



UV IŞINI YANSITICI FONKSİYONEL YÜZEY GELİŞTİRİLMESİ

Gökhan GÖZLEKÇİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Gökhan GÖZLEKÇİ

13/01/2022

UV IŞINI YANSITICI FONKSİYONEL YÜZEY GELİŞTİRİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Gökhan GÖZLEKÇİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2022

ÖZET

Mimari uygulamalarda; yapıya estetik görünüm açısından değer katması, aydınlatmaya katkı sunması ve güneş enerjisinden daha fazla faydalanılarak yakıt tüketiminin azaltılması gibi avantajlara sahip olmasından dolayı, günümüzde dış cephesi tamamen cam ile kaplı yapıların yaygınlaştığı görülmektedir. Gökdelen ve plaza gibi yüksek binaların dış cephesinde kullanılan bu camlar, her sene milyonlarca kuşun camlara çarparak ölmesine neden olmaktadır. Kuşlar, özellikle göç mevsiminde ve göç yollarında yüksek yapılardaki camları fark etmeyerek, camlara çarparak ölmektedirler. İnsanlar sahip olduğu görme pigmentleri sayesinde spektrumun 400 nm ila 700 nm arasını görebiliyorken, kuşlar insanlardan farklı olarak sahip oldukları bir görme pigmenti sayesinde UVA bölgesindeki ışınları da görebilmektedirler. İnsanlar ile kuşların görme kabiliyetleri arasındaki farktan faydalanılarak bu problemi aşmak mümkün olabilmektedir. 400-700 nm arasında geçirgenliği, UVA bölgede ise yansıtıcılığı yüksek ince filmler geliştirilerek mimari açıdan estetik bir kayba uğramadan cam yüzeyinde kuşlar için uyarıcı bir film geliştirilmesi mümkündür. Bu tez çalışmasında, sırasıyla düşük ve yüksek kırılma indisine sahip SiO₂ ve TiO₂ ince filmlerin cam üzerine kaplanmasıyla UV yansıtıcılığı yüksek fonksiyonel yüzey geliştirilmiştir. Sıçratma tekniği ile kaplanan bu ince filmler, öncelikle farklı Ar gaz akışları altında kaplanmıştır ve TiO₂ ve SiO₂ için en uygun gaz akışına karar verilmiştir. Tek katman filmlerin optimizasyonu ve kalibrasyonu tamamlandıktan sonra çok katlı yapılar elde edilmiştir. Üç farklı seride 3, 5 ve 7 katmanlı yapılar elde edilerek; hem seriler birbiri arasında kıyaslanmış ve kalınlık değişiminin geçirgenlik ve yansıtıcılık üzerindeki etkisi gözlenmiştir hem de aynı seri içerisindeki numuneler birbiri ile kıyaslanarak katman sayısındaki değişimin optik performans üzerindeki etkisi incelenmiştir. Üç farklı seride elde edilen dokuz numunenin performansları incelendikten sonra, bu tez çalışması için en uygun tercihin 7 katmanlı yapı elde etmek olduğuna karar verilmiş ve bu serideki numunelere kıyasla daha ince filmler geliştirilerek görünür bölgede geçirgenliği daha yüksek bir numune elde etmek amacıyla 7 katmanlı onuncu bir numune hazırlanmıştır. Optik performans açısından hedeflerimize en uygun olan bu onuncu numunenin görünür bölgede geçirgenliği ortalama %89,5 iken, yansıtıcılığın en yüksek olduğu dalga boyu olan 350 nm’de ise yansıtıcılığı %81,2’dir. Ayrıca mimari camlarda camın mekanik ve özelliklerini iyileştirmek için ısıtma işlemi uygulanmaktadır. Elde ettiğimiz bu nihai numunenin tavlama sonrasındaki optik performansını incelemek için 660°C’de 6 dakikalık bir tavlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu tavlama işleminden sonra camın görünür bölgedeki geçirgenliği %90,5’e çıkarken; 350 nm’deki yansıtıcılığı ise %81,2’den %86,5’e çıkmıştır.

Bilim Kodu : 20227
Anahtar Kelimeler : UV ışınlar, Bragg yansıması, kuş dostu camlar
Sayfa Adedi : 61
Danışman : Prof. Dr. Süleyman ÖZÇELİK

IMPROVEMENT OF FUNCTIONAL SURFACE TO REFLECT UV LIGHTS

(M. Sc. Thesis)

Gökhan GÖZLEKÇİ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2022

ABSTRACT

In architectural applications, it is seen that number of buildings whose exteriors are completely covered with glass has increased at the present time, due to advantages such as enriching the aesthetic appearance of buildings, contributing to lightning and reducing energy consumption by more utilizing solar energy. These glasses which are used on the exterior of high-rise buildings such as skyscrapers and plazas, cause millions of birds to die every year due to window collisions. Especially bird migration sessions and migration routes, birds are killed in window collisions because of not noticing the window in high-rise buildings. Between 400 nm and 700 nm of the spectrum is visible for humans thanks to the visual pigments they have. Unlike humans, birds have visual pigment which is sensitive in the UVA region, thanks to this pigment they also see the rays in the UVA region. It is possible to overcome this problem by using the difference between visual perception in humans and birds. By developing thin films on glass with a high transmittance between 400 nm-700 nm and high reflectance in the UVA region, birds can be awakened for the obstacle without suffering an aesthetic loss. In this thesis, a functional surface with high UV reflectivity was developed by coating SiO₂ and TiO₂ films with low and high refractive indexes respectively. Firstly, these films were coated by sputtering under different Ar gas flows and then the most suitable gas flow rate was decided for TiO₂ and SiO₂ films. After the optimization and calibration of single layers, multi-layer structures were obtained. By obtaining 3, 5 and 7 layered structures in three different serials; serial were compared between each other and the effect of thickness on the transmittance and reflectance was observed. Also, the effect of the number of layers on optical performance was examined by comparing the samples in the same serial. After the investigation of the performance of nine samples which are obtained in three different serials, it was decided that the most suitable choice for this study was to obtain a 7 layered structure. Moreover, the tenth sample with 7 layers was prepared to get a sample with higher transmittance compared to samples in three serials. The tenth sample which is the best for our goals in terms of optical performance has an average transmittance of 89,5% in the visible region, also its reflectivity is 81,2% at 350 nm that the wavelength with the highest reflectivity. In addition, heat treatment is applied in architectural glasses to improve the mechanical and optical properties of the glass. In order to examine the effect of annealing on the optical performance of this final sample, the annealing process was carried out at 660°C in 6 minutes. After this annealing process, the transmittance of the glass in the visible region increases to 90.5%; Its reflectivity at 350 nm increased from 81.2% to 86.5%.

Science Code : 20227

Key Words : UV lights, Bragg reflection, bird-friendly glass

Page Number : 61

Supervisor : Prof. Dr. Süleyman ÖZÇELİK

TEŞEKKÜR

Bir puzzle'a benzeyen eğitim-öğretim hayatımın en önemli parçalarından birini tamamlama destek olan, akademik yetkinliklerimi bir basamak yukarı taşımama rehberlik eden, üniversite ve sanayi iş birliğinin önemini aşıl原因 ve çalışma disiplini ile gururla rol model olarak gördüğüm danışman hocam Prof. Dr. Süleyman ÖZÇELİK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezinde geçirdiğim üç yılın daha keyifli ve verimli olmasını sağlayan kıymetli hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması boyunca katma değerli ve uygulanabilirliği yüksek bir ürün çıkması konusunda fikir alışverişinde bulunduğum, birtakım analiz işlemlerinin yapılmasında yardımcı olan başta Utku ER olmak üzere emeği geçen tüm Şişecam Bilim, Teknoloji ve Tasarım Merkezi çalışanlarına teşekkür ederim.

Varlıklarıyla hayatıma anlam ve değer katan, toy zamanlarımdan bu yana beraber olduğum ve benliğimin şekillenmesinde ailem kadar etkilerinin olduğuna inandığım tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Son ve en özel teşekkürü ise aileme ithaf etmek istiyorum. Bugünlere gelmem için verdiğiniz emek, gösterdiğiniz sabır ve bulunduğunuz özveri için ne kadar teşekkür etsem az. Size karşı beslediğim şükran ve minnet her geçen gün artmaktadır. Tüm güzelliklerin sizinle olması dileğiyle.

Bu tez çalışması, bursiyer olarak görev yaptığım 5210017 numaralı ve UV Işını Yansıtıcı Fonksiyonel Cam Yüzeyi Geliştirilmesi isimli proje ile TÜBİTAK ve 2016K121220 numaralı proje ile Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Isı Transfer Mekanizmaları.....	5
2.2. Kuş Dostu Camlar.....	6
2.3. Optik İnce Filmler.....	7
2.3.1. Yasak enerji aralığı.....	8
2.3.2. Optik filtre tasarım kriterleri.....	9
3. İNCE FİLM KAPLAMA VE KARAKTERİZASYON TEKNİKLERİ .	15
3.1. İnce Film Kaplama Teknolojileri.....	15
3.1.1. Sıçratma tekniği.....	15
3.2. İnce Film Karakterizasyon Teknikleri	18
3.2.1. X-Işını Kırınımı Tekniği (XRD Tekniği)	18
3.2.2. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)	19
3.2.3. UV-VIS Spektrometresi.....	19
3.2.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	20
3.2.5. X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS).....	20

	Sayfa
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	23
4.1. TiO ₂ İnce Film Kaplamaları	23
4.2. SiO ₂ İnce Film Kaplamaları	25
4.3. UV Bölgede Yansıtıcılığı Yüksek Çok Katmanlı Yapıların Geliştirilmesi.....	27
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	31
5.1. Optik Analizler	31
5.2. Morfolojik Analizler	46
5.3. Yapısal Analizler	49
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	61

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) üyesi 24 ülkenin ve Türkiye'nin enerji tüketimlerinin sektörel bazda kıyaslanması	2
Çizelge 1.2. Uluslararası Enerji Ajansı üyesi 24 ülkede ve Türkiye'de enerji tüketiminde konutlardaki kullanımları	2
Çizelge 4.1. Farklı argon gazı akışlarında kaplanan TiO ₂ ince filmlerin kaplama koşulları ve kırılma indisleri	24
Çizelge 4.2. Farklı argon gazı akışlarında kaplanan SiO ₂ ince filmlerin kaplama koşulları ve kırılma indisleri	26
Çizelge 4.3. Birinci seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı yapıların film kalınlıkları ve numune kodları	28
Çizelge 4.4. İkinci seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı yapıların film kalınlıkları ve numune kodları	28
Çizelge 4.5. Üçüncü seride kaplanan 3,5 ve 7 katmanlı yapıların film kalınlıkları ve numune kodları	29
Çizelge 5.1. Birinci seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı filmlerin optik performansları.	32
Çizelge 5.2. İkinci seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı filmlerin optik performansları ..	34
Çizelge 5.3. Üçüncü seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı filmlerin optik performansları	35
Çizelge 5.4. Farklı serilerde kaplanan 3 katmanlı yapıların optik performansları.....	37
Çizelge 5.5. Farklı serilerde kaplanan 5 katmanlı yapıların optik performansları.....	39
Çizelge 5.6. Farklı serilerde kaplanan 7 katmanlı yapıların optik performansları.....	40
Çizelge 5.7. Y541 kodlu numune üzerindeki film kalınlıkları	42
Çizelge 5.8. Y541 kodlu numunenin tavlama öncesi ve sonrası optik performansı.....	43

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Enerji verimli camların çalışma mekanizması.....	6
Şekil 2.2. Snell yasasına göre ışının davranışının gösterimi.....	9
Şekil 2.3. Işının malzeme yüzeyine düştükten sonraki davranışının gösterimi	10
Şekil 2.4. Işının tek katman film üzerinden yansımalarının şematik gösterimi.	11
Şekil 2.5. Faz farkı sıfır olduğu zaman yansıma şiddetinin vektörel olarak gösterimi...	12
Şekil 2.6. Faz farkı 90° olduğu zaman yansıma şiddetinin vektörel olarak gösterimi....	12
Şekil 2.7. Faz farkı 180° olduğu zaman yansıma şiddetinin vektörel olarak gösterimi..	13
Şekil 2.8. Çok katmanlı yansıtıcı optik filtre yapısı.....	14
Şekil 3.1. X-ışını kırınımının şematik gösterimi.....	18
Şekil 4.1. 5 sccm gaz akışı altında kaplanan TiO ₂ filmin UV-Visible spektrometre ve CODE 5 modelleme sonuçları	23
Şekil 4.2. 15 sccm gaz akışı altında kaplanan TiO ₂ filmin UV-Visible spektrometre ve CODE 5 modelleme sonuçları	24
Şekil 4.3. 25 sccm gaz akışı altında kaplanan TiO ₂ filmin UV-Visible spektrometre ve CODE 5 modelleme sonuçları	24
Şekil 4.4. Cam/TiO ₂ yapısı üzerine 5 sccm gaz akışı altında kaplanan SiO ₂ filmin UV-Visible spektrometre ve CODE 5 modelleme sonuçları	25
Şekil 4.5. Cam/TiO ₂ yapısı üzerine 10 sccm gaz akışı altında kaplanan SiO ₂ filmin UV-Visible spektrometre ve CODE 5 modelleme sonuçları	26
Şekil 4.6. Cam/TiO ₂ yapısı üzerine 15 sccm gaz akışı altında kaplanan SiO ₂ filmin UV-Visible spektrometre ve CODE 5 modelleme sonuçları	26
Şekil 5.1. Birinci seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı filmlerin geçirgenlik ölçüm sonuçları.....	31
Şekil 5.2. Birinci seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı filmlerin yansıtıcılık ölçüm sonuçları.....	32
Şekil 5.3. İkinci seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı filmlerin geçirgenlik ölçüm sonuçları.....	33
Şekil 5.4. İkinci seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı filmlerin yansıtıcılık ölçüm sonuçları.....	33

Şekil	Sayfa
Şekil 5.5. Üçüncü seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı filmlerin geçirgenlik ölçüm sonuçları.....	34
Şekil 5.6. Üçüncü seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı filmlerin yansıtıcılık ölçüm sonuçları.....	35
Şekil 5.7. Farklı serilerde kaplanan 3 katmanlı yapıların geçirgenlik ölçüm sonuçları..	36
Şekil 5.8. Farklı serilerde kaplanan 3 katmanlı yapıların yansıtıcılık ölçüm sonuçları..	37
Şekil 5.9. Farklı serilerde kaplanan 5 katmanlı yapıların geçirgenlik ölçüm sonuçları..	38
Şekil 5.10. Farklı serilerde kaplanan 5 katmanlı yapıların yansıtıcılık ölçüm sonuçları	38
Şekil 5.11. Farklı serilerde kaplanan 7 katmanlı yapıların geçirgenlik ölçüm sonuçları	39
Şekil 5.12. Farklı serilerde kaplanan 7 katmanlı yapıların yansıtıcılık ölçüm sonuçları	40
Şekil 5.13. Y541 kodlu numunenin tavlama öncesi geçirgenlik ve yansıtıcılık değerleri	42
Şekil 5.14. Y541 kodlu numunenin tavlama sonrası geçirgenlik ve yansıtıcılık değerleri	43
Şekil 5.15. Y541 kodlu numunenin geçirgenlik ölçüm sonuçları.....	444
Şekil 5.16. Y541 kodlu numunenin ön yüzeyinin yansıtıcılık ölçüm sonuçları	44
Şekil 5.17. Y541 kodlu numunenin arka yüzeyinin yansıtıcılık ölçüm sonuçları	45
Şekil 5.18. Y541 kodlu numunenin soğurma sonuçları.....	46
Şekil 5.19. Y541 kodlu numunenin tavlama öncesindeki ve tavlama sonrasındaki X-Işını kırınım deseni.....	49
Şekil 5.20. TiO ₂ ince filmin geniş tarama ve dar tarama XPS spektrumu.....	50
Şekil 5.21. SiO ₂ ince filmin geniş tarama ve dar tarama XPS spektrumu.....	51

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. a) Gökyüzünün plaza camlarında yansıması b) Kuşların cam yüzeyindeki yansımadan kaynaklı yansıması	7
Resim 5.1. Y541 kodlu numunenin tavlamadan a) önceki ve b) sonraki 2 boyutlu AFM görüntüsü	47
Resim 5.2. Y541 kodlu numunenin tavlamadan a) önceki ve b) sonraki 3 boyutlu AFM görüntüsü	47
Resim 5.3. Y541 kodlu numunenin tavlama öncesindeki yüzey SEM görüntüsü.....	48
Resim 5.4. Y541 kodlu numunenin tavlama sonrasında yüzey SEM görüntüsü.....	48
Resim 5.5. Y541 kodlu numunenin tavlama a) öncesindeki ve b) sonrasındaki yan kesit SEM görüntüsü.....	48

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamalar ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
Al₂O₃	Alüminyum oksit
AlN	Alüminyum Nitrür
Ar	Argon
Cos	Kosinüs
c	Işığın boşluktaki hızı
d	Düzlemler arası mesafe
eV	Elektron volt
I₀	Gelen ışının şiddeti
I_T	Geçen ışının şiddeti
I_R	Yansıyan ışının şiddeti
k	Sönümlenme katsayısı
K	Kelvin
k.b.	Keyfi birim
mbar	milibar
mm	milimetre
n	Kırılma indisi
nm	nanometre
n_f	filmin kırılma indisi
n_s	alttaşın kırılma indisi
O	Oksijen
°C	Santigrat derece
r	Fresnel Yansıma Genlik Katsayısı
R_c	Film Kaplı Yüzeyin Yansıtıcılığı
R_u	Film Kaplı Olmayan Yüzeyin Yansıtıcılığı
sccm	Dakika başına akan standart santimetreküp
Si	Silisyum

Simgeler**Açıklamalar**

SiO₂	Silisyum dioksit
Sin	Sinüs
Si₃N₄	Silisyum nitür
T	Geçirgenlik
Ti	Titanyum
TiO₂	Titanyum dioksit
U	Yapı malzemelerinde birim zamanda birim alandan geçen ısı miktarı
V	Işığın malzeme içerisindeki hızı
W	Watt
φ	Faz farkı
λ	Dalga boyu
μm	Mikrometre

Kısaltmalar**Açıklamalar**

AFM	Atomik kuvvet mikroskobu
DC	Doğru Akım
EN410	Cam yapı elemanlarının ışık ve güneş ışınımı ile ilgili özelliklerinin belirlenmesine dair standart
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
NIR	Yakın kızılötesi bölge
RF	Radyo frekans
RMS	Karekök ortalama
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SLG	Soda-kireç camı
UV	Morötesi
UVA	Morötesi-A Kısmı
UV-VIS	Morötesi ve görünür
XPS	X ışını Fotoelektron spektroskopisi
XRD	X ışınları kırınımı
QWOT	Çeyrek Dalga Boyu Optik Kalınlık

1. GİRİŞ

Dünya’da halklarının refah seviyesi yüksek olan ülkelerin görece düşük kalmış ülkelere kıyasla farklarına bakıldığı zaman ortak noktaları; eğitim, sağlık, hukuk, sosyal güvenlik vb. alanlarda toplumsal gelişimi sağlayan başat reformları gerçekleştirmeleriyle beraber ekonomik kalkınmalarını da belli bir seviyeye taşımalarıdır [1].

Enerji arzı, ekonomik kalkınmayı sağlamak için ülkelerin başlıca girdilerindedir. Dünya’da enerji ile alakalı yatırım, strateji ve politikalar oluşturulurken gözetilen temel konular arz çeşitliliğinin yaratılması, sürdürülebilirliğin sağlanması, enerji maliyetlerinin düşürülmesi ve kullanılan enerji kaynağının ekolojik dengeye zararının düşük seviyede tutulmasıdır [2].

Enerji kaynaklarını fosil enerji kaynakları, yenilenebilir enerji kaynakları ve nükleer enerji olarak üç sınıfa ayırmak mümkündür. Hangi enerji kaynağı kullanılırsa kullanılsın bu kaynağı kullanacak tesisin kurulumu yüksek maliyetli bir yatırımdır. Kömür veya doğal gaz santralinin kurulumu; güneş enerji veya rüzgâr enerji santrali kurulumu; nükleer enerji santrali kurulumu, bunların hepsi yüksek maliyetli yatırımlardır fakat bunları işletim maliyetleri ve çevreye olan etkileri açısından kıyaslarsak birbirlerine göre avantaj ve dezavantajlara sahiptirler.

Tarihsel olarak bakıldığında enerji sistemleri fosil kaynaklara dayanmaktadır. Fakat fosil kaynakların tükenme ihtimali, ekolojik denge üzerindeki olumsuz etkileri ve Türkiye gibi fosil kaynakları sınırlı olan ülkelerin enerji arzında dışa bağımlılığını azaltma gibi gayet tabii ve haklı kaygıları göz önünde bulundurulduğunda yenilenebilir enerji kaynak kullanımının son yıllarda daha sık telaffuz edildiği ve yatırımların hızla arttığı görülmektedir.

Yenilenebilir enerji kullanımının artmasının yanında özen gösterilmesi gereken bir diğer konu ise enerjiyi verimli kullanmaktır. Enerji verimliliğini basitçe tanımlamak gerekirse yaşam standardını, hizmet kalitesini ve ürün kalitesini düşürmeden aynı eylemlerin aynı sürede daha az enerji tüketilerek yapılmasıdır [3]. Enerjinin verimli kullanımını ve enerjide tasarrufu tartışmadan önce Dünya’daki ve Türkiye’deki enerji tüketiminin yüzdesel olarak hangi sektörlerden geldiğini açıklamak daha doğru olacaktır. Çizelge 1.1.’de Dünya’da ve Türkiye’de enerji tüketiminin hangi sektörlerde ne kadar olduğu görülmektedir.

