Sensor Applications. *DSJ*, 3(57), 241-253.
- Chen, J., et al. (2020). Metal-organic frameworks as multifunctional materials for surface engineering. *Small*, 16(20), 1907217.
- Chen, X., & Mao, S. (2019). Advances in research on superhydrophilic surfaces: From fundamentals to applications. *Journal of Materials Chemistry A*, 7(45), 25600-25619.
- Chou, T. P., & Lu, C. L. (2013). Preparation and properties of sol–gel-derived SiO₂ coatings on glass substrates. *Surface and Coatings Technology*, 226, 60-64.
- Fang, F., Zhang, Y., Ding, B., & Liu, M. (2017). Superwetting surfaces towards electrochemical energy conversion and storage systems. *Journal of Materials Chemistry A*, 5(45), 23007-23027.
- Figueira, R., Silva, C., Pereira, E. (2014). Organic–inorganic Hybrid Sol–gel Coatings For Metal Corrosion Protection: a Review Of Recent Progress. *J Coat Technol Res*, 1(12), 1-35.
- Fu, X., Chen, Z., & Chen, L. (2019). Recent advances in superhydrophobic surfaces for self-cleaning and oil-water separation. *Journal of Materials Chemistry A*, 7(1), 12-32.
- Galio, A., Lamaka, S., Zheludkevich, M., Dick, L., Muller, I., Ferreira, M. (2010). Inhibitor-doped Sol–gel Coatings For Corrosion Protection Of Magnesium Alloy Az31. *Surface and Coatings Technology*, 9-10(204), 1479-1486.
- Gao, L., McCarthy, T. J., & Chen, X. (2018). Corrosion resistance of superhydrophobic surfaces: A review. *Journal of Materials Chemistry A*, 6(23), 10653-10668.
- Guo, C. F., & Liu, W. (2014). Design of anti-reflective coatings based on rigorous coupled-wave analysis. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 85, 1-49.

- Han, L., & Lin, J. (2016). Hydrophilic and hydrophobic graphene for biomedical applications. *Journal of Materials Chemistry B*, 4(20), 3546-3570.
- Han, T.; Shr, J.; Wu, C.; Hsieh, C. A modified Wenzel model for hydrophobic behavior of nanostructured surfaces. *Thin Solid Film*. 2007, 515, 4666–4669.
- Hossain, M. S., et al. (2018). Functionalized metal-organic frameworks and their composites for energy storage and conversion. *Energy & Environmental Science*, 11(10), 2784-2834.
- Hulteen, J. C., & Van Duyne, R. P. (1995). Nanosphere lithography: a materials general fabrication process for periodic particle array surfaces. *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*, 13(3), 1553-1558.
- Innocenzi, P. Edited by SpringerBriefs in Materials. In *The Sol-to-Gel Transition*, 2nd ed.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2016.
- Innocenzi, P. Understanding sol–gel transition through a picture. A short tutorial. *J. Sol-Gel Sci. Technol.* 2020, 94, 544–550.
- Ivanova, E. P., Hasan, J., Webb, H. K., Gervinskas, G., Juodkazis, S., Truong, V. K., & Tobin, M. J. (2013). Bactericidal activity of black silicon. *Nature communications*, 4(1), 1-8.
- Jiang, Y., et al. (2020). Introduction to functional surfaces. *Surface Innovations*, 8(1), 1-2.
- Kajiyama, S., Sugimoto, W., Tsuru, T., & Yoshimura, H. (2018). In vitro and in vivo evaluation of hydroxyapatite-coated magnesium implants. *Journal of Materials Chemistry B*, 6(32), 5123-5133.
- Karaman, S., & Aydın, S. (2018). Glass science and technology: a review. *Journal of the American Ceramic Society*, 101(11), 4873-4890.
- Karaman, S., & Özkan, A. (2017). Surface cleaning of glass by physical and chemical methods: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 233, 82-101.
- Kijlstra, J.; Reihs, K.; Klamt, A. Roughness and topology of ultra-hydrophobic surfaces. *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.* 2002, 206, 521–529.
- Kwon, S. J., & Sung, Y. J. (2019). Effects of various glass coatings on anti-soiling and

