

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**CA-MN KATKILANDIRILMIŞ TiO₂ ESASLI NANO YAPILI
İNCE FILMLERİN YÜZEY MORFOLOJİSİ VE OPTİK
ÖZELLİKLERİ**

Nida DARCAN

Yüksek Lisans Tezi

METALÜRJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri

OCAK 2022

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri

Yüksek Lisans Tezi

CA-MN KATKILANDIRILMIŞ TiO₂ ESASLI NANO YAPILI İNCE FİMLERİN YÜZEY MORFOLOJİSİ VE OPTİK ÖZELLİKLERİ

Tez Yazarı
Nida DARCAN

Danışman
Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ

OCAK-2022
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Üretim Anabilim Dalı
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri

Yüksek Lisan Tezi

Başlığı: Ca-Mn Katkılandırılmış TiO₂ Esaslı Nano Yapılı İnce Filmlerin Yüzey Morfolojisi ve Optik Özellikleri
Yazarı: Nida DARCAN
İlk Teslim Tarihi: 20.12.2021
Savunma Tarihi: 21.01.2022

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

İmza

Danışman: Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ Onayladım
Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi

Başkan: Prof. Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU Onayladım
Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi

Üye: Doç. Dr. Yahya TAŞGIN Onayladım
Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Ca-Mn Katkılandırılmış TiO₂ Esaslı Nano Yapılı İnce Filmlerin Yüzey Morfolojisi ve Optik Özellikleri” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

21.01.2022

Nida DARCAN



ÖNSÖZ

Günümüzde nanoboyutlu ileri teknolojik malzemeler malzemelerin boyutlarının küçülmesi ile sahip oldukları özelliklerin önemli derece artmasından dolayı oldukça ilgi çekici hale gelmiştir. Özellikle malzeme dünyasında büyük ilgi uyandıran yarıiletken nanomalzemelerin teknolojik gelişmelere büyük katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Yarıiletken nanomalzeme üretimi ile daha üstün özelliklere sahip, daha gelişmiş, daha kusursuz ve boyut olarak daha küçük boyutlara sahip malzemeler üretilmektedir. TiO₂ farklı elektriksel, optik ve kimyasal özelliklerinden dolayı son zamanlarda en çok araştırılan malzemelerden olmaya başlamıştır. Yüksek geçirgenliğe, geniş bir dalga boyu spektrumuna ve yüksek kırılma indisine sahip olması da ilgi uyandıran özellikleri arasındadır. Bahsedilen özelliklerinden dolayı gaz sensörlerinde, güneş pillerinde, koruyucu ve yansıma önleyici kaplamalarda, optik devrelerde araştırılmaya ve uygulamaya devam edilmektedir. TiO₂'nin birçok uygulamada kullanılmasından dolayı birden fazla üretim yöntemi mevcuttur. Sol jel döndürerek kaplama yöntemi, metodun kimyasal özelliklerinin kontrol edilebilmesi, hammaddelere oranla daha iyi bir homojenlik oluşması ve eşsiz özelliklere sahip yeni malzemelerin üretilmesine imkân vermektedir.

Bu tez çalışmasında mangan (Mn) ve kalsiyum (Ca) katkılı titanyum dioksit (TiO₂) ince filmler üretilmiştir. İnce filmler üretilirken sol jel döndürerek kaplama yöntemi kullanılmıştır. Ca ve Mn katkı oranındaki değişikliğe bağlı olarak numunelerin optik ve morfolojik özelliklerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde yapılan katkılama ile numunelerin optik ve morfolojik özelliklerinde önemli değişimler olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmanın gelecekte yapılacak olan çalışmalarda farklı katkı malzemesi kullanılması veya farklı oranlarda katkılama yapılması açısından literatüre fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Yüksek lisans çalışmalarım sırasında benden hiçbir yardımını ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ' ne sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma sürecinde, bana aktarmış olduğu bilimsel katkılarından ve tez çalışmalarım esnasında tüm laboratuvar imkânlarına erişmemi sağlamasından dolayı Sayın Prof. Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem ve babam Firdes-Zeki DARCAN'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından desteklenen "Ca-Mn Katkılılandırılmış TiO₂ Esaslı Nano Yapılı İnce Filmlerin Yüzey Morfolojisi ve Optik Özellikleri" başlıklı TEKF.20.19 protokol numaralı proje ile desteklenmiştir.