Çizelge 1.1. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) üyesi 24 ülkenin ve Türkiye'nin enerji tüketimlerinin sektörel bazda kıyaslanması [4]

	IEA Üyesi 24 Ülke	Türkiye
Üretim Sektörü	%24	%34
Taşıma/Ulaşım Sektörü	%35	%27
Konut Sektörü	%20	%21
Diğer Endüstriler (Tarım vb.)	%7	%6

Enerji tüketiminde konut sektörünün kayda değer bir paya sahip olduğu görülmektedir. Konut sektöründeki tüketimin hangi kalemlerden kaynaklandığı ise Çizelge 1.2.'de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Uluslararası Enerji Ajansı üyesi 24 ülkede ve Türkiye'de enerji tüketiminde konutlardaki kullanımları [4]

	IEA Üyesi 24 Ülke	Türkiye
Ortamın Isıtılması	%53	%48
Elektrikli Ev Aletleri	%19	%12
Suyun Isıtılması	%16	%22
Yemek Pişirme	%4	%8
Aydınlatma	%2	%4
Ortamın Soğutulması	%4	
Diğer	%2	%6

Çizelge 1.2.'de görüldüğü üzere ortamın ısıtılması, soğutulması ve aydınlatılması için konutlarda yüksek enerji tüketimi vardır. Pencereilerin uygun mimari tasarımlar sonucunda konutların estetik olarak cazibesini artırması, aydınlatmaya katkı sağlaması ve havalandırmaya olanak tanınması gibi avantajları düşünüldüğünde binaların önemli bileşenlerinden olduğu kabul edilmektedir. Fakat beton, tuğla, kiremit gibi yapı malzemelerine kıyasla ince olmaları ve yüksek optik geçirgenliklerinden dolayı binalardaki ısı kayıplarının %60'a yakını pencerelerden kaynaklanmaktadır [5]. Belirli bir malzemenin, belirli bir kalınlıkta ne kadar ısı kaybına yol açtığı U değeri ile belirlenir ve emsalleriyle bu değer üzerinden kıyaslanır. Pencere camının kompozisyonu, camın kalınlığı, cam ünitesinin kaç camdan oluştuğu, camların arasının vakumlanması veya soy gazla doldurulması ve camın üzerinde bir ince film veya katman olup olmaması camın U değerini önemli ölçüde değiştirmektedir [5].

Günümüzde kullanılan solar mimari cam üniteleri genellikle çift camdan oluşur ve bu camlardan bir tanesinin iç yüzeyinde kızıl ötesi ışınları yansıtma için çok katmanlı bir kaplama bulunur. Bu kaplama sayesinde kızılötesi ışınların cam üzerinden geçişi yansıtılarak engellenir ve sıcak iklimlerde binaların daha az ısınmasını sağlayarak soğutma giderlerini azaltır; soğuk iklimlerde ise içerideki ısıyı ortama geri yansıtarak daha az yakıt tüketilmesine olanak sağlar [5]. Fakat yakıt tüketimi açısından çevre dostu olarak kabul edilen bu camlarda, kuşların cama çarpması büyük bir sorun olarak görülmektedir. Özellikle kuşların göç mevsiminde ve göç yollarında her yıl 100 milyonlarca kuş, yapılarıdaki camlara çarparak ölmektedir. Kuşlar kimi zaman camın yüksek geçirgenliğinden dolayı camın varlığını fark edememeleri, kimi zaman ise camın açısı, türü ve camın yüzeyine gelen ışınların şiddetine göre çevredeki ağaçların ve bulutların cam yüzeyinden yansımalarından dolayı yine engeli fark edememelerinden dolayı cama çarpılmaktadırlar [6,7,8,9]. Bu kuş çarpmalarını önlemek için akşamları yapıların ışıklarını söndürmemek veya cam yüzeyine çeşitli desenler yapıştırarak kuşlar için bir uyarıcı oluşturulmaya çalışılmaktadır. Bu tür çözümler ise mimari yapıların estetik kaygılarından dolayı uygun bir çözüm olamamaktadır [9,10].

Sonuç olarak, bu tez çalışmasında UV ışını yansıtıcı fonksiyonel yüzey geliştirilerek cam yüzeyinde kuşlar için uyarıcı bir film geliştirmek ve bu filmin görünür bölgedeki geçirgenliğini yüksek tutmaya çalışarak mimari yapılarda insanlar için estetik bir kaygıya mahal verilmemesi hedeflenmiştir. Tezin 2.Kısım'ında mimari camlardaki ısı transfer mekanizmalarından, kuş dostu camların özgün yapılarından ve optik ince filmler tasarlanırken göz önünde bulundurulması gereken temel parametrelerden bahsedilmiştir. 3.Kısım'da ince film kaplama teknikleri ve filmlerin optik, yapısal ve morfolojik özelliklerini analiz etmek için uygulanabilecek karakterizasyon yöntemleri tanıtılmıştır. 4.Kısım'da tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalar, 5.Kısım'da ise deneysel çalışmalar sonucunda elde ettiğimiz numunelerin yapısal, optik ve morfolojik karakterizasyon sonuçları sunulmuştur ve sonuçlar yorumlanmıştır. Tezin son kısmı olan 6.Kısım'da ise tez süresince yapılan çalışmalar özetlenmiş, değerlendirilmiş ve gelecekte yapılacak çalışmalar için birtakım önerilerde bulunulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Isı Transfer Mekanizmaları

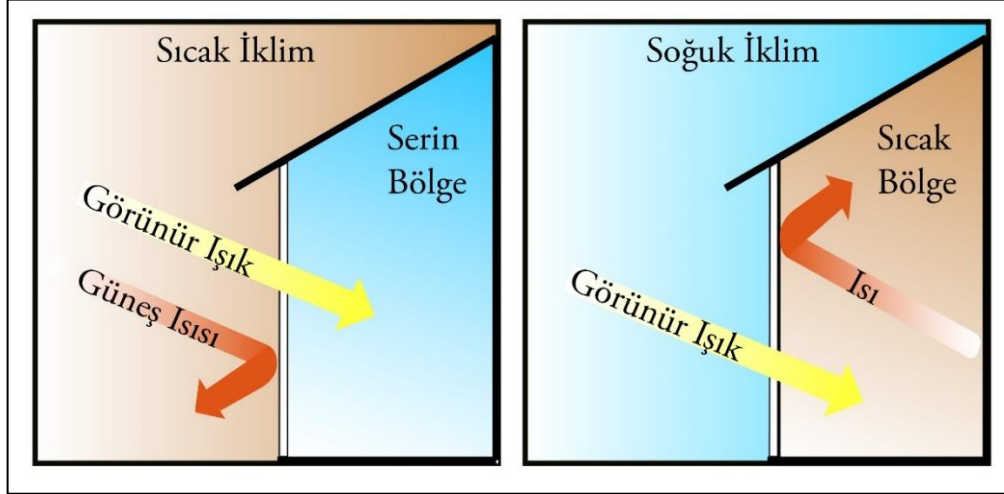
Isı transferi üç yolla gerçekleşir: iletim, konveksiyon ve ışıma. Pencere camlarında iletim yoluyla ısı transferi mekanizmasında önemli olan camın termal iletkenliğidir. Pencere camı üzerindeki optik ince filmler çok ince olduklarından dolayı iletim yoluyla ısı transferine etkileri çok düşüktür ve genellikle ihmal edilirler. Isı yalıtımlı camlarda konveksiyon mekanizması enerji verimliliği açısından büyük önem taşır. Pencere ünitesindeki iki cam arası vakumlanarak veya soy gaz ile doldurularak ısının iletimi büyük ölçüde azaltılır ve yapı içerisindeki enerji korunarak verimliliği artırılır. Fakat pencerelerdeki enerji transferi mekanizmalarından enerji verimliliğine en fazla katkıyı sağlayacak olan ışımanın kontrol edilmesidir. Cam üzerine kaplanacak optik ince filmlerle camın yayıcılığı ve camın optik geçirgenliği kontrol edilebilir [11].

Her malzemenin yüzeyi her sıcaklıkta enerji yayar. Yayıcılık (Emisivite), belirli bir sıcaklıkta bir malzemenin yüzeyinden yayılan enerjinin, aynı sıcaklıkta kara cismin (mükemmel yayıcı) yayıcılığına olan oranı olarak tanımlanır. Enerji verimliliği açısından yayıcılığı düşük malzemeler tercih edilmektedir. Yansıtıcılığı veya iletkenliği yüksek malzemeler yayıcılığı azaltmaktadır. Renksiz düz camların yayıcılığı 0,95 dolaylarında iken, gümüşün yayıcılığı 0,02 dolaylarındadır. Gümüşün düşük yayıcılığından faydalanılarak cam üzerine ince gümüş katmanının kaplanmasıyla enerji verimliliğini önemli oranda artırmak mümkündür [11].

Camlardaki seçici geçirgenlik ise enerji verimliliği üzerinde yüksek etkisi olan ve optik ince filmler geliştirilerek kontrolü sağlanabilen önemli bir başlıktır. Işınlar cam yüzeyine geldiği zaman gelen ışının dalga boyuna bağlı olmakla birlikte cam yüzeyinden yansıtılabilirler, cam ünitesi tarafından soğurulabilirler ve cam yüzeyinden geçebilirler [11]. Mimari yapılarda kullanılan camlarda öncelik, spektrumun insan gözü için görünür kabul edilen kısmı olan 400 ila 700 nanometre(nm) arasındaki dalga boyuna sahip ışınlarının yüksek oranda geçirilmesidir.

Güneş spektrumunun enerji olarak %52'sine tekabül eden kısmı kızılötesi ışıklardan (780 nm -2300 nm) gelir. Kızılötesi ışınların engellenmesiyle mimari yapıları soğutmak için

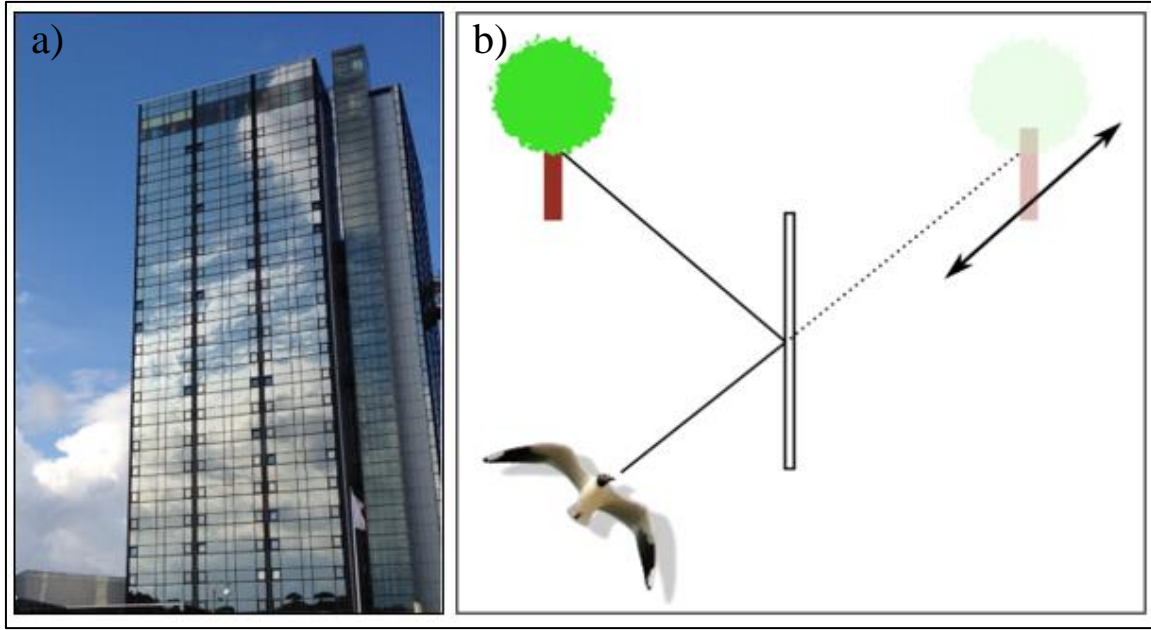
kullanılan enerji önemli ölçüde azaltılarak tasarruf sağlanmış olur. Ayrıca 2300 nm dalga boyundan daha büyük dalga boyuna sahip ışınların geçişinin engellenmesiyle de bina içindeki objelerin ışımasıyla ortaya çıkan enerjinin pencerelerden geçişi engellenir ve yapıyı ısıtmak için harcanan enerji miktarını azaltmak mümkün hale gelir [11].



Şekil 2.1. Enerji verimli camların çalışma mekanizması [12]

2.2. Kuş Dostu Camlar

Görme duyusu, gelen ışınların göz içerisindeki görme pigmentleri tarafından soğurulması ile uyarılarak başlar. İnsan gözünde dört farklı görme pigmenti bulunur ve her bir pigmentin soğurma hassasiyeti farklı dalga boylarına karşılık gelmektedir. Bu pigmentlerin soğurma hassasiyetlerinin en yüksek oldukları dalga boyları 414 nm, 497 nm, 530 nm ve 560 nm 'dedir. Bu dört pigment sayesinde ışık spektrumunun 400 nm ila 700 nm arasında kalan kısmı insanlar için görünür spektrum olarak kabul edilmektedir [13,14]. Fakat insanlardan farklı olarak kuşlar UV (mor ötesi)-SWS 1 adlı görme pigmentine sahiptir ve bu pigmentin soğurma piki 355-380 nm dalga boyu aralığına tekabül etmektedir. Ayrıca bu pigment sayesinde 320 nm dalga boyuna sahip ışınlar kadar algılayabildikleri bilinmektedir [15,16]. İnsanların ve kuşların spektrumun UVA bölgesindeki görme kabiliyetleri farkından yararlanılarak kuşların cama çarpma riskini büyük ölçüde azaltmak mümkündür. Cam üzerine 320-400 nm arasında yansıtıcılığı yüksek, 400-700 nm arasında ise geçirgenliği yüksek ince film kaplaması geliştirilerek mimari açıdan estetik kaygı oluşturmadan kuşların UV ışınların yansıtılması ile uyarılması ve çarpma riskinin azaltılması mümkündür.



Resim 1.1. a) Gökyüzünün plaza camlarında yansımaları b) Kuşların cam yüzeyindeki yansımadan kaynaklı yanılması [7]

2.3. Optik İnce Filmler

Optik ince film kaplamaları bilim ve teknolojinin birçok dalında kullanılmaktadır ve son tüketiciye ulaşan birçok üründe de bu kaplamalar görülebilmektedir. Işık spektrumu 3 nanometreden 300 mikrometre(μm) dalga boyuna sahip fotonları içerirken, mimari cam uygulamalarında spektrumun en yoğun ve yaygın çalışılan kısımları, insan gözü için görünür kabul edilen 400 ila 700 nm arası ve buna yakın bölgelerdir.

Işığın farklı ortamlarda geçişi esnasındaki davranışını kontrol etmek için optik ince filmlerden faydalanılmaktadır. Optik ince filmler sayesinde ışığın soğurulması, yansımaları ve yüzeyden geçmesi kontrol edilebilir. Işığın davranışında en temel iki değişken malzemenin yasak enerji aralığı ve kırılma indisidir. Dalga boyu düşük ışınların enerjisi, dalga boyu yüksek ışınlarla kıyasla daha yüksektir. Enerjisi, yüzeyine düştüğü malzemenin yasak enerji aralığından daha yüksek olan ışınlar, değerlik bandındaki elektronların iletim bandına taşınmasını sağlar ve bu esnada ışın malzeme tarafından soğurulur [17]. Yeter şart olmamakla birlikte, malzemenin 400-700 nm arasında yüksek geçirgenliğe sahip olmasındaki ön şartlardan bir tanesi, malzemenin yasak enerji aralığının 3,1-3,2 elektron volt (eV)'tan yüksek olmasıdır.

2.3.1. Yasak enerji aralığı

Katı malzemelerde elektronlar sadece belirli enerji bant seviyelerinde bulunabilirler. Bazı safsızlıklar ve kusurlar dışında elektronların bulunmasının mümkün olmadığı aralık, yasak enerji aralığı olarak adlandırılır. Yasak enerji aralığının altında kalan bant valans veya değerlik bandı; üstünde kalan bant ise iletim bandı olarak adlandırılır. Sıcaklığın mutlak sıfır olduğu noktada ($T=0$ K) değerlik bandı tamamen elektronlarla doludur ve bu elektronların iletme bir katkısı yoktur. Bu elektronların, dışarıdan gelen bir enerji ile yasak enerji aralığını aşmaları sağlanırsa iletim bandına geçerler ve iletme katkı sağlarlar [18,19].

Malzemeleri iletkenlik açısından iletken, yarı iletken ve yalıtkan olarak üç sınıfa ayırmak mümkündür. İletken malzemeler metallere oluşur ve metallere değerlik bandı ile iletim bandı çakışıktır. Bu iki bant arasında yasak enerji aralığı olmadığı için dışarıdan etki olmadan da elektronlar iletme katılırlar. Yarıiletken malzemelerde ise yasak enerji aralığı yaklaşık 3 eV dolaylarındadır. Yarıiletkenlerde serbest elektronların iletme katkı sağlaması için bir elektrik, sıcaklık veya ışık kaynağı ile elektronlara enerji kazandırılması ve yasak enerji aralığını aşması sağlanmalıdır. Yalıtkan malzemelerin yasak enerji aralığı ise 3,5-6 eV mertebelerinde veyahut bu değerlerden daha da yüksektir [18,19].

Malzemenin yasak enerji aralığı ile malzemenin optik özellikleri arasında doğrudan bir ilişki vardır. Işınlardan malzeme tarafından soğurulmasının temel sebebi gelen fotonların enerjisinin, malzemenin yasak enerji aralığından yüksek olmasıdır. Fotonların değerlik bandındaki elektronları uyarımı ve iletim bandına taşınmasıyla fotonun soğurulması meydana gelir. Malzemenin yasak enerji aralığına karşılık gelen dalga boyundan daha küçük dalga boyuna sahip ışınlar malzeme tarafından soğurulurken, yasak enerji aralığına karşılık gelen dalga boyundan daha büyük dalga boyları için malzeme optik anlamda geçirgendir [20,21]. Bir malzemenin insanlar için görünür kabul edilen 400-700 nm aralığındaki bölgede soğurma yapmaması için yasak enerji aralığının yaklaşık 3,1 eV'tan yüksek olması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan dielektrik malzemeler olan titanyum dioksit (TiO_2) ve silisyum dioksit (SiO_2)'in yasak enerji aralıkları sırasıyla 3,2 ve 8,9 eV dolaylarındadır [22-25].

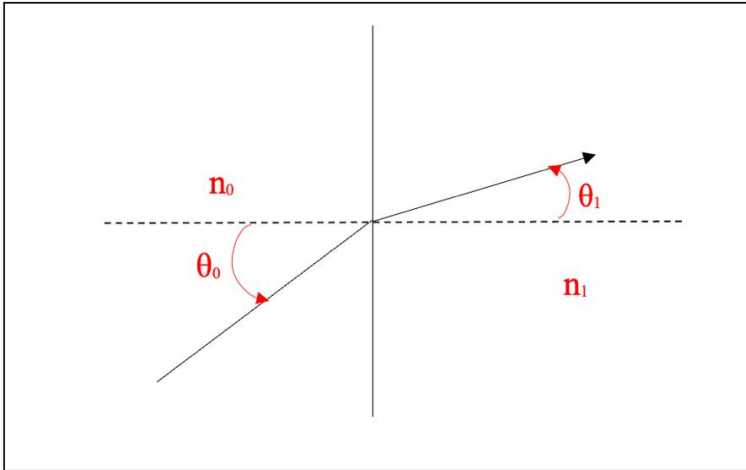
2.3.2. Optik Filtre tasarım kriterleri

Optik filtreler, ışık spektrumunun yoğunluğunu kontrollü bir şekilde değiştirmemizi sağlayan aygıtlar veya malzemelerdir. Optik filtrelerin çalışma prensibi; ışığın soğurulması, kırılması, girişimi ve saçılması gibi çeşitli fiziksel olaylarla açıklanır. İnce film filtreler; yansıtıcı, yansıma önleyici, dar bir bant aralığını geçiren veya yansıtan, belirli bir dalga boyunun altını veya üstünü geçirmeyen (cut-off filtre) filtreler gibi çeşitli şekillerde tasarlanabilirler.

Işığın malzeme yüzeyine çarptıktan sonraki kırılması veya yansıması, ışığın yol aldığı ortamın ve yüzeyine çarptığı malzemenin kırılma indisi ile ilişkilidir. Bir malzemenin kırılma indisi; boşluktaki ışık hızının, ışığın malzeme içindeki yol alma hızına oranı ile hesaplanır ve n ile gösterilir [26].

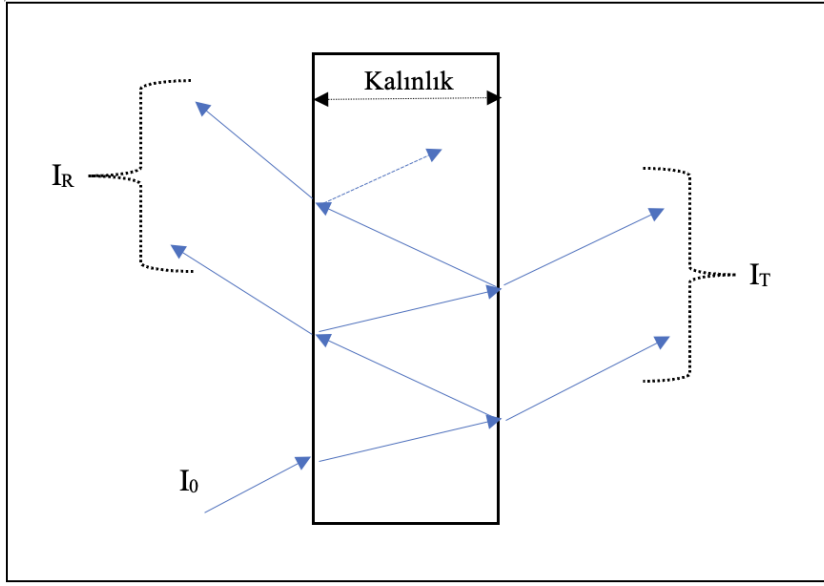
Işığın malzeme yüzeyine düştükten sonraki davranışını Snell Yasası ile açıklamak mümkündür [26]. Snell yasasına göre;

$$n_0 \cdot \sin \theta_0 = n_1 \cdot \sin \theta_1 \quad (2.1)$$



Şekil 2.2. Snell yasasına göre ışığın davranışının gösterimi [26]

Optik filtrelerin niteliği, filtrenin rengi ile değerlendirilebileceği gibi daha kabul gören yöntem ise filtrenin geçirgenliği, yansıtıcılığı ve ışığı soğurma kapasitesinin değerlendirilmesidir.