- self-cleaning properties. *Journal of Coatings Technology and Research*, 16(4), 1049-1058.
- Lebeau, B.; Innocenzi, P. Hybrid materials for optics and photonics. *Chem. Soc. Rev.* 2011, 40, 886–906.
- Li, W., Li, W., & Chen, Z. (2017). Surface modification of magnesium alloys for biomedical applications. *Journal of Materials Chemistry B*, 5(43), 8597-8610.
- Li, X., et al. (2018). Fabrication of functional surfaces by laser surface texturing. *Journal of Manufacturing Processes*, 32, 689-703.
- Lv, C.; Yang, C.; Hao, P.; He, F.; Zheng, Q. Sliding of Water Droplets on Microstructured Hydrophobic Surfaces. *Langmuir* 2010, 26, 8704–8708.
- Lv, M., Liu, Y., Yang, D., & Wang, L. (2019). Surface functionalization of glass for anti-fogging, self-cleaning and anti-icing. *Journal of Materials Chemistry A*, 7(38), 21901-21931.
- Malik, R. A., Jahanzaib, M., & Khan, A. U. (2019). Recent advancements in surface cleaning of glass: A review. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(1), 1196-1209.
- Marmur, A.; Kojevnikova, S. Super-hydrophobic surfaces: Methodological considerations for physical design. *J. Colloid Interface Sci.* 2020, 568, 148–154.
- Mauro, J. C., Yue, Y., Ellison, A. J., & Varshneya, A. K. (2014). Glass structure by spectral analysis. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 385, 59-66.
- Mehta, R., & Siddique, S. (2015). Recent trends in laser surface texturing for enhanced tribological properties. *Journal of Materials Research and Technology*, 4(1), 1-14.
- Nosonovsky, M., & Bhushan, B. (2010). Multiscale roughness and stability of superhydrophobic biomimetic interfaces. *Soft Matter*, 6(4), 714-719.
- Padture, N. P. (1998). *Deposition of thin films for advanced materials*. John Wiley & Sons.
- Pantano, C. G. (2004). Glass science and technology: status and directions for the future. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 345-346, 342-347.
- Pebriyanto, Y., Apipah, E., Noor, I., Alkadri, A. (2015). Characterization Of Optical and

- Structural Of Lanthanum Doped Litao₃thin Films. *Integrated Ferroelectrics*, 1(167), 137-145.
- Pfaender, H. G., & Bange, K. (2005). *Glass processing by melting and forming*. Springer Science & Business Media.
- Prati, S., Joseph, E., Sciutto, G., Mazzeo, R. (2010). New Advances In the Application Of Ftir Microscopy And Spectroscopy For The Characterization Of Artistic Materials. *Acc. Chem. Res.*, 6(43), 792-801
- Ritter, J. F., & Farley, G. L. (2000). *Introduction to glass science and technology*. The Royal Society of Chemistry.
- Rivero, P., Maeztu, J., Berlanga, C., Miguel, A., Palacio, J., Rodriguez, R. (2018). Hydrophobic and Corrosion Behavior Of Sol-gel Hybrid Coatings Based On The Combination Of Tio₂ Nps And Fluorinated Chains For Aluminum Alloys Protection. *Metals*, 12(8), 1076.
- Schaefer DW, Keefer KD, Brinker CJ. Structure of silica condensation polymers. In: Zeigler JM, FWG F, editors. *American Chemical Society, Polymer Preprints, Division of Polymer Chemistry, Advances in Chemistry*. Vol. 24. Washington, DC: American Chemical Society; 1983. pp. 239-240
- Schröder, J., et al. (2019). Surface functionalization for the control of material properties in injection moulding. *Procedia Manufacturing*, 34, 498-505.
- Selinummi, J., Ruusuvuori, P., Podolsky, I., Ozinsky, A., Gold, E., Yli-Harja, O., Shmulevich, I. (2009). Bright Field Microscopy As An Alternative To Whole Cell Fluorescence In Automated Analysis Of Macrophage Images. *PLoS ONE*, 10(4), 74-97.
- Sharma, P., Singh , J., & Singh, K. (2015). Glass melting technology: a review. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 5(5), 3333-3338.
- Sharma, P.K.; Rao, K.H. Analysis of different approaches for evaluation of surface energy of microbial cells by contact angle goniometry. *Adv. Colloid Interface Sci.* 2002, 98, 341–463.
- Shirsath, S. E., & Sabnis, A. S. (2017). Preparation and characterization of hydrophobic