Şekil 2.3. Işığın malzeme yüzeyine düştükten sonraki davranışının gösterimi

I_0 = Gelen Işığın Şiddeti,

I_R = Yansıyan Işığın Şiddeti,

I_T = Geçen Işığın Şiddeti,

T : Film Geçirgenliği,

R : Film Yansıtıcılığı olmak üzere;

$$T = I_T / I_0 \quad (2.2)$$

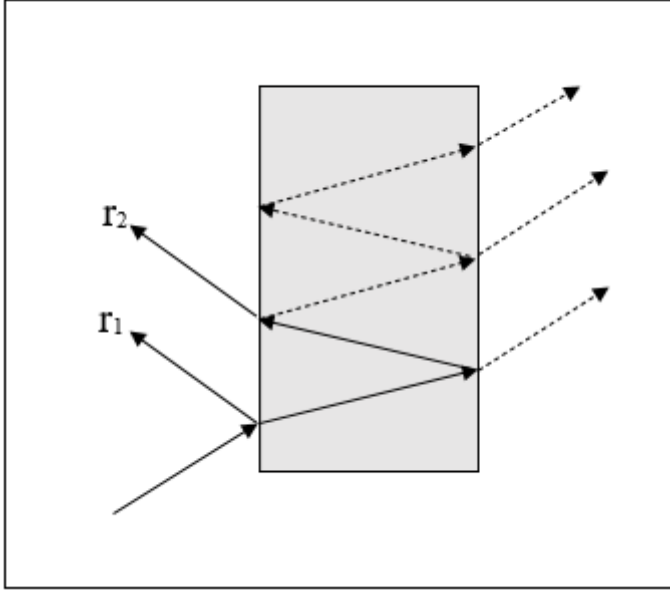
$$R = I_R / I_0 \quad (2.3)$$

n_1 ve n_2 kırılma indisine sahip iki ortamın ara yüzündeki ışığın yansımalarının genliği Fresnel Yansıma Eşitliği ile açıklanır. Yansıma şiddeti (R) ise Fresnel Yansıma Genlik Katsayısı (r) ve onun eşleniğinin (r^*) çarpımı ile elde edilir [26].

Soğurmanın hesaba katılmadığı durumlarda, kırılma indisi n_1 olan ince film ve kırılma indisi n_2 , sönümlenme katsayısı k_2 (eğer soğurma yapıyorsa) olan iki malzemenin oluşturduğu ara yüzdeki Fresnel Yansıma Genlik Katsayısı soğurmanın yok sayıldığı durumlarda Eşitlik 2.4, soğurmanın hesaba katıldığı durumlarda ise Eşitlik 2.5'teki gibi hesaplanır [26]:

$$R = (n_1 - n_2)^2 / (n_1 + n_2)^2 \quad (2.4)$$

$$R = [(n_1 - n_2)^2 + k_2^2] / [(n_1 + n_2)^2 + k_2^2] \quad (2.5)$$



Şekil 2.4. Işının tek katman film üzerinden yansımalarının şematik gösterimi [26].

Toplam yansıma ise aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır.

$$e^{-i\phi} = \cos \phi - i \sin \phi \quad (2.6)$$

$$r = (r_1 + r_2 \cdot e^{-i\phi}) / (1 + r_1 \cdot r_2 \cdot e^{-i\phi}) \quad (2.7)$$

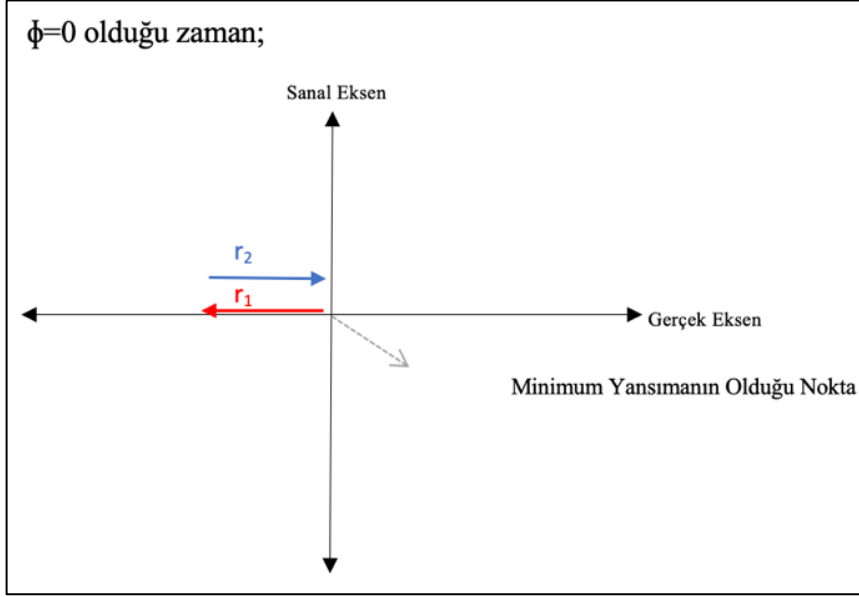
ϕ ; r_1 ve r_2 vektörlerinin faz farkıdır. Bu faz farkı, filmin optik kalınlığından kaynaklanır. Optik kalınlık, filmin fiziksel kalınlığı ile kırılma indisinin çarpımı sonucunda elde edilir [17,26].

n kırılma indisi, d filmin fiziksel kalınlığı, λ ise optik filtre tasarımında yansımanın artmasının veya azalmasının hedeflendiği dalga boyu olmak üzere optik kalınlık ve çeyrek dalga boyu optik kalınlık sırasıyla Eşitlik 2.8 ve Eşitlik 2.9 ile hesaplanır [17,26].

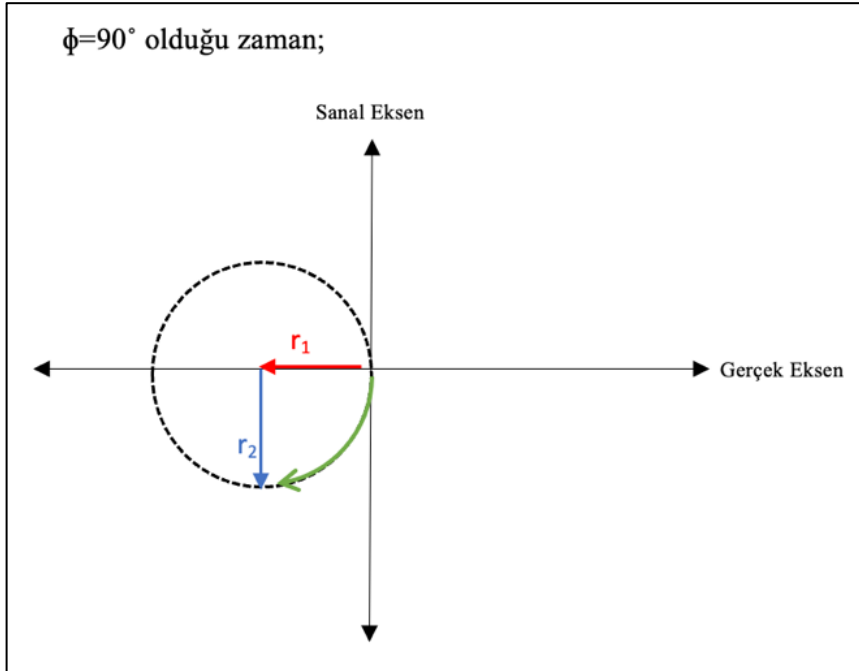
$$\text{Optik kalınlık} = n \cdot d \quad (2.8)$$

$$\text{Çeyrek dalga boyu optik kalınlık (QWOT)} = \frac{\lambda}{(4 \cdot n \cdot d)} \quad (2.9)$$

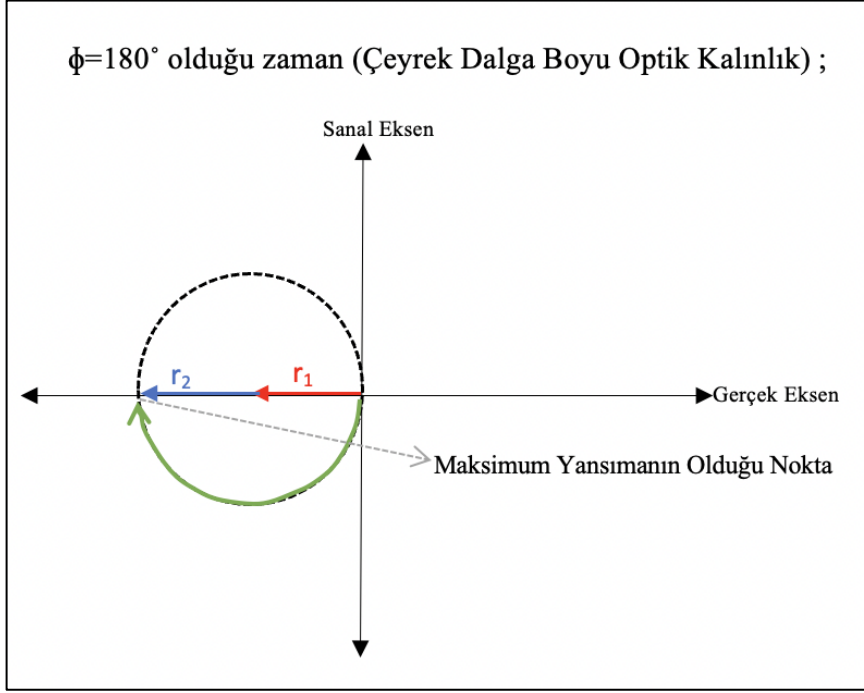
Kırılma indisi, alttaşın kırılma indisinden daha yüksek bir film kaplandığı zaman faz değişimine bağlı olarak yapının yansıtıcılığındaki değişim Şekil 2.5, Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Faz farkı sıfır olduğu zaman yansıma şiddetinin vektörel olarak gösterimi [26]

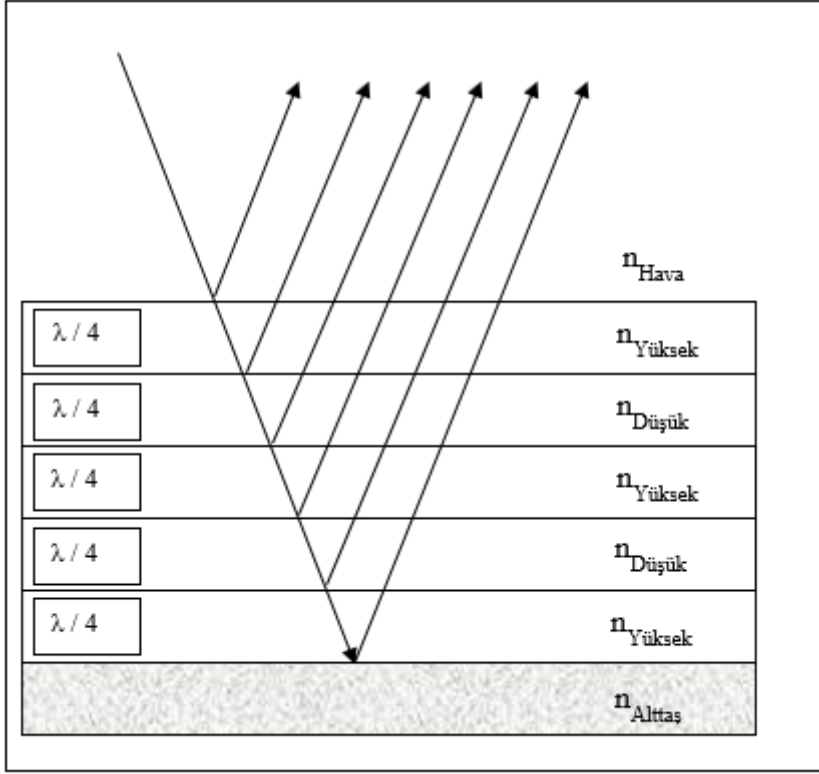


Şekil 2.6. Faz farkı 90° olduğu zaman yansıma şiddetinin vektörel olarak gösterimi [26]



Şekil 2.7. Faz farkı 180° olduğu zaman yansıma şiddetinin vektörel olarak gösterimi [26]

Film, çeyrek dalga boyu optik kalınlığında iken, yansıma maksimum veya minimum seviyesine ulaşır. Filtre tasarımında, hedef dalga boyunda filmin yansıtıcı veya yansıma önleyici olarak davranışını, filmin kırılma indisinin alttaşa göre büyük ya da küçük olması belirler. Filmin kırılma indisi alttaşın kırılma indisinden büyükse ($n_f > n_s$) film kaplı yapı, kaplanmamış haline göre yansıtıcılığı artıracaktır; filmin kırılma indisi alttaşın kırılma indisinden küçük ise ($n_f < n_s$) film kaplı yapı, kaplanmamış haline kıyasla yansımayı azaltacaktır [17].



Şekil 2.8. Çok katmanlı yansıtıcı optik filtre yapısı

Filmin kırılma indisi; alttaşın kırılma indisi ve bulunduğu ortamın kırılma indisinin geometrik ortalamasına eşit olduğu zaman yansımaya %100 veya %0 olur filtre tasarımına göre [17].

$$n_f = \sqrt{(n_0 \cdot n_s)} \quad (2.10)$$

Soğurmanın olmadığı ve filmin homojen kaplı olduğu yüzeylerde, filmin optik kalınlığı çeyrek dalga boyunun iki katı olduğunda, yarım dalga boyu iken, bu katman ışığın geçişinde herhangi bir etkiye sahip değildir. Yarım dalga boyu optik kalınlığındaki film ile film kaplanmamış alttaşın yansımaya değerlerini birbirine eşit olacaktır [17].

3. İNCE FİLM KAPLAMA VE KARAKTERİZASYON TEKNİKLERİ

3.1. İnce Film Kaplama Teknolojileri

İnce filmler malzemenin kaplı olduğu alttaştan farklı davranış göstermesi amacıyla; malzemenin elektriksel, optik ve mekanik vb. özelliklerini geliştirmek için nanometreden mikrometre mertebesine kadar farklı kalınlıklarda kaplanabilen yapılardır. İnce film kaplamak için çeşitli kaplama teknolojilerinden yararlanmak mümkündür. Kaplama yöntemlerini uygulanabilirlik açısından ve hedeflenen filmin fiziksel ve kimyasal özellikleri göz önünde bulundurularak bir değerlendirme yapıldığı zaman, bu yöntemlerin birbirlerine göre birtakım avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Kimi yöntemlerle çok sermaye gereksinimi olmadan ince film kaplama sistemi oluşturmak mümkün iken kimi sistemlerde yüksek altyapı ve işletim sermayesine ihtiyaç duyulmaktadır. İhtiyaç duyulan filmin seri üretime uygunluğu, filmin kalınlık hassasiyetindeki tolerans, yapı içerisindeki kirliliklere karşı kabul edilebilecek tolerans sınırı, ince film kaplanacak alanın genişliği, kaplanacak malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi çeşitli etkenler göz önünde bulundurularak en uygun yöntem seçilmektedir. Atmosfer ortamında ve vakum ortamında kaplamanın mümkün olduğu bu teknolojilerde; optik ince filmler daha çok vakum ortamında kaplanmaktadır. Vakum ortamındaki kaplama teknolojilerini de fiziksel ve kimyasal yöntemler olarak iki ana başlıkta incelemek mümkündür. Kimyasal buhar biriktirme yönteminde hedef malzeme birtakım kimyasal tepkimeler sonucunda malzemenin ayrışması veyahut yeni moleküllerin oluşması ve alttaş üzerine birikmesi prensibine dayanır. Fiziksel buhar biriktirme yöntemleri ise hedef malzemenin yüksek sıcaklıklara çıkarılarak buharlaşması ve alttaş üzerinde birikmesi ya da yüksek enerjili iyonların hedef malzemeye bombardıman etmesiyle hedef malzeme yüzeyinden atom ve moleküllerin saçtırılıp alttaş üzerinde birikmesi prensibine dayanır.

3.1.1. Sıçratma tekniği

Bu tez çalışmasında optik ince filmleri kaplamak için fiziksel buhar biriktirme yöntemlerinden olan sıçratma(sputtering) tekniği kullanılmıştır. Sıçratma yöntemi ince film kaplama yöntemlerinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin seri üretime uygunluğu, tekrarlanabilirliğinin yüksek olması, proses parametrelerinin kolay kontrol edilebilir olması bu yöntemi öne çıkaran başlıca avantajlardır.

Sıçratma yöntemi, yüksek enerjiye sahip parçacıkların momentum transferi ile hedef malzemenin yüzeyinden saçılarak alttaş yüzeyinde birikmesinin sağlandığı bir yöntemdir. Yüksek enerjiye sahip iyonların hedef malzemeyi bombardımanı ile mekanik olarak yüzeyden koparması sağlanır. Sistem içerisinde soğutma suyunun dolaştırılması hedef malzemenin çok yüksek sıcaklıklara çıkmasını ve buharlaşmasını önler. Sıçratma tekniğinde parçacıklar hedef malzemenin termal bir prosesten veya kimyasal bir tepkimeden ziyade mekanik olarak, momentum transferi ile kopartılır. Vakum altında gerçekleştirilen bu yöntemde, sistem vakuma alındıktan sonra ortam bir soy gaz ile doldurulur ve hedef malzeme yüzeyinin bombardımanı bu soy gaz ile gerçekleştirilir. Soy gaz olarak yaygın bir şekilde Argon (Ar) gazı kullanılmaktadır. Argon gazının diğer moleküllerle tepkimeye girmemesi ve ağır bir gaz olmasından dolayı yüksek momentuma sahip olması Argon gazının neden yaygın bir şekilde sıçratma sistemlerinde kullanıldığının yanıtıdır [17].

Sıçratma proseslerinde, proses esnasındaki gaz basıncı, bir diğer fiziksel buhar biriktirme yöntemi olan termal buharlaştırmaya kıyasla daha yüksektir ($\sim 10^{-3}$ mbar vs. $\sim 10^{-6}$ mbar). Bu sebepten dolayı sıçratma proseslerinde parçacıkların ortalama serbest yolu daha kısadır. Ayrıca bu yöntemde atom ve moleküller momentum transferi ile alttaş yüzeyinde biriktikleri için, alttaş yüzeyine ulaşana dek çarpışmalarla enerjilerini çok fazla yitirmemeleri gerekmektedir. Bu sebeplerden dolayı sıçratma yönteminde hedef malzeme ile alttaş arasındaki mesafe mümkün olduğunca yakın tutulmalıdır [17].

Sıçratma yönteminde, hedef malzemenin katot, alttaşın ise anot olarak davranması sağlanarak bu iki elektrot arasında bir gerilim uygulanır. Bu gerilim sayesinde hedef malzeme yakınındaki serbest elektronlar Ar atomları ile çarpışarak Ar atomlarının pozitif iyonlaşması sağlanır. Pozitif yüklü Ar iyonları ile serbest elektronlar plazma ortamını oluştururlar. Bu yöntem gerilim uygulamak için kullanılan güç kaynağının tipine göre doğru akım (DC) ve radyo frekansı (RF) sıçratma yöntemi olarak ikiye ayrılır. DC sıçratma yönteminde plazma ortamı ve Ar atomlarının iyonlaşması, hedef malzeme ile alttaş arasında DC güç kaynağı kullanılarak gerilim yaratılmasıyla sağlanır. DC sıçratma yöntemi sadece iletken hedef malzemelerde kullanılan bir yöntemdir. Hedef malzemenin iletken olması, Ar bombardımanı esnasında Ar iyonlarının hedef malzeme yüzeyinin pozitif yüklerle yüklenmesine engel olur; şayet DC güç kaynağı kullanılarak iletken olmayan bir hedef malzeme kullanılırsa Ar iyonları hedef malzemenin yüzeyini pozitif olarak yükler ve plazma oluşumunu engeller. RF sıçratma yöntemi ile iletken, yarıiletken ve yalıtkan ince filmleri

kaplamak mümkündür. Bu yöntemde radyo frekansında gerilimin değişmesiyle hedef malzeme ve alttaşın polariteleri değişir. Bu sayede hedef malzemenin pozitif yükle yüklenmesi engellenir ve ortamdaki plazma korunur [17,27].

Reaktif sıçratma işlemi, hedef malzeme ile sistem içerisindeki gazın tepkimeye girmesi ile hedef malzemedan farklı kompozisyonda bir ince film elde etmeyi mümkün kılar. Örneğin alüminyum, titanyum, silisyum gibi metal bir hedef malzemesi, oksijen içeren bir ortamda saçtırılmasıyla Al_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 gibi metal oksit yapılar veyahut alüminyum, silisyum gibi metal hedef malzemelerin azot içeren ortamda saçtırılmasıyla AlN ve Si_3N_4 gibi nitrürlü yapıları elde etmek mümkündür.

Magnetron sıçratma yönteminde ise katodun arkasına mıknatıs yerleştirilmesiyle bir manyetik alan oluşturulur. Mıknatıs sayesinde oluşturulan bu manyetik alan plazma içerisindeki serbest elektronların tuzaklanmasını ve hedef malzemeye yakın bölgede tutulmasını sağlar. Serbest elektronlar, argon iyonlarına ve hedef malzemedan sıçratılan atomlara kıyasla daha hafif oldukları için zayıf bir manyetik alan, bu elektronları kontrol etmek için yeterlidir. Manyetik alanın zayıf olması sayesinde argon iyonlarının ve hedef malzemedan saçtırılan yüklü atomların hareket doğrultusu çok fazla etkilenmez. Serbest elektronlar hedef malzemeye yakın bölgede hapsedildiği için alttaşa bombardıman etmeleri ve haliyle alttaşın ısınması önlenir. Ayrıca magnetron sıçratma yöntemindeki bir diğer fayda, elektronların hedef malzemeye yakın bölgede hapsedilmesini sağlayarak argon atomları ile daha çok çarpışması sağlanır ve bu da plazma yoğunluğunu artırır. Böylece plazma ortamını korumak için daha düşük gaz basıncına ihtiyaç duyulur. Plazma ortamındaki daha düşük gaz basıncı, hedef malzemedan sıçratılan atomların ve ortamdaki gazın kendi aralarında daha az çarpışması anlamına gelmektedir. Bu sayede de kaplama hızının artması sağlanır [17].

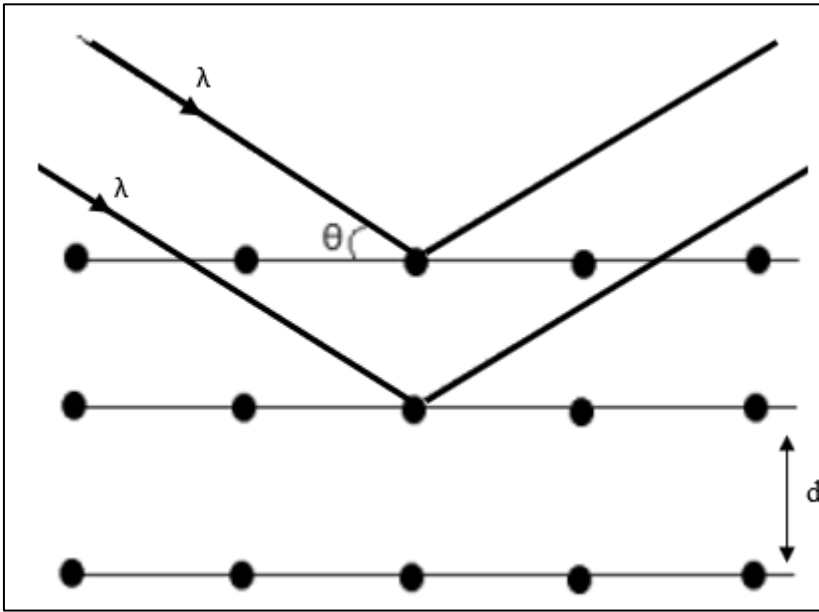
Bu tez çalışmasındaki numuneler BesTec Sıçratma Sistemi kullanılarak RF Magnetron Sıçratma Tekniği ile üretilmiştir.

3.2. İnce Film Karakterizasyon Teknikleri

3.2.1. X-Işını Kırınımı tekniği (XRD Tekniği)

X-Işını Kırınımı Tekniği, numuneye hasar vermeden, numune hakkında birçok fikir verdiği için malzeme biliminde sıklıkla kullanılan bir yapısal karakterizasyon tekniğidir. X-Işını Kırınımı Tekniği ile malzemenin kristal yapısını, kristalin ortalama boyutunu, yapı içerisindeki kalıntı gerilmeleri ve yapıdaki fazları tayin etmek mümkündür.

X-Işınları ortalama 0.5 ila 50 Angstrom dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalardır. X-Işınları, kristal yapısına nüfuz ettikleri zaman örgü ile etkileşime girerler ve Bragg Kanuna göre kırınımına uğrarlar. X-Işını kırınımının şematik gösterimi Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1. X-ışını kırınımının şematik gösterimi

Kristal yapılarda atomlar ve moleküller birbirini periyodik olarak tekrarlayan bir geometriye sahiptirler. Kırınımına uğrayan X-Işınının açısı kristalin şekline ve boyutuna bağlıdır. Böylece bu teknikte kırınımına uğrayan X-Işınının açısı hesaplanarak yapı hakkında çeşitli bilgileri elde etmek mümkündür. Bragg Kanunu Eşitlik 3.1'de gösterilmiştir [28].

$$2 \cdot d \cdot \sin \theta = n \cdot \lambda \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1’de, d düzlemler arasındaki mesafe, θ X-Işınının gelme açısı, λ ise gelen X-Işınının dalga boyudur.

Farklı düzlemlerden saçılan X-Işınları arasında bir faz farkı oluşur. Kırınımına uğrayan X-Işınları arasındaki faz farkı, gelen X-Işınının dalga boyunun katlarına eşit olduğu zaman yapıcı girişim meydana gelir ve pikler oluşur [28].

Bu tez çalışmasındaki XRD ölçümleri Şişecam Bilim, Teknoloji ve Teknoloji Merkezinde bulunan Malvern Panalytical Empyrean cihazı ile yapılmıştır.

3.2.2. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)

Atomik kuvvet mikroskobu numune yüzeyini tarayarak yüzey topografisi hakkında bilgi veren bir tarama mikroskobudur. Atomik kuvvet mikroskobunda yüzeyi taramak için ince bir iğneden faydalanılır ve bu iğne cantilever adı verilen çok küçük bir yay düzeneğine bağlıdır. İğne numune yüzeyine yaklaştırıldığında ve tarama işlemi başladığı zaman iğne ile numune yüzeyi arasında etkileşim gerçekleşir. Atomlar arası etkileşimler sonucunda cantileverda bir sapma meydana gelir. Bu sapma iğne ile numune yüzeyi arasındaki mesafe değiştikçe değişir. Lazer ışını ve lazer ışınındaki değişimleri algılayacak foto diyot kullanılarak cantileverdaki sapma tespit edilir. Atomik kuvvet mikroskobundan faydalanılarak malzemenin yüzey morfolojisini, yüzey pürüzlülüğünü ve tanecik boyutunu belirlemek mümkündür.

Bu tez çalışmasındaki AFM ölçümleri, Şişecam Bilim, Teknoloji ve Tasarım Merkezinde bulunan Veeco Bruker Dimension AFM sistemi ile alınmıştır.

3.2.3. UV-VIS Spektrometresi

UV-Vis spektrometresinde; spektrumun mor ötesi, görünür bölge ve yakın kızılötesi bölgesindeki fotonların numune ile etkileşimi incelenir. Fotonlar numuneye gönderildikten sonra fotonların bir kısmı numune yüzeyinden yansırken, bir kısmı numune tarafından soğurulur, bir kısmı ise numune yüzeyinden geçerek detektöre ulaşır.

Bu tez çalışmasında numunelerin 280 ile 2500 nm arasındaki geçirgenlik ve yansıtıcılık eğrileri Şişecam Bilim, Teknoloji ve Tasarım Merkezinde bulunan Perkin-Elmer UV-Vis-NIR Spectrometer Lambda 1050 sistemi kullanılarak elde edilmiştir.

3.2.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu, yapı hakkında mikrometre ve nanometre mertebesinde bilgiler veren yüzey görüntüleme tekniğidir. Taramalı elektron mikroskobunda, incelenecek numuneye elektron demeti gönderilir ve gönderilen elektron demetinin numune yüzeyi ile etkileşime girmesi sonucunda saçılan elektronlar bir detektör vasıtasıyla toplanır ve analiz edilir. Numuneye gönderilen elektronlar birincil elektronlar olarak adlandırılırken, etkileşim sonucunda oluşan elektronlar ikincil ve geri saçılan elektronlar olarak adlandırılır. Elastik olmayan saçılmalar sonucunda oluşan ikincil elektronların enerjileri 50 eV'tan düşüktür, elastik saçılmalar sonucunda oluşan geri saçılan elektronların enerjisi 50 eV'tan yüksektir [29]. İkincil elektronlardan daha çok yüzey görüntüsü elde etme, tanecik boyutu ve yüzey kusurlarının tayininde faydalanılırken, geri saçılan elektronlardan malzemenin kimyasal kompozisyonu hakkında fikir sahibi olunur. Detektöre ulaşan geri saçılan elektronlarla elde edilen görüntüde, atomik kütlesi farklı olan elementler arasında bir kontrast oluşur. Atomik kütlesi daha yüksek olan elementler daha parlak görünmektedir.

Ayrıca taramalı elektron mikroskobuna, enerji dağılım spektroskopisi sisteminin entegre edilmesiyle yüzeyin element olarak analizi de yapılabilir. Birincil elektronlar numune yüzeyine çarptıktan sonra ikincil elektronlar ve geri saçılan elektronlarla beraber X-Işınları da saçılır. Saçılan bu X-Işınlının enerjilerinin analizi yapılarak, yüzeyde bulunan elementleri ve elementlerin yüzdeliklerini belirlemek mümkündür.

Bu tez çalışmasında filmlerin SEM görüntülerini elde etmek için Şişecam Bilim, Teknoloji ve Tasarım Merkezinde bulunan Hitachi-SU 8220 FEG-SEM sistemi kullanılmıştır.

3.2.5. X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS)

X-Işını fotoelektron spektroskopisi numunenin elementel analizini yapmamızı mümkün kılan bir diğer hasarsız karakterizasyon yöntemidir. Bu yöntemde numune yüzeyine X-ışını gönderilir ve fotonun enerjisiyle atom çekirdeğinden elektron koparılması sağlanır. Kopan

elektronların kinetik enerjileri değerlendirilerek elektronun bağlanma enerjileri tespit edilir. Her elementin bağlanma enerjisi birbirinden farklı olduğu için, bağlanma enerjisinin tespiti ile malzemenin hangi elementi ihtiva ettiğini söylemek mümkündür.

XPS ölçümlerinde elektronların kinetik enerjileri değerlendirilerek analiz yapıldığı için analizin yüksek vakum ortamında gerçekleşmesi gerekmektedir. Böylece atom çekirdeğinden saçılan elektronların ortamdaki partiküller çarpışması önlenir ve elektronların enerjilerini yitirmeden detektöre ulaşması sağlanır[30].

X-ışınlarının numune derinliklerine nüfuz etmesi mümkün iken, elektronların atom çekirdeğinden uyarılıp detektöre ulaşması için aşabileceği derinlik yaklaşık 5 nm ile sınırlıdır. Bu yüzden XPS ölçümleriyle, numune yüzeyinden yaklaşık 5 nm derinliğe kadar numune hakkında bilgi alınabilir[31].

Bu tez çalışmasındaki XPS ölçümleri Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan Omicron markalı XPS sistemi ile alınmıştır.

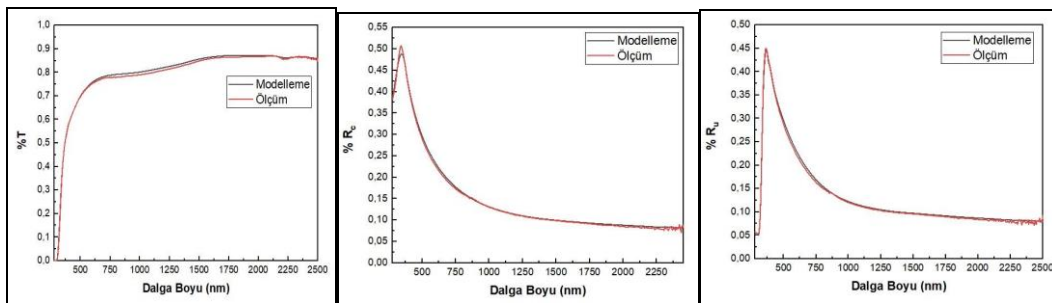
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında alttaş olarak soda-kireç camı (SLG) kullanılmıştır. 2,2 milimetre (mm) kalınlığında, 5x5 cm ölçülerindeki SLG alttaşlar önce sabun ile temizlenmiştir. Sabun ile temizlenen alttaş deiyonize su ile durulanmış, sonrasında ise ultrasonik banyoda aseton ve alkol ile bir temizlik aşaması daha uygulanmıştır. Temizlik prosedürünün son adımında ise yüksek saflıktaki azot gazı kullanılarak alttaş kurutulmuştur ve kaplamalara hazır hale getirilmiştir.

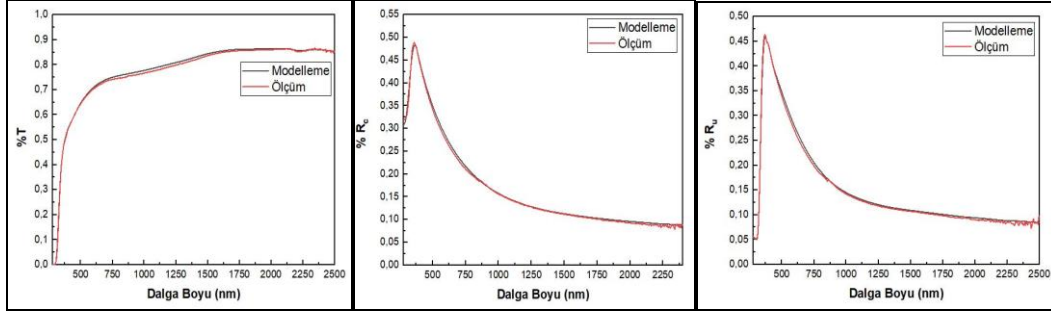
Temizlik aşaması tamamlandıktan sonra soda-kireç camı (SLG) üzerine tek katman TiO_2 ve SiO_2 filmlerin kaplanarak deneysel çalışmalar başlamıştır. Farklı basınçlarda kaplanan TiO_2 ve SiO_2 filmlerin geçirgenlik ve yansıtıcılık ölçümleri alındıktan sonra CODE 5 optik tasarım programından faydalanılarak filmlerin kırılma indisleri tespit edilmiştir.

4.1. TiO_2 İnce Film Kaplamaları

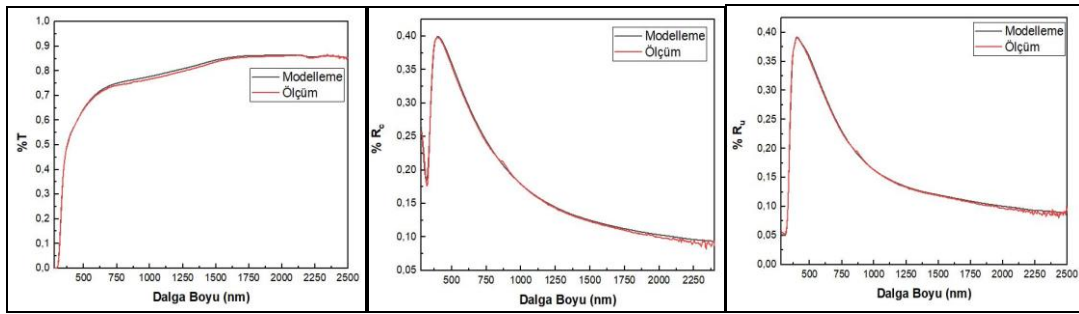
4 inç çaplı TiO_2 hedef malzemesine 150 Watt(W) sıçratma gücünün uygulanarak; 5 sccm, 15 sccm ve 25 sccm Ar gaz akışı altında üç farklı numune kaplanmıştır. UV-Visible Spektrometre kullanılarak bu numunelerin 280-2500 nm dalga boyları arasında geçirgenlik; ayrıca film kaplı taraftan ve film kaplı olmayan taraftan yansıma ölçümleri alınmıştır. Bu ölçüm sonuçları CODE 5 optik tasarım programına yüklenmiştir. Optik Tasarım Programında elde edilen eğriler, spektrometre ölçümünden elde edilen eğrilerle eşlenecek şekilde modellenmiştir. Modelleme sonucunda, gaz akışındaki değişikliklerin kırılma indisi üzerindeki etkisi gözlenmiştir. Tek katman TiO_2 filmlerin spektrometre ölçüm sonuçları ve modelleme sonuçları Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.1. 5 sccm gaz akışı altında kaplanan TiO_2 filmin UV-Visible spektrometre ve CODE 5 modelleme sonuçları



Şekil 4.2. 15 sccm gaz akışı altında kaplanan TiO₂ filmin UV-Visible spektrometre ve CODE 5 modelleme sonuçları



Şekil 4.3. 25 sccm gaz akışı altında kaplanan TiO₂ filmin UV-Visible spektrometre ve CODE 5 modelleme sonuçları

CODE 5 Optik tasarım programından elde edilen sonuçlara göre filmlerin kırılma indisleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı argon gazı akışlarında kaplanan TiO₂ ince filmlerin kaplama koşulları ve kırılma indisleri

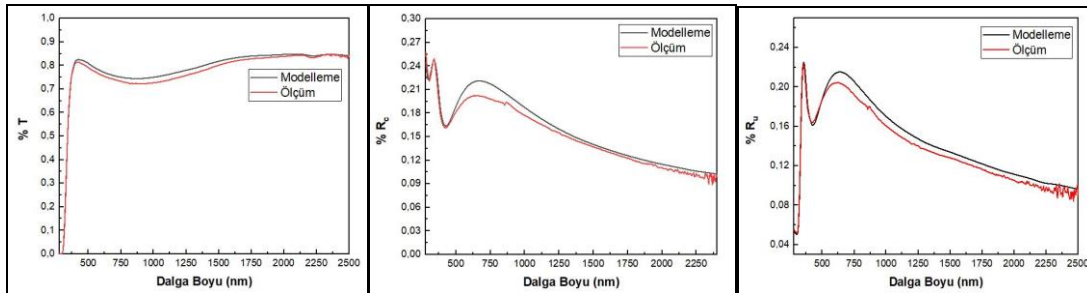
Kaplanan Malzeme	Argon Gaz Akışı	RF Sıçratma Gücü	Film Kalınlığı	360 nm’de Kırılma İndisi	550 nm’de Kırılma İndisi
TiO ₂	5 sccm	150 W	35 nm	2.95	2.43
TiO ₂	15 sccm	150 W	35 nm	2.99	2.50
TiO ₂	25 sccm	150 W	35 nm	2.86	2.38

Bu çalışmada TiO₂ yüksek kırılma indisli bir metal oksit olarak kullanıldığı için ve kırılma indisinin yüksek olması istenen bir durum olduğu için 15 sccm gaz akışı altında kaplanan numune en uygun tercih olarak kabul edilmiştir.

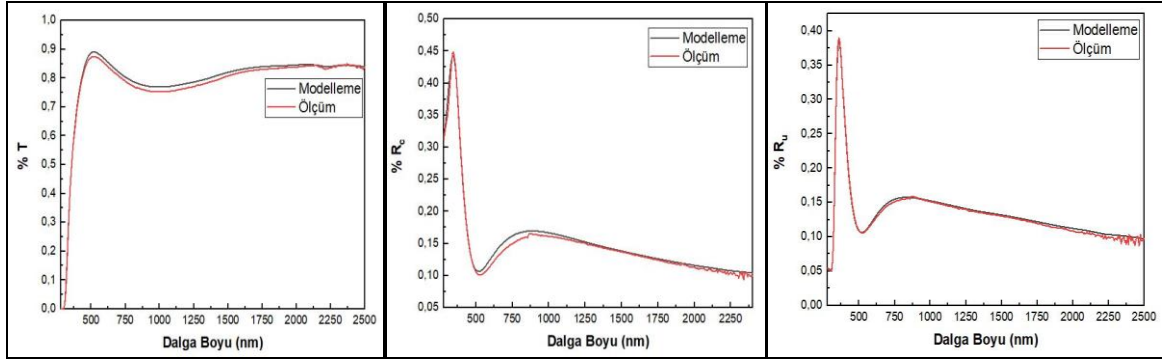
4.2. SiO₂ İnce Film Kaplamaları

Camın kırılma indisi yaklaşık 1.52, SiO₂ ince filmlerin kırılma indisi ise yaklaşık 1.46 olduğu için cam üzerine kaplanan SiO₂ ince filmlerde yapının geçirgenlik ve yansıtıcılık değerleri çok fazla değişmemektedir. Optik tasarım programından daha sağlıklı sonuçlar almak için daha karakteristik geçirgenlik ve yansıtım eğrileri gerekmektedir. Bu nedenle gaz akışındaki değişikliklerin SiO₂'nin kırılma indisi üzerindeki etkisini gözlemlemek için öncelikle cam üzerine eş koşullarda TiO₂ filmler kaplanmıştır. TiO₂ filmlerin üzerine ise 5 sccm, 10 sccm ve 15 sccm gaz akışı altında, 4 çapındaki SiO₂ hedef malzemesine 100 W güç uygulayarak SiO₂ filmler elde edilmiştir. Böylece kırılma indisi birbirine yakın olan cam ve SiO₂ arasına TiO₂ film kaplanarak, SiO₂ filmlerden daha karakteristik geçirgenlik ve yansıtıcılık eğrileri elde edilmiştir. Cam/TiO₂ yapılarında olduğu gibi, Cam/TiO₂/SiO₂ yapılarının da UV-Visible Spektrometre ölçümleri alınarak CODE 5 Optik Tasarım programına yüklenmiştir. Optik tasarım programında elde edilen eğriler, spektrometre ölçümünden eğrilerle eşlenecek şekilde modellenmiştir.

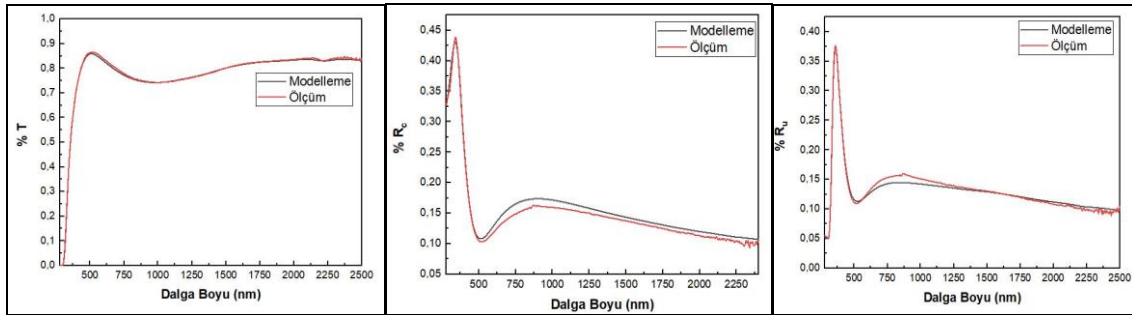
Cam/TiO₂/SiO₂ yapılarının UV-Visible Spektrometre ölçüm sonucunda ve modelleme sonucunda elde edilen geçirgenlik ve yansıtıcılık eğrileri Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Cam/TiO₂ yapısı üzerine 5 sccm gaz akışı altında kaplanan SiO₂ filmin UV-Visible spektrometre ve CODE 5 modelleme sonuçları



Şekil 4.5. Cam/TiO₂ yapısı üzerine 10 sccm gaz akışı altında kaplanan SiO₂ filmin UV-Visible spektrometre ve CODE 5 modelleme sonuçları



Şekil 4.6. Cam/TiO₂ yapısı üzerine 15 sccm gaz akışı altında kaplanan SiO₂ filmin UV-Visible spektrometre ve CODE 5 modelleme sonuçları

Simülasyon sonuçlarından faydalanılarak, gaz akışındaki değişikliklerin SiO₂ ince filmlerin kırılma indisi üzerindeki etkisi incelenmiştir. CODE 5 Optik tasarım programından elde edilen sonuçlara göre SiO₂ ince filmlerin kırılma indisleri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Farklı argon gazı akışlarında kaplanan SiO₂ ince filmlerin kaplama koşulları ve kırılma indisleri

	Argon Gaz Akışı	RF Sıçratma Gücü	Film Kalınlığı	360 nm’de Kırılma İndisi	550 nm’de Kırılma İndisi
SiO ₂	5	100 W	90 nm	1.50	1.46
SiO ₂	10	100 W	90 nm	1.49	1.48
SiO ₂	15	100 W	90 nm	1.47	1.46

Bu tez çalışmasında SiO₂ kırılma indisi düşük bir metal oksit olarak kullanıldığı için ve kırılma indisinin düşük olması istenen bir durum olduğu için 15 sccm gaz akışı altında kaplanan SiO₂ filmlerin en uygun tercih olacağı kabul edilmiştir.

4.3. UV Bölgede Yansıtıcılığı Yüksek Çok Katmanlı Yapıların Geliştirilmesi

TiO₂ ve SiO₂ filmler için uygun gaz akışına karar verildikten sonra çok katmanlı yapılar kaplanmaya başlanmıştır. 3, 5 ve 7 katmanlı yapılar elde edilerek katman sayısındaki değişikliğin, yapının geçirgenlik ve yansıtıcılık değerleri üzerindeki etkisi gözlenmiştir. Katman sayısı arttıkça yansıtıcılığın arttığı görülmüştür. Ayrıca film kalınlıkları inceltirilerek yansıtıcılık eğrisinin pozisyonundaki değişimler incelenmiştir. Katman sayısındaki değişikliğin yansıma şiddeti üzerindeki etkisi ve katman kalınlıklarının yansıtıcılık eğrisinin pozisyonu üzerindeki etkisini gözlemek için üç seri numune kaplanmıştır. Üç seri numune içerisinde de 3, 5 ve 7 katmanlı yapılar vardır. Böylece her bir seri içerisindeki numunelerin optik eğrilerini kıyaslayarak katman sayısını değiştirerek yansıma şiddetindeki değişimi; serileri ise birbirleri ile kıyaslayarak katman kalınlıklarındaki değişikliklerin yansıma eğrisinin pozisyonu üzerindeki etkisini gözlemek mümkün olmuştur.