- coating on glass surfaces. *Surface and Coatings Technology*, 313, 1-6.
- Smedskjaer, M. M., Mauro, J. C., & Yue, Y. (2011). The structural relaxation length scale in glasses and liquids: a review and critical evaluation. *Reports on Progress in Physics*, 74(6), 066601.
- Soytaş, S. H., Oğuz, O., & Menciloğlu, Y. Z. (2019). Polymer Nanocomposites With Decorated Metal Oxides. *Polymer Composites with Functionalized Nanoparticles*, 287–323. doi:10.1016/b978-0-12-814064-2.00009-3
- TSE 2478, 1976, Odunun Statik Eğilmede Elastikiyet Modülün Tayini, TSE I. Baskı, Ankara.
- Wang, J., Liu, Y., Chen, M., & Xu, R. (2020). A review of antibacterial coatings: Types, mechanisms, and applications. *Journal of Materials Science & Technology*, 52, 276-293.
- Wang, J., Zhang, L., Chen, J., & Sun, D. D. (2020). Superhydrophobic surfaces: From natural to artificial. *Advanced Materials Interfaces*, 7(8), 1902066.
- Wang, L., Zou, H., Li, C., Zhao, H., Zhou, L., & Fan, L. (2016). Fabrication of durable superhydrophobic and superoleophobic surfaces on glass substrates by a simple sol–gel method. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 77(2), 259-268.
- Wu, Y., Wang, Z., He, J., Liu, D., & Wang, Y. (2018). Superhydrophobic coatings on glass substrates: Fabrication, mechanism, and applications. *Journal of Colloid and Interface Science*, 514, 592-606.
- Xu, L., Ma, M., & Liu, J. (2017). Corrosion protection and mechanism of self-healing superhydrophobic coatings. *Journal of Materials Chemistry A*, 5(37), 19948-19955.
- Y. Xu, H. Peng, and J. Lu, "Advances in the development of toughened glass and glass-ceramics for high-performance applications," *Journal of Materials Science*, vol. 55, no. 5, p. 1827-1850, 2020.
- Yamamoto, T., Mita, Y., & Yoshimura, K. (2010). Fabrication and properties of transparent superhydrophobic silica-based films by a sol-gel method. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 356(18-19), 877-881.

- Yang, C.; Tartaglino, U.; Persson, B.N.J. Influence of Surface Roughness on Superhydrophobicity. *PRL* 2006, 97, 116103.
- Yang, M., Guo, Z., Qi, K., Huang, K., Deng, J., Liu, J. (2016). Microstructure Of Tic-based Coatings On Cemented Carbide Derived By Sol-gel Routes. *Metall Mater Trans A*, 2(48), 584-588.
- Yue, J., Luo, S., Lu, M., Shao, D., Wang, Z., Dong, W. (2018). A Comparison Of Mesoporous Silica Nanoparticles and Mesoporous Organosilica Nanoparticles As Drug Vehicles For Cancer Therapy. *Chem Biol Drug Des*, 2(92), 1435-1444. <https://doi.org/10.1111/cbdd.13309>
- Zallen, R. (2003). The physics of amorphous solids. John Wiley & Sons.
- Zanotto, E. D. (2018). Advances and challenges in glass science. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 500, 408-420.
- Zhai, L., et al. (2006). Patterned superhydrophobic surfaces: toward a synthetic mimic of the Namib Desert beetle. *Nano Letters*, 6(6), 1213-1217.
- Zhang, K., et al. (2021). Biomimetic surfaces for fluid manipulation: from bio-inspired surfaces to functional surfaces. *Surface Innovations*, 9(2), 103-123.
- Zhang, L., Cheng, Y., & Tang, X. (2016). Preparation and characterization of glass-ceramics from SiO₂–Al₂O₃–MgO–CaO system. *Ceramics International*, 42(5), 6345-6352.
- Zhang, Y., Fa, W., Yang, F., Zheng, Z., Zhang, P. (2010). Effect Of Annealing Temperature On the Structural And Optical Properties Of ZnO Thin Films Prepared By Sol–gel Method. *Ionics*, 9(16), 815-820.
- Zhu, L., Zhao, X., Xu, W., Zhang, X., & Li, J. (2019). Fabrication and characterization of durable, self-cleaning, and superhydrophobic glass surfaces by sol–gel method using methyltriethoxysilane and octadecyltriethoxysilane. *Surface and Coatings Technology*, 368, 184-191.