Birinci, ikinci ve üçüncü seri numunelerin film kalınlıkları ve numune kodları sırasıyla Çizelge 4.3, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Birinci seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı yapıların film kalınlıkları ve numune kodları

Numune Kodu	Cam Üzerindeki Yapı	Film Kalınlıkları	Birinci Seri
Y514	TiO ₂	28 nm	
	SiO ₂	70 nm	
	TiO ₂	30 nm	
	Cam		
Y517	TiO ₂	28 nm	
	SiO ₂	68 nm	
	TiO ₂	28 nm	
	SiO ₂	70 nm	
	TiO ₂	30 nm	
	Cam		
Y520	TiO ₂	28 nm	
	SiO ₂	68 nm	
	TiO ₂	28 nm	
	SiO ₂	68 nm	
	TiO ₂	28 nm	
	SiO ₂	70 nm	
	TiO ₂	30 nm	
	Cam		

Çizelge 4.4. İkinci seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı yapıların film kalınlıkları ve numune kodları

Numune Kodu	Cam Üzerindeki Yapı	Film Kalınlıkları	İkinci Seri
Y515	TiO ₂	25 nm	
	SiO ₂	67 nm	
	TiO ₂	27 nm	
	Cam		
Y518	TiO ₂	25nm	
	SiO ₂	65 nm	
	TiO ₂	25 nm	
	SiO ₂	67 nm	
	TiO ₂	27 nm	
	Cam		
Y521	TiO ₂	25 nm	
	SiO ₂	65 nm	
	TiO ₂	25 nm	
	SiO ₂	65 nm	
	TiO ₂	25 nm	
	SiO ₂	67 nm	
	TiO ₂	27 nm	
	Cam		

Çizelge 4.5. Üçüncü seride kaplanan 3,5 ve 7 katmanlı yapıların film kalınlıkları ve numune kodları

Numune Kodu	Cam Üzerindeki Yapı	Film Kalınlıkları	Üçüncü Seri
Y516	TiO ₂	22 nm	
	SiO ₂	64 nm	
	TiO ₂	24 nm	
	Cam		
Y519	TiO ₂	22 nm	
	SiO ₂	62 nm	
	TiO ₂	22 nm	
	SiO ₂	64 nm	
	TiO ₂	24 nm	
	Cam		
Y522	TiO ₂	22 nm	
	SiO ₂	62 nm	
	TiO ₂	22 nm	
	SiO ₂	62 nm	
	TiO ₂	22 nm	
	SiO ₂	64 nm	
	TiO ₂	24 nm	
	Cam		

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

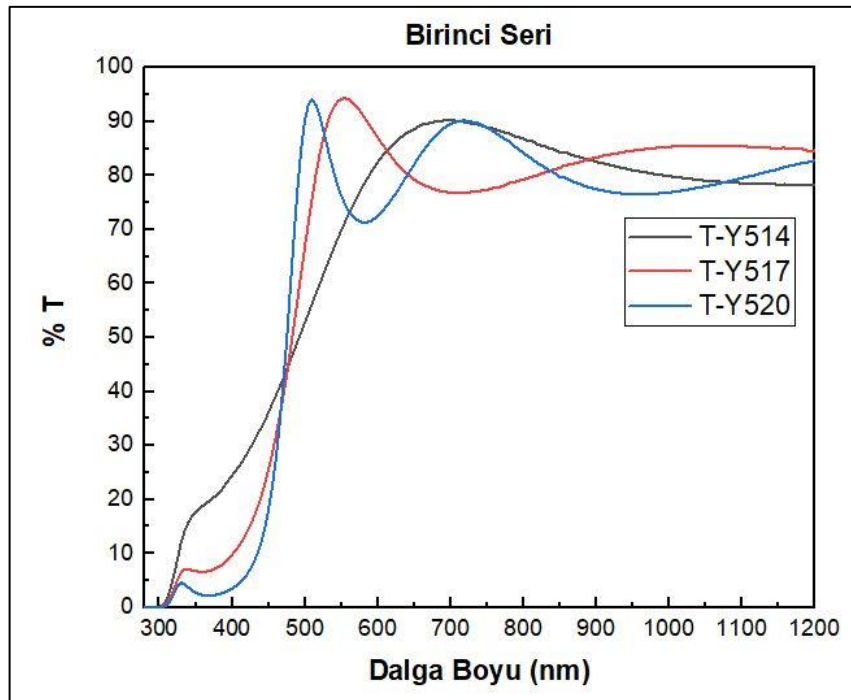
Bu kısımda, üç farklı seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı dokuz adet numune ile bu dokuz numunenin optik analizi sonucunda tasarımına ve geliştirilmesine karar verilen 7 katmanlı onuncu numunenin optik, morfolojik ve yapısal analiz sonuçları paylaşılmıştır.

5.1. Optik Analizler

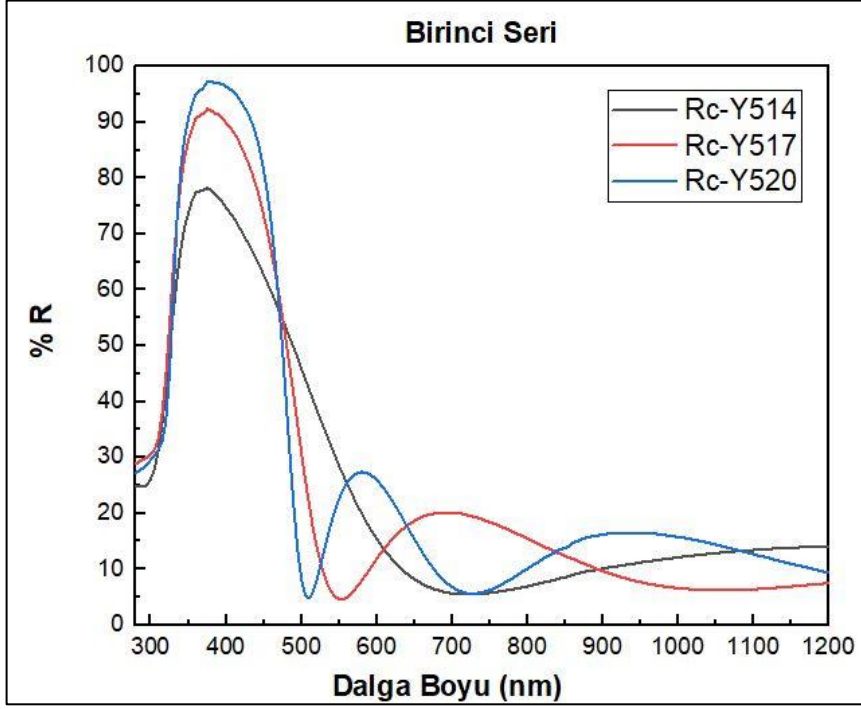
Bu tez çalışmasında optik analiz olarak UV-VIS spektrometre ile yapıların 280-2500 nm arasındaki geçirgenlik ve yansımaya sonuçları incelenmiştir.

Bu tez çalışmasının temel motivasyonu olan UV bölgede yansıtıcılığı, görünür bölgede ise geçirgenliği yüksek fonksiyonel yüzey geliştirme hedefine ne kadar yaklaşıldığını değerlendirmek için UV-VIS spektrometre ile numunelerin geçirgenlik ve yansıtıcılık sonuçları incelenmiştir.

Birinci seride kaplanan numunelerin geçirgenlik ve yansıtıcılık sonuçları sırasıyla Şekil 5.1 ve 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Birinci seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı filmlerin geçirgenlik ölçüm sonuçları



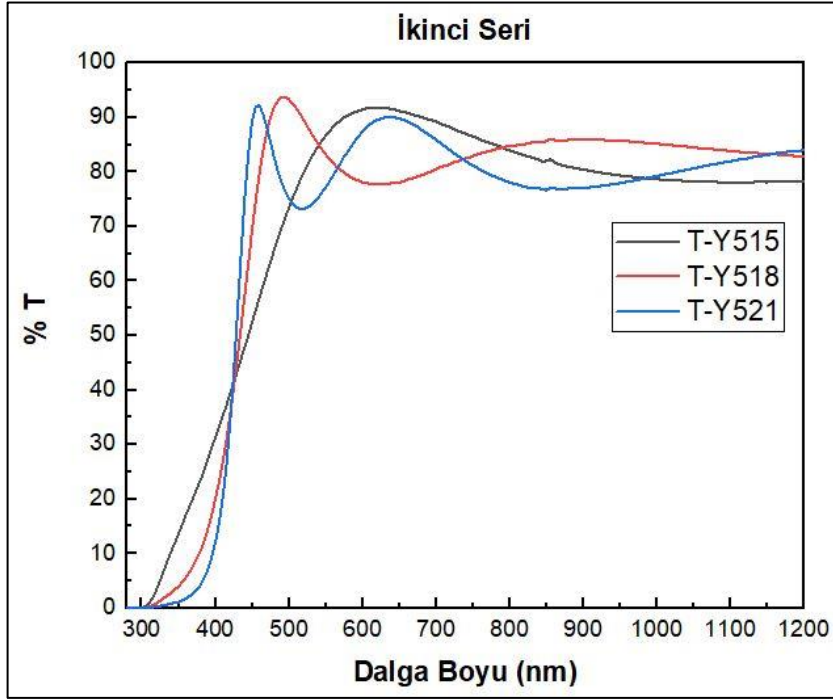
Şekil 5.2. Birinci seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı filmlerin yansıtıcılık ölçüm sonuçları

Çizelge 5.1. Birinci seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı filmlerin optik performansları

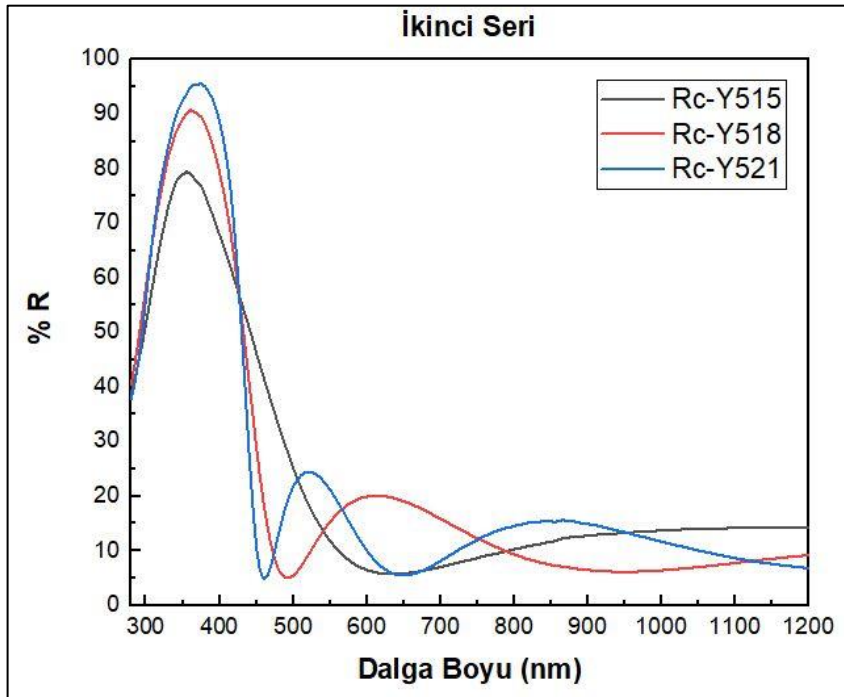
Numune Kodu	Katman Sayısı	Görünür Bölgedeki Geçirgenlik	Yansımının En Yüksek Olduğu Dalga Boyu	Yansımının En Yüksek Olduğu Dalga Boyunda Yansıma Şiddeti
Y514	3	%70.2	375 nm	% 78.2
Y517	5	%85.4	375 nm	% 92.3
Y520	7	%77	380 nm	% 97.3

Optik filtrelerde katman sayısı arttıkça yüksek ve düşük kırılma indisine sahip filmler arasındaki arayüz sayısı da artmaktadır. Arayüz sayısının artmasıyla yapı içerisindeki ışığın yansımalarını kontrol etme kabiliyetinin de iyileştiği görülmektedir. Çizelge 5.1'de görüldüğü üzere 3 katmanlı yapının yansıtıcılığı %78 iken, katman sayısı beşe çıkınca yansıma şiddeti %92'ye, katman sayısı yediye çıkınca ise yansıtıcılık %97'ye yükselmektedir. Birinci serideki üç numunenin de yansıtıcılığının en yüksek olduğu dalga boyu 375-380 nm dolaylarındadır.

İkinci seride kaplanan numunelerin geçirgenlik ve yansıtıcılık sonuçları sırasıyla Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. İkinci seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı filmlerin geçirgenlik ölçüm sonuçları



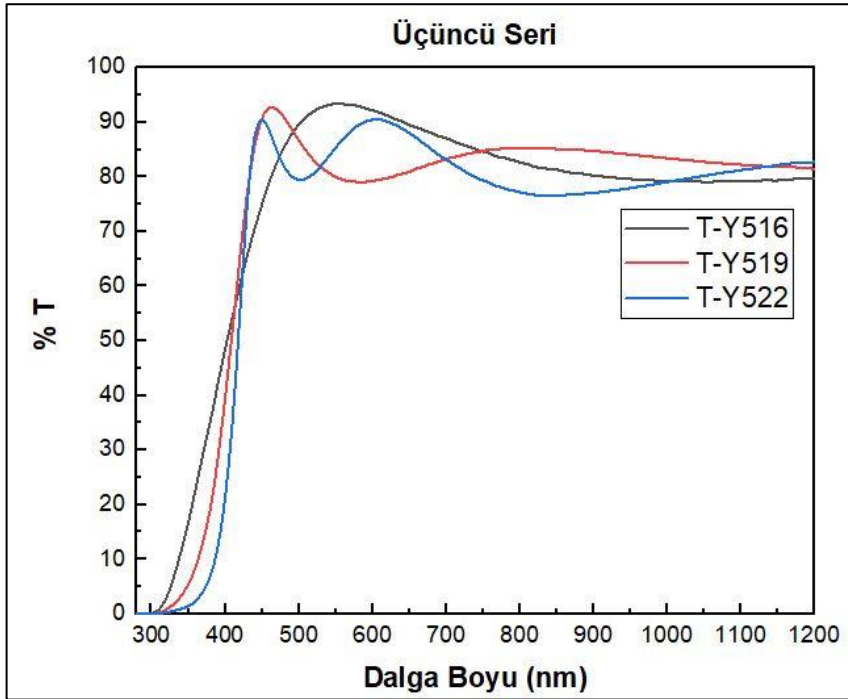
Şekil 5.4. İkinci seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı filmlerin yansıtıcılık ölçüm sonuçları

Çizelge 5.2. İkinci seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı filmlerin optik performansları

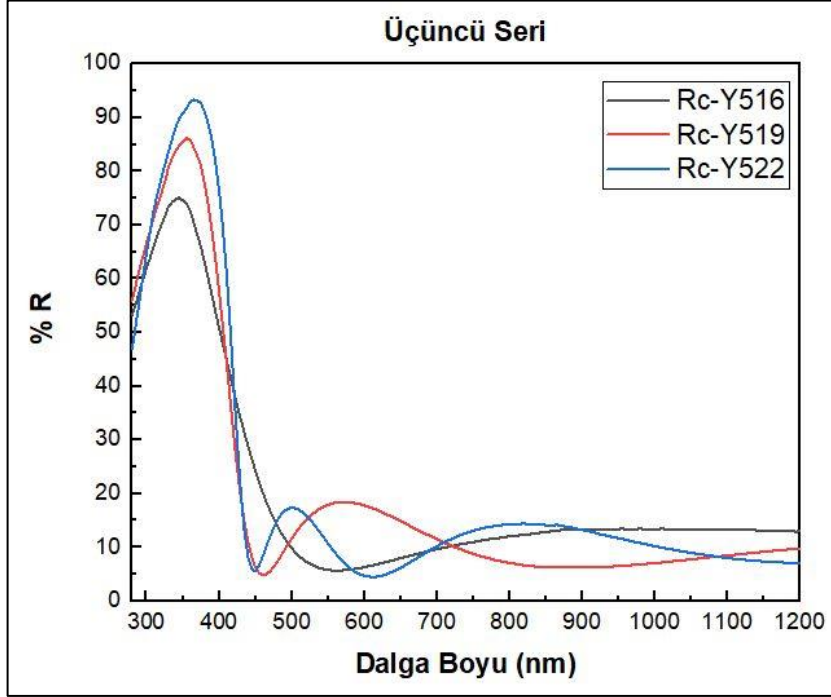
Numune Kodu	Katman Sayısı	Görünür Bölgedeki Geçirgenlik	Yansımanın En Yüksek Olduğu Dalga Boyu	Yansımanın En Yüksek Olduğu Dalga Boyunda Yansıma Şiddeti
Y515	3	%85	355 nm	% 79.4
Y518	5	%83.2	360 nm	% 90.7
Y521	7	%80.2	375 nm	% 95.5

İkinci seride kaplanan numunelerdeki film kalınlıkları birinci numuneye kıyasla daha incedir ve böylece yansımanın en yüksek olduğu dalga boyunun 380 nanometreden 360-370 nm'lere kaydığı görülmektedir. Ayrıca ikinci seri içerisindeki numunelerde film kalınlıklarının incilmesiyle ve yansıma eğrisinin UV bölgeye doğru kaymasıyla beraber, görünür bölgede geçirgenliği daha yüksek yapıları elde edilmiştir.

Üçüncü seride kaplanan numunelerin geçirgenlik ve yansıtıcılık sonuçları sırasıyla Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.5. Üçüncü seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı filmlerin geçirgenlik ölçüm sonuçları



Şekil 5.6. Üçüncü seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı filmlerin yansıtıcılık ölçüm sonuçları

Çizelge 5.3. Üçüncü seride kaplanan 3, 5 ve 7 katmanlı filmlerin optik performansları

Numune Kodu	Katman Sayısı	Görünür Bölgedeki Geçirgenlik	Yansımanın En Yüksek Olduğu Dalga Boyu	Yansımanın En Yüksek Olduğu Dalga Boyunda Yansıma Şiddeti
Y516	3	%91.8	345 nm	% 75
Y519	5	%81.2	355 nm	% 86.1
Y522	7	%85.7	365 nm	% 93.3

Üçüncü serideki numuneler ise üç seri içerisinde film kalınlıkları en ince olan yapılardır ve yansıma eğrisinin tepe noktası ortalama 355 nm'dedir. Filmlerin incelmesiyle beraber görünür bölgede geçirgenliği en yüksek numunelerin üçüncü serideki numuneler olduğu görülmektedir.

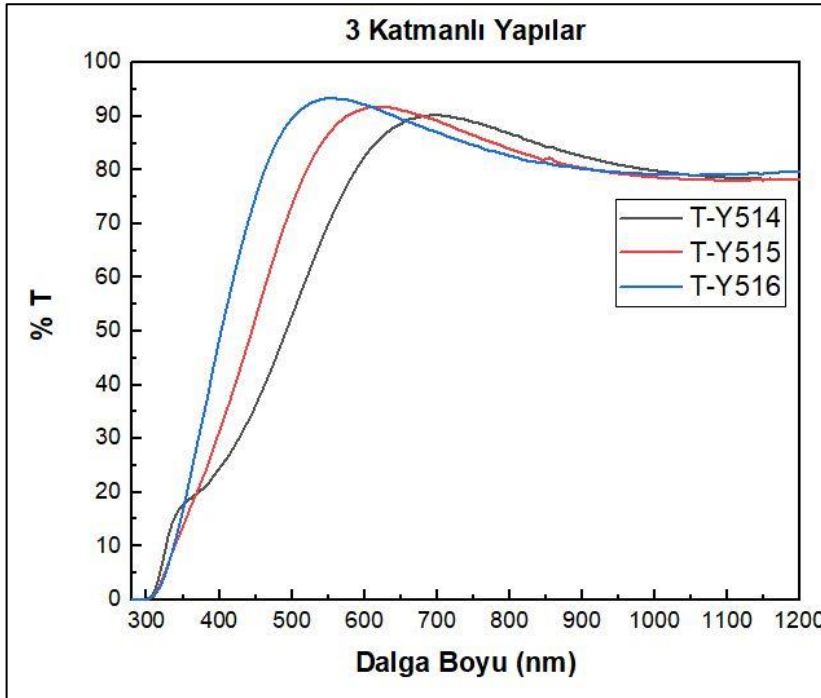
Şekil 5.2, Şekil 5.4 ve Şekil 5.6'da sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü serilerin yansıtıcılık eğrileri gösterilmiştir. Katman kalınlıkları incelidikçe, yansıtıcılık eğrisinin tepesi 380 nm dolaylarından 360 nm dolaylarına kaymaktadır. Ayrıca aynı seri içerisindeki 3 katmanlı, 5 katmanlı ve 7 katmanlı yapılar kendi aralarında kıyaslandığında; Çizelge 5.1, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'te de görüldüğü üzere, yansımanın en şiddetli olduğu dalga boyunda yansıma

şiddeti katman sayısı üçten beşe çıkarıldığında ortalama %12, katman sayısı beşten yediye çıkarıldığında ise ortalama %6 artmaktadır.

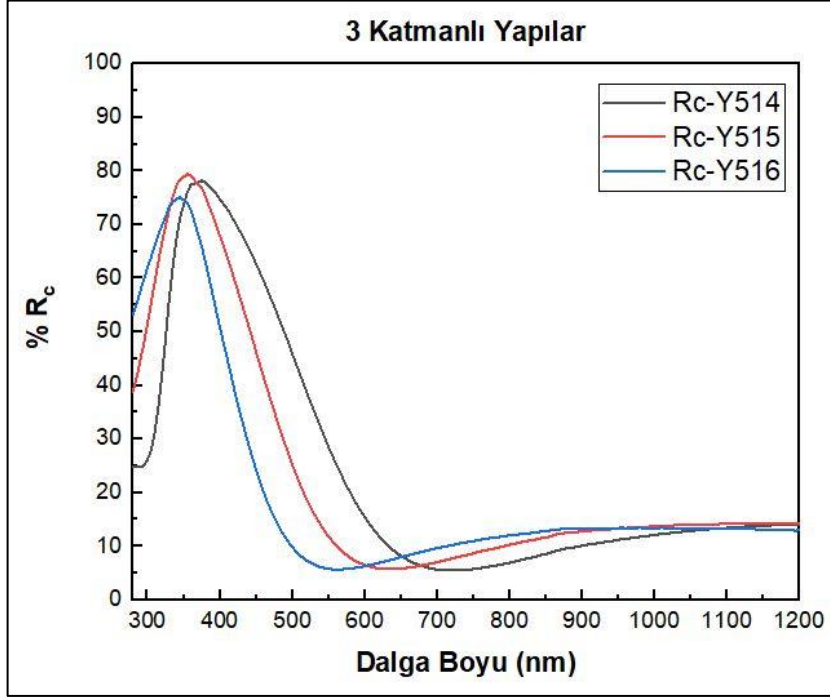
Şekil 5.1, Şekil 5.3 ve Şekil 5.5'te sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü serilerin geçirgenlik eğrileri gösterilmiştir. Katman kalınlıklarının incelenmesiyle beraber görünür bölgedeki ortalama geçirgenliğin birinci seride %77,5; ikinci seride %82,8; üçüncü seride ise %86,2 olduğu görülmektedir.

Birinci, ikinci ve üçüncü seri şeklinde numuneleri kendi arasında sınıflandırarak katman sayısındaki değişimin, numunenin optik davranışı üzerindeki etkisi Şekil 5.1 ile Şekil 5.6 arasındaki görsellerde; aynı katman sayısına sahip ama farklı serilerde kaplanan numuneleri kıyaslayarak film kalınlıklarının optik davranış üzerindeki etkisini incelemek için ise Şekil 5.7 ile Şekil 5.12 arasındaki görseller incelenmiştir.

Üç katmanlı yapıların geçirgenlik ve yansıtıcılık sonuçları sırasıyla Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Farklı serilerde kaplanan 3 katmanlı yapıların geçirgenlik ölçüm sonuçları



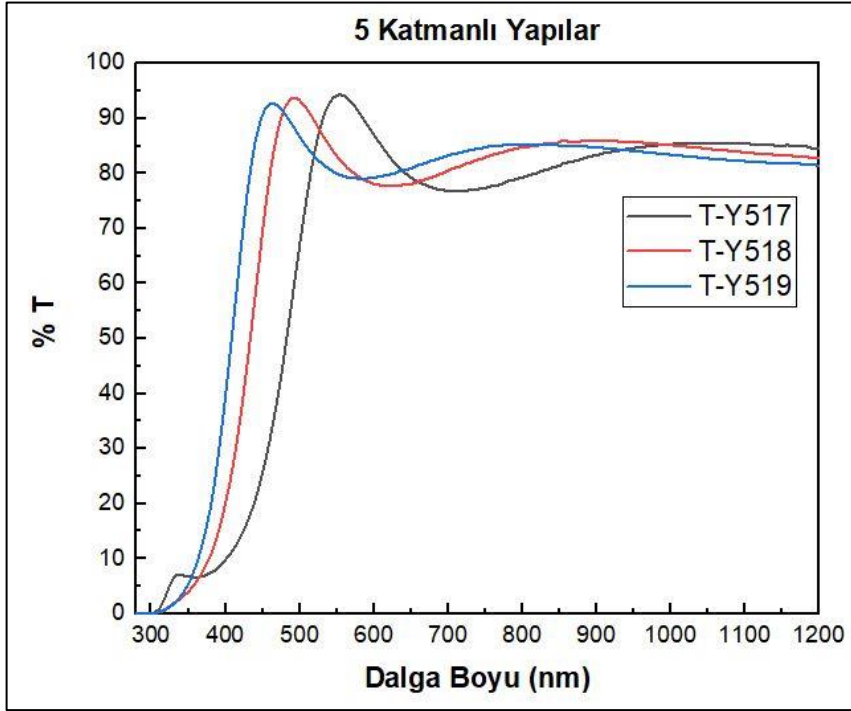
Şekil 5.8. Farklı serilerde kaplanan 3 katmanlı yapıların yansıtıcılık ölçüm sonuçları

Çizelge 5.4. Farklı serilerde kaplanan 3 katmanlı yapıların optik performansları

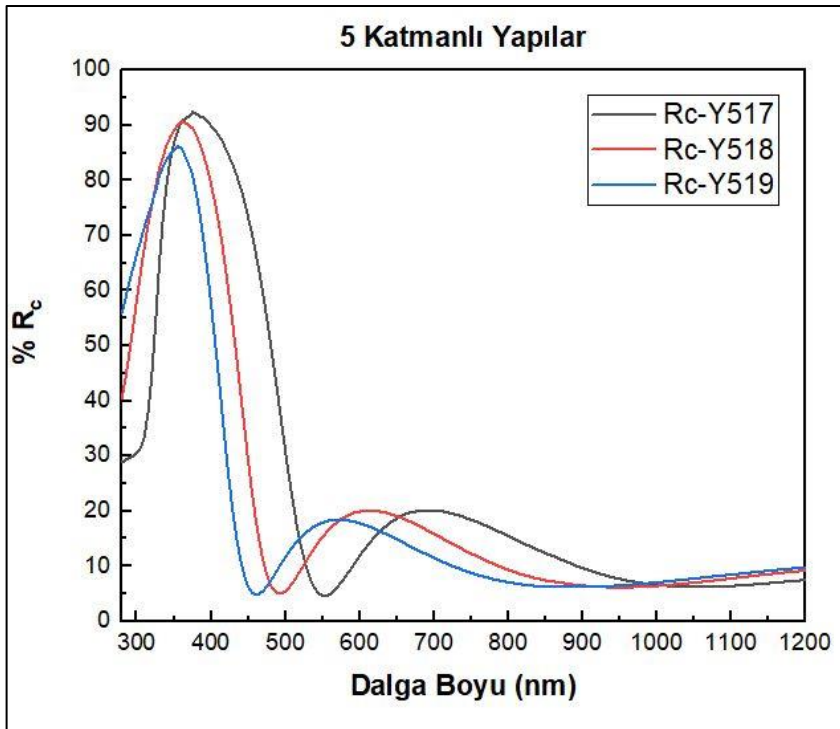
Numune Kodu	Katman Sayısı	Görünür Bölgedeki Geçirgenlik	Yansımanın En Yüksek Olduğu Dalga Boyu	Yansımanın En Yüksek Olduğu Dalga Boyunda Yansıma Şiddeti
Y514	3	%70.2	375 nm	% 78.2
Y515	3	%85	355 nm	% 79.4
Y516	3	%91.8	345 nm	% 75

Farklı serilerdeki üç katmanlı yapıların optik performanslarını incelediğimiz zaman yansıma şiddetinin en yüksek olduğu dalga boyunun film kalınlıkları incelidikçe 375 nm'den 345 nm'lere kaydığı; görünür bölgedeki ortalama geçirgenliklerin ise %70'ten %92'ye kadar arttığı gözlenmiştir.

Beş katmanlı yapıların geçirgenlik ve yansıtıcılık sonuçları sırasıyla Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Farklı serilerde kaplanan 5 katmanlı yapıların geçirgenlik ölçüm sonuçları



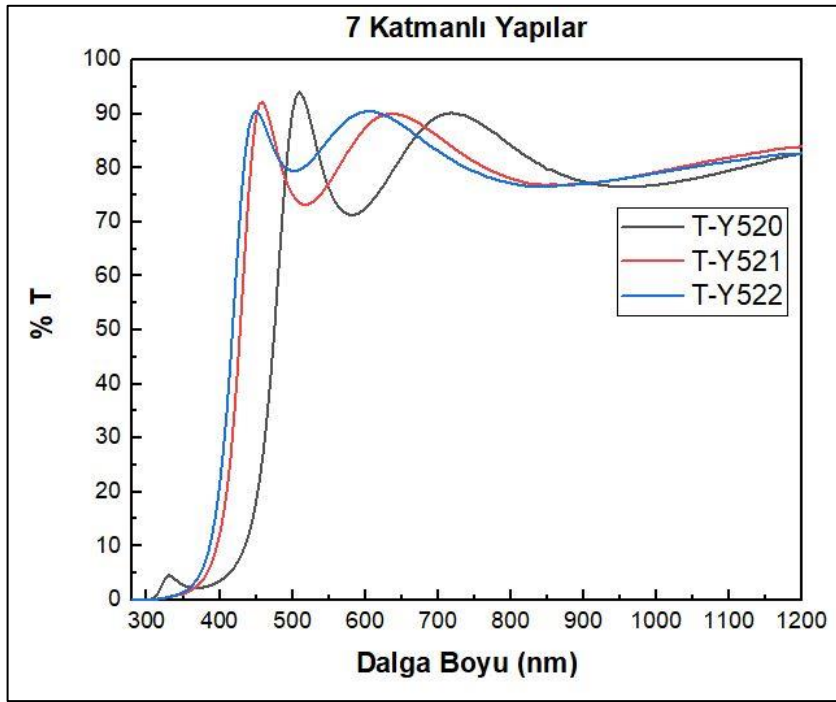
Şekil 5.10. Farklı serilerde kaplanan 5 katmanlı yapıların yansıtıcılık ölçüm sonuçları

Çizelge 5.5. Farklı serilerde kaplanan 5 katmanlı yapıların optik performansları

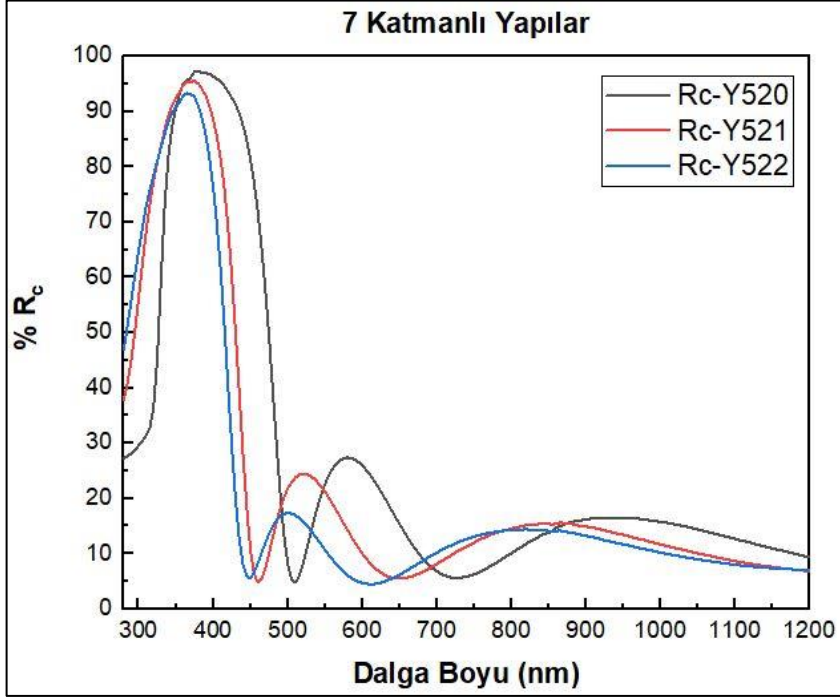
Numune Kodu	Katman Sayısı	Görünür Bölgedeki Geçirgenlik	Yansımanın En Yüksek Olduğu Dalga Boyu	Yansımanın En Yüksek Olduğu Dalga Boyunda Yansıma Şiddeti
Y517	5	%85.4	375 nm	% 92.3
Y518	5	%83.2	360 nm	% 90.7
Y519	5	%81.2	355 nm	% 86.1

Farklı serilerde kaplanan beş katmanlı numuneleri kıyasladığımızda ise katman kalınlıklarının incilmesiyle yansıma şiddetinin en yüksek olduğu dalga boyunun 375 nm'den 355 nm'lere kaydığı görülmektedir.

Yedi katmanlı yapıların geçirgenlik ve yansıtıcılık sonuçları sırasıyla Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Farklı serilerde kaplanan 7 katmanlı yapıların geçirgenlik ölçüm sonuçları



Şekil 5.12. Farklı serilerde kaplanan 7 katmanlı yapıların yansıtıcılık ölçüm sonuçları

Çizelge 5.6. Farklı serilerde kaplanan 7 katmanlı yapıların optik performansları

Numune Kodu	Katman Sayısı	Görünür Bölgedeki Geçirgenlik	Yansımanın En Yüksek Olduğu Dalga Boyu	Yansımanın En Yüksek Olduğu Dalga Boyunda Yansıma Şiddeti
Y520	7	%77	380 nm	% 97.3
Y521	7	%80.2	375 nm	% 95.5
Y522	7	%85.7	365 nm	% 93.3

Farklı serilerde kaplanan 7 katmanlı numuneleri incelediğimizde ise katman kalınlıklarının incilmesiyle yansıma eğrisinin UV bölgeye doğru kaydığı; görünür bölgedeki ortalama geçirgenliğin ise %77'lerden %85'lere çıktığı görülmektedir. 7 katmanlı numunelerin hepsinde de yansıma eğrisinin tepe noktasında yansıma şiddeti %90'nın üzerindedir.

Şekil 5.7, Şekil 5.9 ve Şekil 5.11'de farklı serilerde kaplanmış, sırasıyla üç katmanlı, beş katmanlı ve yedi katmanlı yapıların geçirgenlik sonuçları görülmektedir. Şekiller incelendiğinde görülmektedir ki katman kalınlıkları azaldıkça geçirgenlik eğrisi UV bölgeye doğru kaymaktadır. Çizelge 5.4, Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da farklı kalınlıklarda kaplanmış fakat eşit katman sayısına sahip yapıların görünür bölgedeki geçirgenlikleri gösterilmiştir. Bu çizelgelerde yazılan geçirgenlik değerleri EN410 standardına göre uygun bir şekilde verilmiştir. EN410 standardı binalarda kullanılan camların ışık geçirgenliklerinin ve

yansıma özelliklerinin tayin edilmesine dair bir standarttır. Görünür bölge geçirgenliği bu standarda göre 380 nm ila 780 nm arasındaki davranışına göre belirlenir.

Şekil 5.8, Şekil 5.10 ve Şekil 5.12’de sırasıyla 3 katmanlı, 5 ve 7 katmanlı yapıların yansıtıcılık eğrileri gösterilmiştir. Katman sayısının artmasıyla beraber yansıtıcılık eğrisinin tepe noktasındaki yansıma şiddetinin 3 katmanlı yapılarda ortalama %77,5; 5 katmanlı yapılarda %89,8; 7 katmanlı yapılarda ise %95,3 olduğu görülmektedir.

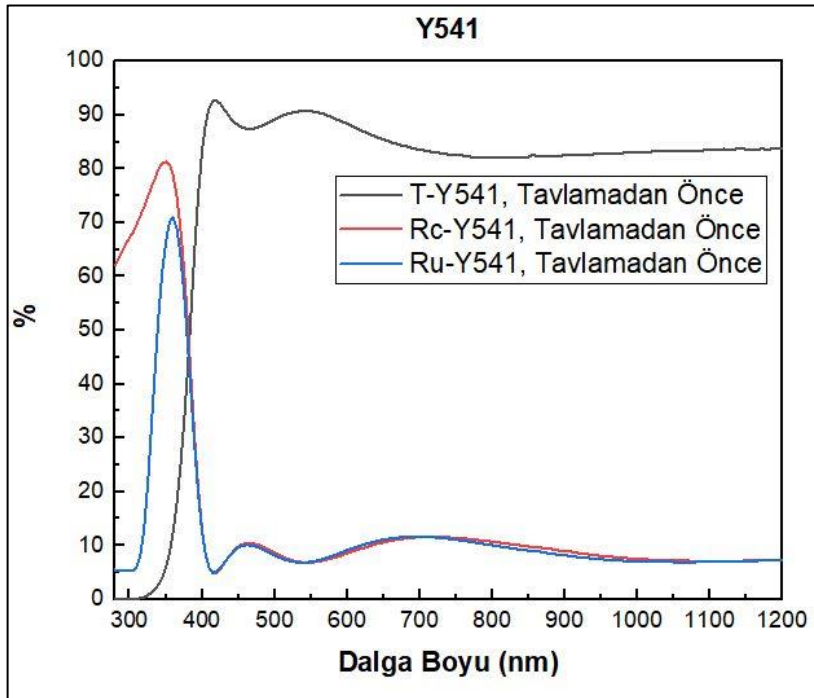
Bu tez çalışmasında değerlendirilmesi gereken temel iki parametre daha önceki bölümlerde de belirtildiği üzere görünür bölgedeki geçirgenlik performansı ve UV bölgedeki yansıtıcılık performansıdır. Üç farklı seride kaplanan dokuz numunenin optik performanslarını kıyaslayacak olursak UV bölgede yüksek yansıtıcılık yüzdesine ulaşmak için yedi katmanlı yapıların en uygun tercih olduğuna karar verilmiştir. Bununla beraber farklı serilerde kaplanan yedi katmanlı yapıların optik performanslarını incelediğimizde ise, film kalınlıklarını incelttikçe görünür bölge geçirgenliğinin arttığı görülmüştür. Bu kapsamda dokuz numune arasından geçirgenlik ve yansıtıcılık açısından hedeflerimize en uygun numune Y522 kodlu numunedir.

Çizelge 5.6’da da görüldüğü üzere Y522 kodlu numunenin görünür bölgedeki geçirgenliği %85,7; yansıtıcılığın en yüksek olduğu dalga boyu 365 nm ve bu noktada yansıtıcılık değeri %93,3’tür. Y522’ye kıyasla görünür bölge geçirgenliği daha yüksek bir numune hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda film kalınlıkları biraz daha inceltirilerek Y541 kodlu numune elde edilmiştir. Y541 kodlu numunenin film kalınlıkları Çizelge 5.7’de gösterilmiştir. Y541 kodlu numunenin görünür bölgedeki geçirgenliği %89,5’tir. Yansımanın en şiddetli olduğu dalga boyu 350 nm ve bu dalga boyundaki yansıtıcılık %81,2’dir. Y522 kodlu numuneye kıyasla daha ince film kalınlıklarına sahip Y541 kodlu numunenin geçirgenliği %85,7’den %89,5’e çıkmıştır. Yansıma eğrisinin tepe noktası ise 365 nm’den 350 nm’ye kaymıştır; tepe noktalarındaki yansıma şiddeti ise %93,3’ten %81,2’ye düşmüştür.

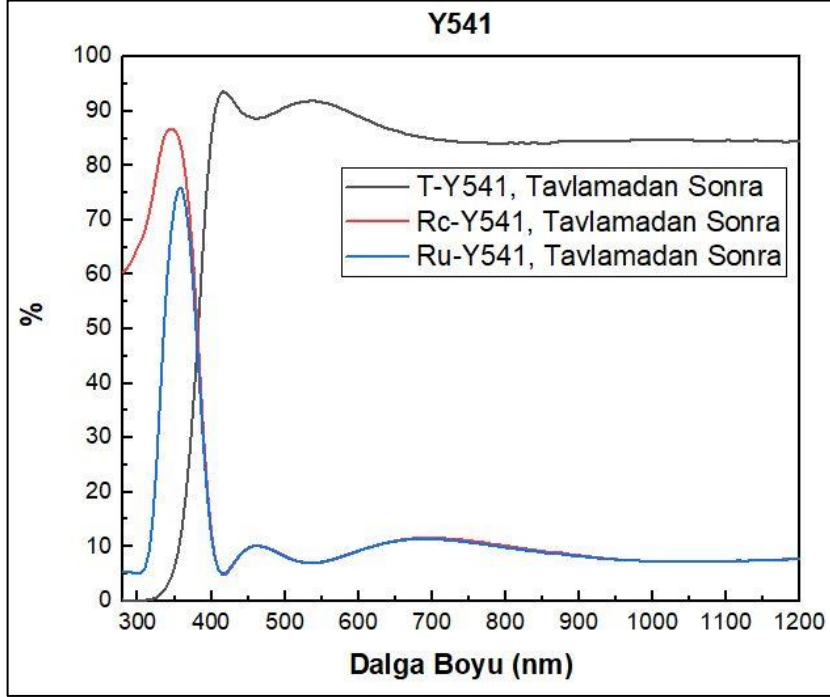
Çizelge 5.7. Y541 kodlu numune üzerindeki film kalınlıkları

Y541	TiO ₂	20 nm
	SiO ₂	63 nm
	TiO ₂	24 nm
	SiO ₂	63 nm
	TiO ₂	24 nm
	SiO ₂	62 nm
	TiO ₂	21 nm
	Cam	

Mimari camlarda camın mekanik ve optik özelliklerini iyileştirmek amacıyla ısıtıl işlem uygulanmaktadır. 660°C’de 6 dakika süre ile gerçekleştirilen bu ısıtıl işlem atmosfer ortamında gerçekleştirilmektedir. Ticari uygulamalarda bir nevi standart haline gelmiş bu ısıtıl işlemin camın performansına etkisini gözlemek için elde ettiğimiz on numune arasından optik performansı amaçlarımız ile en çok uyuşan numune olan Y541 kodlu numune Şişecam Bilim, Teknoloji ve Tasarım Merkezi’nde 660°C’de 6 dakika boyunca atmosfer ortamında tavlannmıştır.



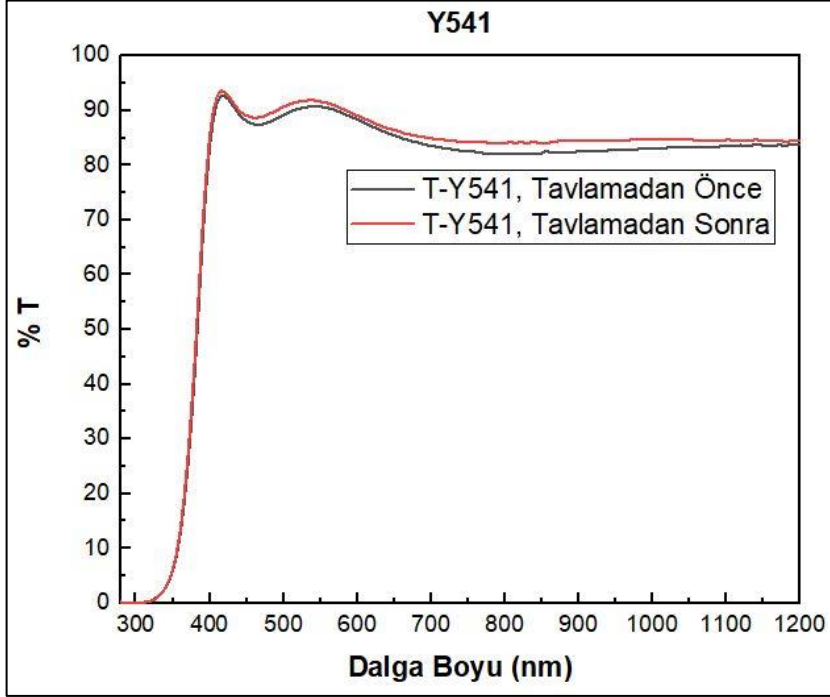
Şekil 5.13. Y541 kodlu numunenin tavlama öncesi geçirgenlik ve yansıtıcılık değerleri



Şekil 5.14. Y541 kodlu numunenin tavlama sonrası geçirgenlik ve yansıtıcılık değerleri

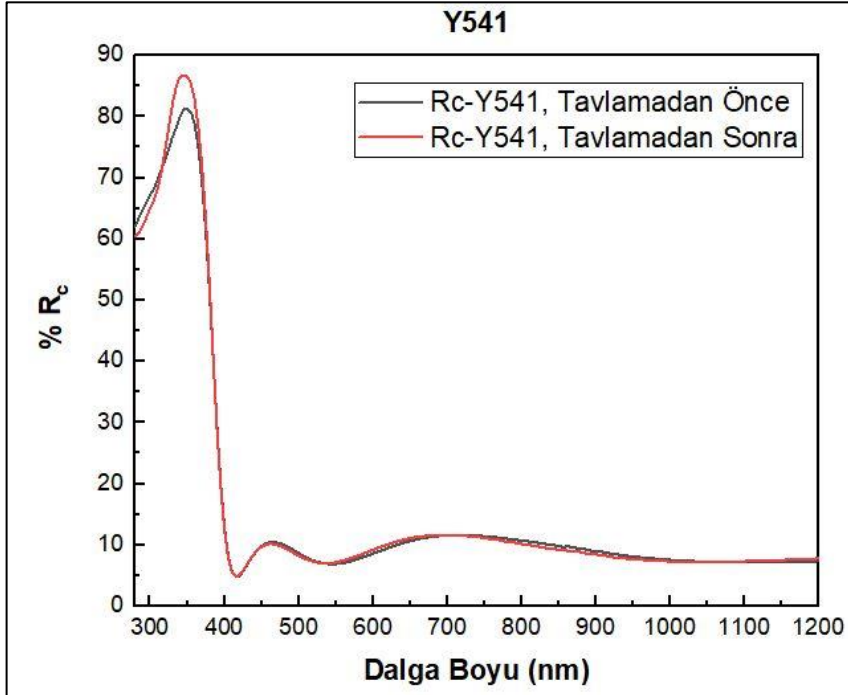
Çizelge 5.8. Y541 kodlu numunenin tavlama öncesi ve sonrası optik performansı

Numune Kodu	Görünür Bölgedeki Geçirgenlik	Yansımanın En Yüksek Olduğu Dalga Boyu	Yansımanın En Yüksek Olduğu Dalga Boyunda Yansıma Şiddeti
Tavlamadan Önce	%89.5	350 nm	%81.2
Tavlamadan Sonra	%90.5	350 nm	%86.5



Şekil 5.15. Y541 kodlu numunenin geçirgenlik ölçüm sonuçları

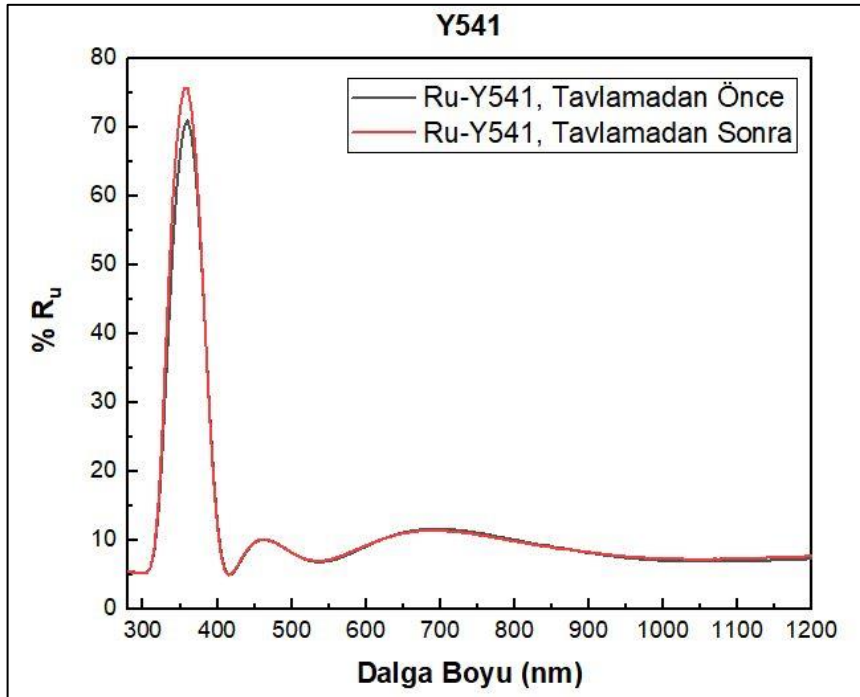
Şekil 5.15'te Y541 kodlu numunenin tavlama öncesinde ve tavlama sonrasındaki geçirgenlik eğrisi gösterilmiştir. Tavlama sonrasında numunenin geçirgenliğinin arttığı gözlenmiştir.



Şekil 5.16. Y541 kodlu numunenin ön yüzeyinin yansıtıcılık ölçüm sonuçları

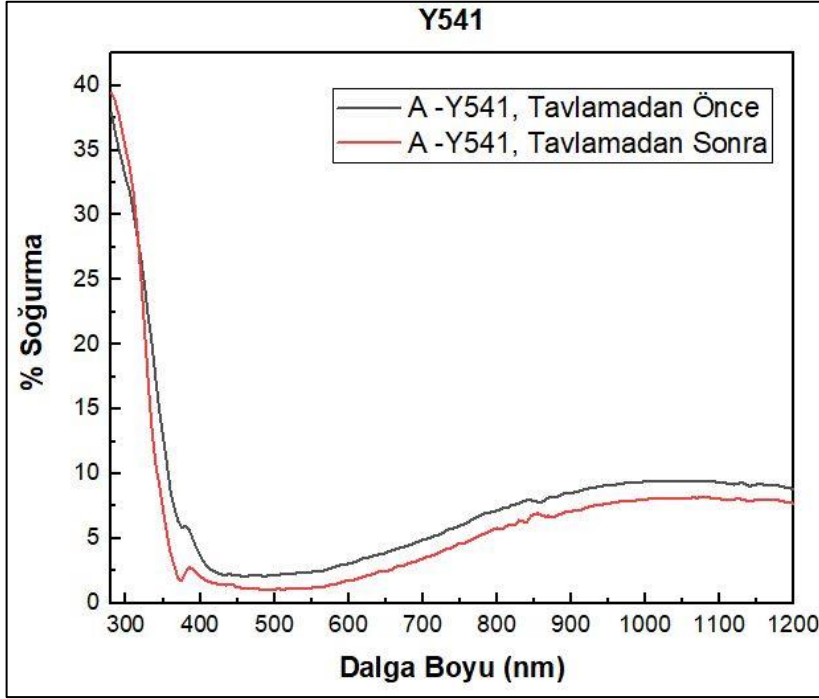
Şekil 5.16'da Y541 kodlu numunenin film kaplı yüzeyinden ölçülen yansıtıcılık eğrisi gösterilmiştir. Tavlama öncesi numunenin yansıtıcılığının en yüksek olduğu dalga boyu olan 345 nm'de yansıtıcılık %81,1 iken tavlama sonrasında 345 nm'de yansıtıcılık %86,7'ye çıkmıştır.

Mimari cam uygulamalarında kullanılan cam üniteleri genellikle çift camdan oluşmaktadır ve bu camların üzerindeki ince film kaplamalarının camın hangi yüzeyinde olacağı önem arz etmektedir. Bu camların uzun yıllar kullanılacağı hesaba katılarak ince filmlerin yağmur, kar, toz fırtınası gibi doğa olaylarına veyahut gündüz-gece ve yaz-kış gibi hava değişimindeki termal strese karşı performans kaybını en aza indirmek için optik ince filmleri camın iç yüzeyine kaplamak daha iyi bir tercih olabilmektedir. Bu amaç doğrultusunda camın film kaplı olmayan yüzeyindeki yansıtıcılık performansını da değerlendirmek gerekir. Şekil 5.17'de Y541 kodlu numunenin film kaplı olmayan tarafından alınan yansıtıcılık ölçümü gösterilmiştir.



Şekil 5.17. Y541 kodlu numunenin arka yüzeyinin yansıtıcılık ölçüm sonuçları

Şekil 5.17'de görüldüğü üzere film kaplı olmayan taraftan alınan ölçümlerde, tavlama öncesinde yansıtıcılığın en yüksek olduğu dalga boyu olan 360 nm'de yansıtıcılık %71 iken, tavlama sonrasında 360 nm'deki yansıtıcılık %75,7'ye yükselmiştir.

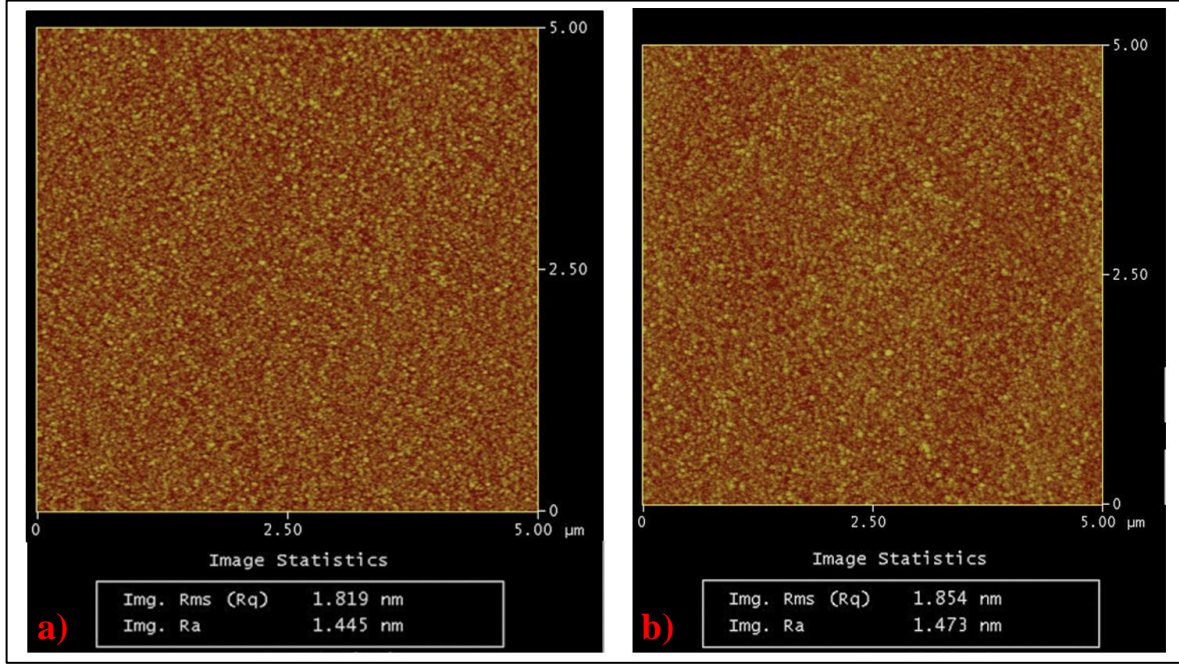


Şekil 5.18. Y541 kodlu numunenin soğurma sonuçları

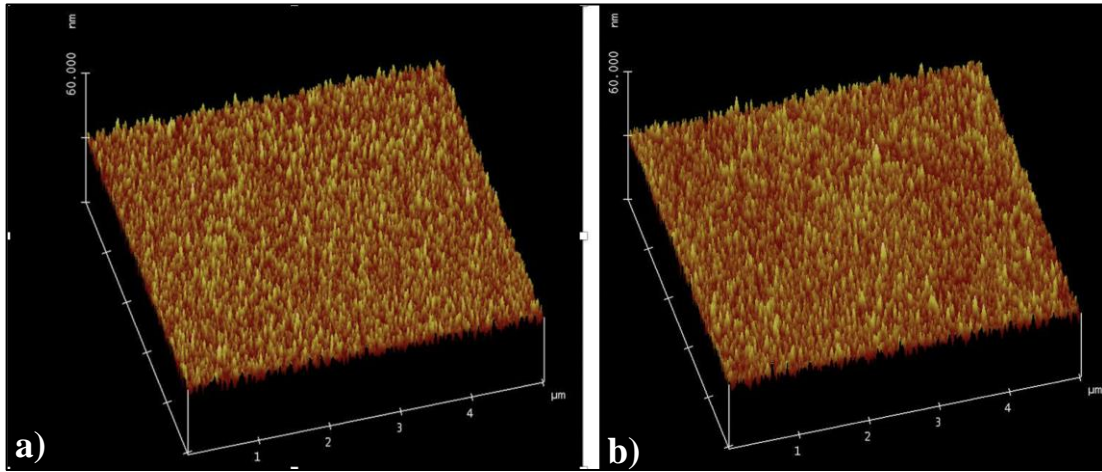
Y541 kodlu numunenin tavlama sonrasında hem yansıtıcılığının hem de geçirgenliğinin arttığı tespit edildikten sonra soğurma eğrisini incelenmiştir. Şekil 5.18’de Y541 kodlu numunenin tavlama öncesinde ve tavlama sonrasındaki soğurma eğrileri gösterilmiştir. Şekil 5.18’de görüldüğü üzere tavlama öncesinde numunenin soğurması 550 nm’de %2,5 dolaylarında iken, tavladıktan sonra %1,2’dir.

5.2. Morfolojik Analizler

Optik olarak hedeflerimize en uygun numune olan Y541 kodlu numunenin yüzey morfolojisini incelemek için AFM sistemi ile $5 \times 5 \mu m^2$ ’lik alanda yüzey görüntüsü alınmıştır. Sırasıyla Resim 5.1 ve Resim 5.2’de numunenin 2 boyutlu ve 3 boyutlu AFM görüntüsü verilmiştir. Resim 5.1’de gösterildiği üzere tavlama öncesinde numunenin yüzey pürüzlülüğünün karekök ortalama (RMS) değeri $1,81 nm$ iken tavlama sonrasında $1,85 nm$ ’ye yükseldiği görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğündeki $0,04$ nanometrelik bu değişimin ihmal edilebilir bir fark olduğu ve 660 santigrat derece ($^{\circ}C$)’de gerçekleştirilen tavlama işleminin yüzey pürüzlülüğünde kayda değer bir değişiklik yaratmadığı düşünülmektedir.

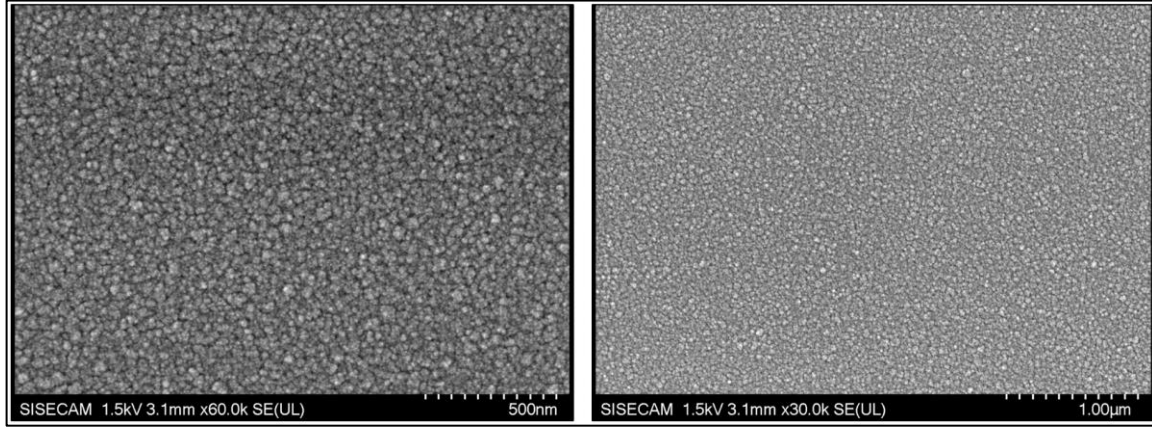


Resim 5.1. Y541 kodlu numunenin tavlamadan a) önceki ve b) sonraki 2 boyutlu AFM görüntüsü

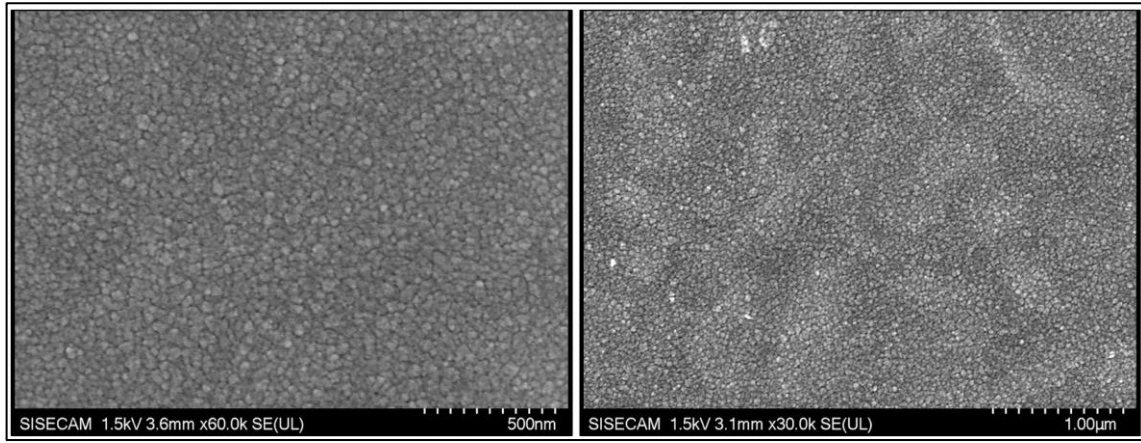


Resim 5.2. Y541 kodlu numunenin tavlamadan a) önceki ve b) sonraki 3 boyutlu AFM görüntüsü

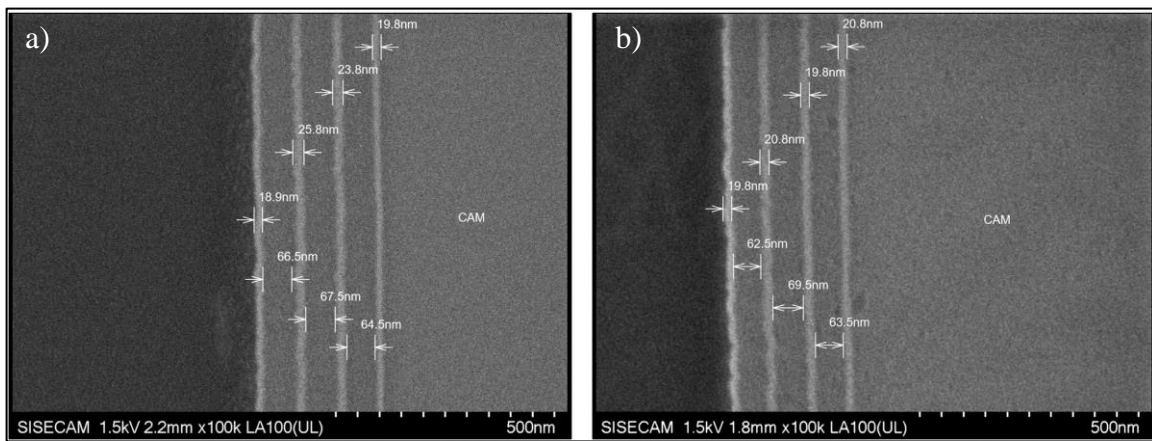
Resim 5.3, Resim 5.4 ve Resim 5.5'te numune yüzeyinin ve yan kesitinin tavlama öncesinde ve tavlama sonrasındaki SEM görüntüleri verilmiştir. SEM sonuçlarında incelendiğinde, yüzey morfolojisinde, AFM sonuçların benzer şekilde, kayda değer bir değişim olmadığı, kesit görüntülerinden de film yığınlarının kalınlıklarını büyük yüzdeyle koruduğu değerlendirilmektedir.



Resim 5.3. Y541 kodlu numunenin tavlama öncesindeki yüzey SEM görüntüsü



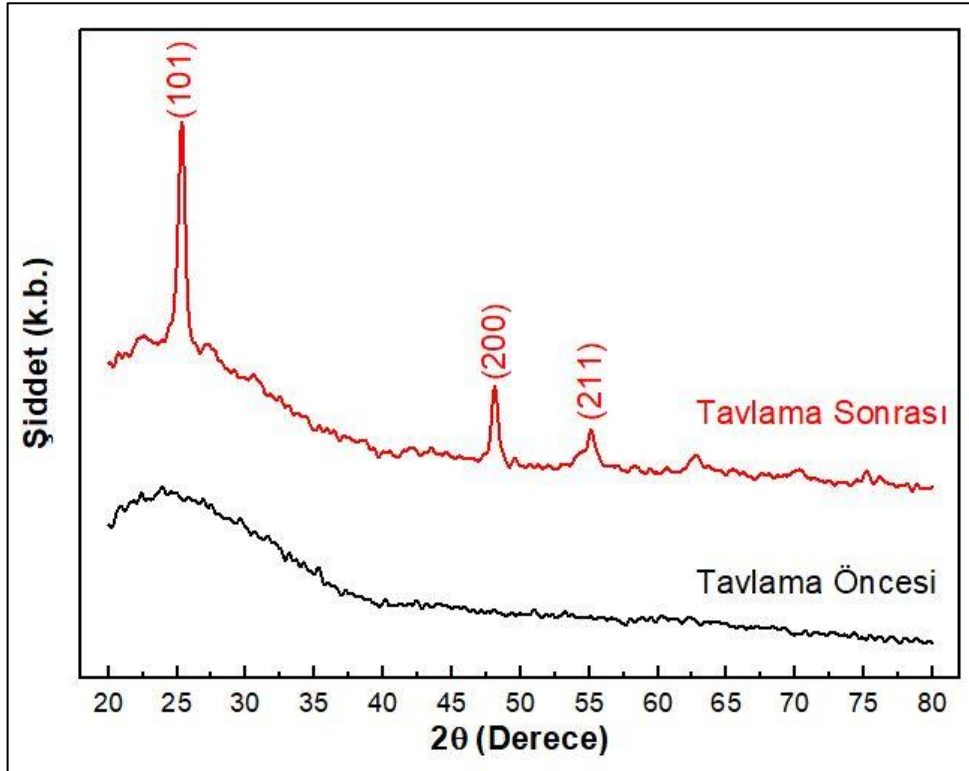
Resim 5.4. Y541 kodlu numunenin tavlama sonrasında yüzey SEM görüntüsü



Resim 5.5. Y541 kodlu numunenin tavlama a) öncesindeki ve b) sonrasındaki yan kesit SEM görüntüsü

5.3. Yapısal Analizler

Şekil 5.19'da Y541 kodlu numunenin tavlama öncesindeki ve tavlama sonrasındaki X-ışını kırınım desenleri verilmiştir. Tavlama öncesinde yapının tamamen amorf olduğu, ısıtılma sonrasında ise kristalleşmenin gerçekleştiği görülmektedir. JCPDS Kart No: 00-004-0545 referansına göre, tavlama sonrasında TiO_2 'nin anataz fazının (101), (200) ve (211) düzlemlerine karşılık gelen, sırasıyla $2\theta = 25,3^\circ$, $2\theta = 48,1^\circ$ ve $2\theta = 55,1^\circ$ 'de kırınım pikleri gözlenmiştir. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında SiO_2 'in 900°C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda kristalleşmeye başladığı görülmektedir [32]. Bu tez çalışmasında, numuneye uygulanan ısıtılma işlemi 660°C 'de gerçekleştirildiği için, beklenildiği üzere yapıda SiO_2 piki gözlenmemiştir.

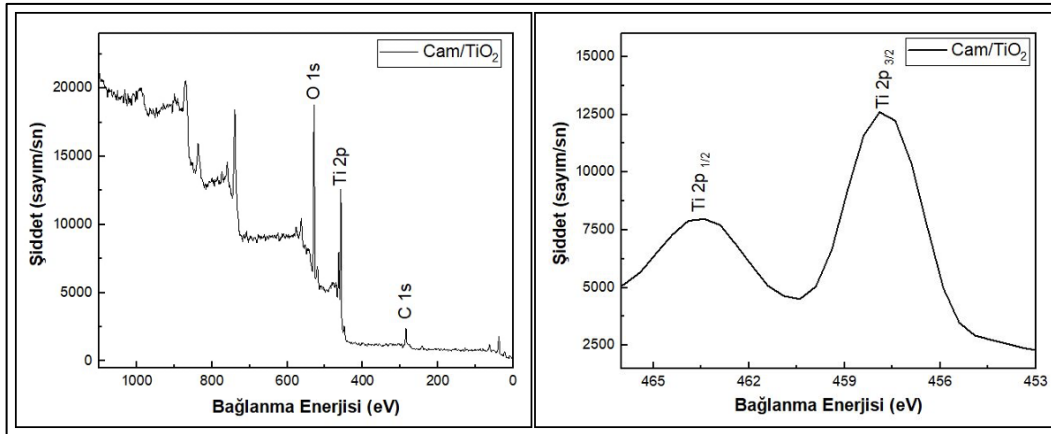


Şekil 5.19. Y541 kodlu numunenin tavlama öncesindeki ve tavlama sonrasındaki X-ışını kırınım deseni

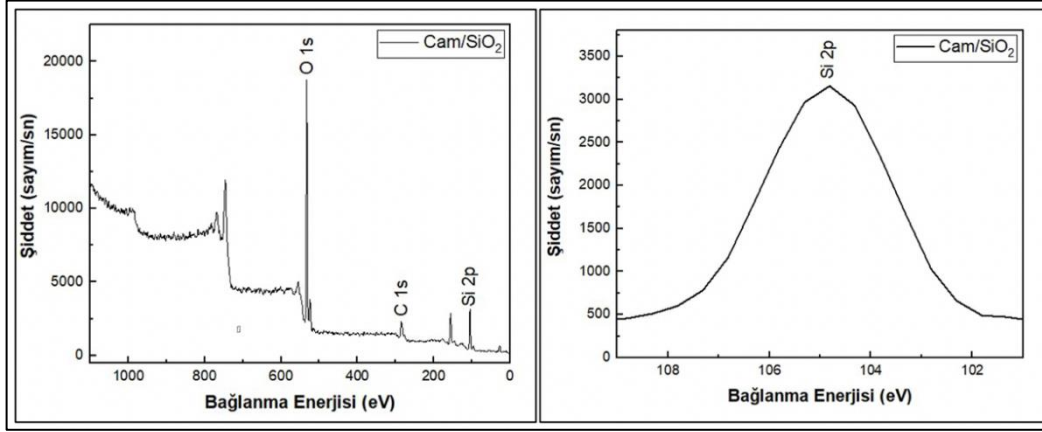
TiO_2 ve SiO_2 ince filmlerin bağ yapılarını ve kimyasal stokiyometrilerini belirlemek amacıyla XPS analizleri yapılmıştır. XPS analizlerine başlarken C 1s pikinin bağlanma enerjisi $284,8 \text{ eV}$ değerine set edilmiştir [33]. Şekil 5.20'de cam üzerine kaplanmış TiO_2 ince filmlerin geniş ve dar spektrumda alınan ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Geniş spektrum

sonuçlarında görüldüğü üzere yapı Ti ve O ihtiva etmektedir. Literatür ile uyumlu olarak O 1s çekirdek seviyesine karşılık gelen pikin bağlanma enerjisinin 528,9 eV, Ti 2p 1/2 çekirdek seviyesine karşılık gelen pikin bağlanma enerjisinin 463,4 eV, Ti 2p 3/2 çekirdek seviyesine karşılık gelen pikin bağlanma enerjisinin ise 457,7 eV olduğu görülmektedir [33,34]. Ti 2p 1/2 çekirdek seviyesinin pik pozisyonu ile Ti 2p 3/2 çekirdek seviyesinin pik pozisyonu arasında 5,7 eV fark vardır ve farkın 5,7 eV olması yapı içerisinde Ti^{+4} (TiO_2) olduğunu göstermektedir [34]. CasaXPS programından faydalanılarak Ti ve O piklerinin altında kalan alanlar gözetilerek yapılan hesaplamalar sonucunda Ti ve O atomik konsantrasyonları sırasıyla %37,5 ve %62,5'tir. Ti/O oranı ise 0,6'dır ve bu da ideal stokiyometriye yakın olduğu anlamına gelmektedir [35].

Şekil 5.21'de ise SiO_2 ince filmlerin geniş ve dar spektrumda alınan XPS ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Geniş spektrum sonuçlarında görülen pikler yapının Si ve O içerdiğini doğrulamaktadır. O 1s çekirdek seviyesine karşılık gelen pikin bağlanma enerjisi 532,8 eV iken, Si 2p çekirdek seviyesine karşılık gelen pikin bağlanma enerjisi 104,8 eV'tur ve bu değerlerin literatürdeki çalışmalarla uyumlu olduğu görülmektedir [36]. Yapı içerisindeki Si ve O konsantrasyonları ise sırasıyla %35,4 ve %64,6'dır. Si/O oranı ise 0,54'tür. İdeal stokiyometrinin 0,5 olduğu kabul edilirse, literatüre uyumlu bir sonucun elde edildiği görülmektedir [37].



Şekil 5.20. TiO_2 ince filmin geniş tarama ve dar tarama XPS spektrumu



Şekil 5.21. SiO₂ ince filmin geniş tarama ve dar tarama XPS spektrumu

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, dış cephesi tamamen cam ile kaplı yapılara kuşların çarpmasını önlemek için optik ince filmler geliştirilmiştir. İnsanlar ile kuşların görme kabiliyetleri arasındaki farktan faydalanarak UV bölgede yansıtıcılığı, görünür bölgede ise geçirgenliği yüksek ince filmlerin geliştirilmesi ile estetik açıdan bir kayba uğramadan cam yüzeyinde kuşlar için uyarıcı bir film üretilmiştir.

Kırılma indisi yüksek ve düşük dielektriklerin ardışık bir yığın halinde kaplanması ve kalınlıklarının optimizasyonu ile filmin geçirgenlik ve yansıtıcılık özellikleri kontrol edilmiştir. Bu çalışmada kırılma indisi yüksek malzeme olarak TiO_2 , kırılma indisi düşük malzeme olarak ise SiO_2 kullanılmıştır ve bu filmler sıçratma yöntemi ile elde edilmiştir.

İlk olarak üç farklı Ar gaz akışı altında tek katman TiO_2 ve tek katman SiO_2 'nin geçirgenlik ve yansıtıcılık özellikleri CODE 5 optik tasarım programında incelenmiş ve modellenmiştir. Bu modelleme sonucunda gaz akışındaki değişikliklerin filmlerin kırılma indisi üzerindeki etkisi gözlenmiş ve hem TiO_2 ince filmler için hem de SiO_2 ince filmler için en uygun gaz akışının 15 sccm olduğuna karar verilmiştir.

Tek katman yapıların kalibrasyonu ve optimizasyonu tamamlandıktan sonra çok katmanlı yapıların geliştirilmesine başlanmıştır. Üç farklı numune serisi oluşturulmuştur ve her seri içerisinde 3, 5 ve 7 katmanlı yapılar elde edilmiştir. Aynı seri içerisindeki numunelerin katman kalınlıklarında bir değişiklik yapılmamıştır; seri içerisinde yapılan değişiklik numunelerin birincisinin 3 katmana, ikincisinin 5 katmana ve üçüncüsünün ise 7 katmana sahip olmasıdır. Böylece aynı seri içerisindeki numunelerin optik davranışlarındaki değişim gözlenerek katman sayısındaki değişikliğin etkisi incelenmiştir. Serilerin birbirinden farkı ise katman kalınlıklarının değişmesidir. Birinci serideki numuneler görece en kalık katmanlara sahip iken, üçüncü serideki numuneler ise görece en ince katmanlara sahiptir. Aynı katman sayısına sahip farklı serideki numunelerin incelenmesiyle ise katman kalınlığındaki değişimin numunenin geçirgenlik ve yansıtıcılık özellikleri üzerindeki değişimi görmek mümkün olmuştur.

Farklı serilerde elde edilen dokuz numunenin optik özellikleri incelendikten sonra bu tez çalışması için UV bölgede yansıtıcılık hedefine ulaşmak için en uygun tasarımın 7 katmana

sahip tasarım olduğuna karar verilmiştir. Farklı serilerdeki 7 katmanlı yapılar birbirleri ile kıyaslandığında ise üç serideki numunenin de UV bölgede yansıtıcılık açısından tatminkâr sonuçları olduğu fakat görünür bölgede yüksek geçirgenlik elde etmek için en ince tasarımın daha uygun olduğu görülmüştür. Bu tespit doğrultusunda görünür bölgedeki geçirgenliğimizi artırmak amacıyla film kalınlıkların daha da inceltildiği 7 katmana sahip onuncu numune elde edilmiştir. Bu çalışmanın hedefleri doğrultusunda en iyi kabul edilebilecek bu onuncu numunenin görünür bölgedeki geçirgenliği %89,5'tir. Bu numunede yansımının en şiddetli olduğu dalga boyu 350 nm ve bu dalga boyundaki yansıtıcılık değeri ise %81,2'dir.

Mimari uygulamalarda camın optik ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi için ısıtma işlemi tabii tutulmaktadır. Bu çalışmada da elde ettiğimiz filmin ısıtma işlemi sonrasında performansını gözlemlemek amacıyla numune 660°C'de 6 dakika boyunca tavlama işlemi uygulanmıştır. Tavlama sonrasında numunenin geçirgenliği %89,5'ten %90,5'e; yansıtıcılığı ise %81,2'den %86,5'e yükselmiştir.

Numunelerin XRD analizi yapıldığında görülmüştür ki tavlama öncesinde yapı içerisindeki TiO_2 ve SiO_2 ince filmlerin ikisi de amorf yapıya sahip iken tavlama sonrasında yapı içerisindeki amorf haldeki TiO_2 'in anataz kristal yapısına dönüşmüştür. SiO_2 'nin kristalleşme sıcaklığının 800°C'den yüksek olduğu için XRD analizlerinde herhangi bir SiO_2 piki gözlenmemiştir.

Numunelerin tavlama öncesinde ve tavlama sonrasındaki yüzey morfolojilerinin tayin edilmesi amacıyla AFM ve SEM analizleri yapılmıştır. AFM sonuçlarına bakıldığında tavlama öncesinde yüzey pürüzlülüğünün RMS cinden değeri 1,81 nm iken tavlama işlemi sonrasında 1,85 nm olduğu görülmektedir. SEM sonuçlarında incelendiğinde ise tavlama işlemi ile sonrasında AFM sonuçlarına benzer şekilde kayda değer bir değişim olmadığı görülmüştür.

TiO_2 ve SiO_2 kaplı ince filmlerin XPS analizleri yapıldığında yapının bağlanma enerjileri incelenerek hangi elementlerin yapı içerisinde bulunduğu belirlenmiştir. Analiz sonucunda elde edilen piklerin altında kalan alanların hesap edilmesiyle de kimyasal stokiyometrilere tespit edilmiştir ve literatür ile uyumlu oldukları gözlenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında yapılan numunelerin analizleri değerlendirildiğinde dış cephesi cam ile kaplı yüksek binalarda kuş çarpmalarını azaltmak için etkili olacağı düşünülmektedir.

Dış cephe cam ünitelerinde cam yüzeyine kaplanan ince filmlerin camın hangi yüzeyine kaplanacağı büyük önem arz etmektedir. Film kaplı yüzeyin veyahut film kaplı olmayan yüzeyin dış yüzeyde kalması camın optik performansını değiştirmektedir. Bu tez çalışması kapsamında en başarılı olarak addedilen numune olan Y541 kodlu numunenin tavlama sonrasında film kaplı yüzeyindeki yansımanın en şiddetli olduğu dalga boyu 350 nm ve bu dalga boyundaki yansıma değeri %86,5 iken film kaplı olmayan yüzeyinde yansıma şiddetinin en yüksek olduğu dalga boyu 360 nm ve bu dalga boyundaki yansıma değeri %75,7'dir. Film kaplı yüzeyin hangi cepheye bakacağı optik olarak önemli olmakla beraber film performansının korunumu açısından da dikkat edilmesi gereken bir husustur. Ticari kullanımlarda iç yüzeye bakan filmlerle dış cepheye bakan filmlerin tabii tutulduğu test koşulları aynı değildir. Dış yüzeye bakan filmler yağmur, kar, nem ve toz fırtınası gibi çeşitli zorlu şartlara maruz kalacakları için bu filmlerin tabii tutulacakları test koşulları camın iç yüzeyinde kaplı filmlerin tabii tutulacağı test koşullarına göre daha agresiftir.

Ayrıca bu tez kapsamında tasarlanan ve üretilen UV yansıtıcılığı yüksek camların, dış cephe cam ünitelerinde kullanılan yayıcılığı düşük enerji verimli camlarla beraber kullanımı değerlendirilmelidir. Farklı amaçlara hizmet eden bu camlar beraber kullanılmak istendiği zaman hangi filmin iç yüzeye hangi filmin dış yüzeye kaplanacağı optik olarak ve performans dayanımı açısından göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Şaşmaz, M. Ü., ve Yayla, Y. E. (2018). Ekonomik kalkınmanın belirleyicilerinin değerlendirilmesi: Ekonomik faktörler. *International Journal of Public Finance*, 3(2), 249-268.
2. Pamir, N. (2005). Enerji Politikalar ve Küresel Gelişmeler. *Stratejik Analiz*, 6 (68), 57-73.
3. Doğan, H., ve Yılankırkan, N. (2015). Türkiye'nin enerji verimliliği potansiyeli ve projeksiyonu. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 3(1), 375-384
4. International Energy Agency. (2020). *Energy Efficiency Indicators-Highlights*. Paris: International Energy Agency, 1-115.
5. Cüce, A. P. M., Güçlü, T., Beşir, A. B., ve Cüce, E. (2019). Enerji Verimli Binalar İçin Sürdürülebilir ve Çevre Dostu Pencere ve Cam Teknolojileri: Son Gelişmeler ve Uygulamalar. *Uludağ University Journal Of The Faculty Of Engineering*, 24(3), 503-522.
6. Klem Jr, D. (2014). Landscape, legal, and biodiversity threats that windows pose to birds: a review of an important conservation issue. *Land*, 3(1), 351-361.
7. Håstad, O. and Ödeen, A. (2014). A vision physiological estimation of ultraviolet window marking visibility to birds. *PeerJ*, 2, 621-636.
8. Klem Jr, D. (2015). Bird–window collisions: a critical animal welfare and conservation issue. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 18(1), 11-17.
9. Ocampo-Peñuela, N., Peñuela-Recio, L. and Ocampo-Durán, Á. (2016). Decals prevent bird-window collisions at residences: a successful case study from Colombia. *Ornitología Colombiana*, (15), 94-101.
10. Rössler, M., Nemeth, E. and Bruckner, A. (2015). Glass pane markings to prevent bird-window collisions: less can be more. *Biologia*, 70(4), 535-541.
11. Piegari, A. and Flory, F. (2018). *Optical thin films and coatings: From materials to applications* (Second Edition). Cambridge: Woodhead Publishing. 357-385
12. Gümrükçü, A.E. (2021). *Enerji Verimli Yüzeylerin Geliştirilmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 7.
13. Zhang, J. (2003). Paleomolecular biology unravels the evolutionary mystery of vertebrate UV vision. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), 8045-8047.
14. Dartnall, H. J., Bowmaker, J. K. and Mollon, J. D. (1983). Human visual pigments: microspectrophotometric results from the eyes of seven persons. *Proceedings of the Royal society of London. Series B. Biological sciences*, 220(1218), 115-130.

15. Ödeen, A. and Håstad, O. (2013). The phylogenetic distribution of ultraviolet sensitivity in birds. *BMC evolutionary biology*, 13(1), 36.
16. Carvalho, L. S., Knott, B., Berg, M. L., Bennett, A. T. and Hunt, D. M. (2011). Ultraviolet-sensitive vision in long-lived birds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1702), 107-114.
17. Rancourt, J. D. (1996). *Optical thin films: user handbook* (First Edition). Washington: SPIE Press. 1-195.
18. Sze, S. M., Li, Y. and Ng, K. K. (2021). *Physics of semiconductor devices* (Third Edition). New Jersey: John Wiley and Sons. 7-129.
19. Neamen, D. A. (1992). *Semiconductor physics and devices* (Fourth Edition). New York: McGraw-Hill. 1-241.
20. Zayat, M., Garcia-Parejo, P. and Levy, D. (2007). Preventing UV-light damage of light sensitive materials using a highly protective UV-absorbing coating. *Chemical Society Reviews*, 36(8), 1270-1281.
21. Smirnov, J. C., Calvo, M. E. and Míguez, H. (2013). Selective UV reflecting mirrors based on nanoparticle multilayers. *Advanced Functional Materials*, 23(22), 2805-2811.
22. Singh, A., Gupta, A., Tiwari, A. and Kumar, P. (2020). Heterogeneous integration of TiO₂ epitaxial growth for one-dimensional photonic crystal: An experimental and theoretical analysis. *Materials Today Communications*, 25, 1-7.
23. Munir, T., Sharif, M., Ali, H., Kashif, M., Sohail, A., Sabir, N., Mahmood, A. and Ahmed, N. (2019). Impact of Silver Dopant on Structural and Optical Properties of TiO₂ Nanoparticles. *Digest Journal of Nanomaterials & Biostructures (DJNB)*, 14(2), 279-284.
24. Kim, Y. D., Wei, T. and Goodman, D. W. (2003). Identification of defect sites on SiO₂ thin films grown on Mo (112). *Langmuir*, 19(2), 354-357.
25. DiStefano, T. H. and Eastman, D. E. (1971). The band edge of amorphous SiO₂ by photoinjection and photoconductivity measurements. *Solid State Communications*, 9(24), 2259-2261.
26. Willey, R. R. (2006). *Field Guide to Optical Thin Films* (Seventh Edition), Washington: SPIE Press. 1-46
27. Harsha, K. S. (2005). *Principles of vapor deposition of thin films* (First Edition). Elsevier. 1-533.
28. Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. G. and Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-ray diffraction: instrumentation and applications. *Critical reviews in analytical chemistry*, 45(4), 289-299.
29. Kotera, M., Kishida, T. and Suga, H. (1990). Monte Carlo simulation of secondary electrons in solids and its application for scanning electron microscopy. *Scanning Microscopy*, 1990(4), 111-126.

30. Pielsticker, L., Nicholls, R., Beeg, S., Hartwig, C., Klihm, G., Schlögl, R., and Greiner, M. (2021). Inelastic electron scattering by the gas phase in near ambient pressure XPS measurements. *Surface and Interface Analysis*, 53(7), 605-617
31. Dalton, J. S., Janes, P. A., Jones, N. G., Nicholson, J. A., Hallam, K. R. and Allen, G. C. (2002). Photocatalytic oxidation of NO_x gases using TiO₂: a surface spectroscopic approach. *Environmental Pollution*, 120(2), 415-422.
32. Ismail, N. A. A., Azmi, M. A., Ahmad, S. and Taib, H. (2015). Effect of rice husk firing temperature on synthesis of silica (SiO₂). *Advanced Materials Research* (1087), 470-474.
33. Güzelçimen, F., Tanören, B., Çetinkaya, Ç., Kaya, M. D., Efker, H. İ., Özen, Y., Bingöl, D., Sirkeci, M., Kınacı, B., Ünlü, B., and Özçelik, S. (2020). The effect of thickness on surface structure of rf sputtered TiO₂ thin films by XPS, SEM/EDS, AFM and SAM. *Vacuum*, 182, 1-14.
34. Kment, S., Kmentova, H., Kluson, P., Krysa, J., Hubicka, Z., Cirkva, V., Gregora, I., Solcova, O., and Jastrabik, L. (2010). Notes on the photo-induced characteristics of transition metal-doped and undoped titanium dioxide thin films. *Journal of colloid and interface science*, 348(1), 198-205.
35. Babelon, P., Dequiedt, A. S., Mostefa-Sba, H., Bourgeois, S., Sibillot, P. and Sacilotti, M. (1998). SEM and XPS studies of titanium dioxide thin films grown by MOCVD. *Thin Solid Films*, 322(1-2), 63-67.
36. Yang, P. Z., Liu, L. M., Mo, J. H. and Yang, W. (2010). Characterization of PECVD grown porous SiO₂ thin films with potential application in an uncooled infrared detector. *Semiconductor science and technology*, 25(4), 1-4.
37. Ma, H. P., Yang, J. H., Yang, J. G., Zhu, L. Y., Huang, W., Yuan, G. J., Feng, J. J., Jen, T. J., and Lu, H. L. (2019). Systematic study of the SiO_x film with different stoichiometry by plasma-enhanced atomic layer deposition and its application in SiO_x/SiO₂ super-lattice. *Nanomaterials*, 9(1), 55-68.



GAZİ GELECEKTİR..