Nida DARCAN

ELAZIĞ-2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. KONUNUN LİTERATÜRDEKİ YERİ	3
3. NANOTEKNOLOJİ VE NANOMALZEME.....	6
3.1. Nanomalzeme Üretim Metotları	6
4. İNCE FİLMLER.....	8
4.1. Yarıiletken İnce Filmler	8
4.2. İnce Film Üretim Yöntemleri.....	9
4.3. Sol-Jel Metodu	9
4.3.1. Döndürerek Kaplama Yöntemi	11
4.3.2. Daldırarak Kaplama Yöntemi	12
5. YARI İLETKENLER	14
5.1. Titanyum Dioksit (TiO ₂).....	14
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	16
7. SEM VE EDX ANALİZLERİ	20
7.1. Sem Analizleri	20
7.2. EDX Analizleri	22
8. XRD ANALİZLERİ.....	32
9. AFM ANALİZLERİ	34
9.1. AFM Analizleri ve Sonuçları	34
9.2. Filmlerin Optik Ölçümleri.....	39
9.2.1. Filmlerin Optik Özellikleri Ölçüm Sonuçları	40
10. DENEYSEL SONUÇLAR	49
ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Ca-Mn Katkılandırılmış TiO₂ Esaslı Nano Yapılı İnce Filmlerin Yüzey Morfolojisi ve Optik Özellikleri

Nida DARCAN

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri
Ocak 2022, Sayfa: xi+53

Bu tez çalışmasında; Kalsiyum (Ca) ve Mangan (Mn) katkısının Titanyum dioksit (TiO₂) nanomalzemesinin yapısal ve yarıiletkenlik özelliklerine etkisi incelendi. Sol jel döndürerek kaplama yöntemi kullanılarak Ca ve Mn katkılı TiO₂ esaslı ince filmler üretildi. Hazırlanan numunelerin yüzey morfolojisi Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile incelendi ve nano boyutta tanelerin olduğu tespit edildi. Ayrıca ortalama yüzey pürüzlülük değerleri incelendi ve artan Ca ve Mn katkısının bu değerde bir düşüşe yol açtığı tespit edildi. Filmlerin kristal yapısı Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile incelendi ve tanelerin küresel yapıda olduğu tespit edildi. Karakteristik özellikleri de X-Işını Kırınım yöntemi (XRD) cihazı ile incelendi ve Sherer denklemi yardımıyla numunelerin kristal boyutu hesaplandı. Üretilen filmlerin UV-VIS spektroskopisi ile geçirgenlik, soğurma ve yansıma grafikleri çizilmiş ve yasak enerji aralığı hesaplanmıştır. Ca ve Mn katkısının yasak enerji aralığında artışa yol açtığı tespit edilmiştir.

Teknolojik uygulamalarda önemli bir yeri olan yarıiletken film üretimine yönelik bu çalışmada, özellikle maliyet açısından pahalı diğer üretim yöntemlerine alternatif olarak TiO₂ ince filmlerin üretilmesi ve farklı malzemeler katkılama imkânı ile özelliklerinin değiştirilmesine olanak sağlanabilmesi açısından önem arz etmektedir.

Yapılan araştırmalar sonucunda Ca ve Mn katkısının TiO₂ filmlerin morfolojik ve optik özellikleri üzerinde önemli etkileri olduğu ve üretilen numunelerin şeffaf iletken elektrot uygulamalarında, optoelektronik cihazlarda, güneş pillerinde ve sensör üretiminde kullanılabileceği belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Nanomalzemeler, İnce Film, Sol Jel, Döndürerek Kaplama, TiO₂.

ABSTRACT

Surface Morphology and Optical Properties of Ca-Mn Additive TiO₂ Based Nano Structure Thin Films

Nida DARCAN

Master' Thesis

FIRAT UNIVERSITY

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Metallurgical and Materials Engineering Technologies

January 2022, Papes: xi+53

In this thesis, the effects of Calcium (Ca) and Manganese (Mn) additives on the structural and semiconductor properties of Titanium dioxide (TiO₂) nanomaterial were investigated. Ca and Mn doped TiO₂ based thin films were produced using sol gel spin coating method. The surface morphology of the prepared samples was examined through atomic force microscope (AFM) and nano-sized grains were determined. In addition, the average surface roughness values were examined and it was determined that the increasing Ca and Mn contribution led to a decrease in this value. The crystal structure of the films was examined using Scanning Electron Microscope (SEM) and it was determined that the grains were spherical. Characteristic properties were analyzed by X-Ray Diffraction method (XRD) device and crystal size of the samples was calculated through Sherer equation. Transmittance, absorption and reflection graphs of the films produced by UV-VIS spectroscopy were drawn and the forbidden energy range was calculated. It was determined that Ca and Mn additions paved the way to an increase in the forbidden energy range.

This study on semiconductor film production, which plays a significant role in technological applications, is especially important in that TiO₂ thin films were produced as an alternative to other costly expensive production methods and enabled them to change their properties by adding different materials.

As a result of this study, it is concluded that Ca and Mn additives have important effects on the morphological and optical properties of TiO₂ films and the samples produced can be used in transparent conductive electrode applications, optoelectronic devices, solar cells and sensor production.

Keywords; Nanomaterials, Thin Film, Sol Gel, Spin Coating, TiO₂.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Bazı Uzunluklar.....	6
Şekil 3.2. Nanomalzemelerin Üretim Yöntemleri	7
Şekil 4.1. İnce Film Üretim Teknikleri.....	9
Şekil 4.3. Döndürerek Kaplama İşlem Aşamaları	11
Şekil 4.4. Daldırarak Kaplama Yöntemi Aşamaları	12
Şekil 5.1. Fermi seviyesine göre yarıiletken türleri: (A)saf (B) n-tipi (C) p-tipi [29]	14
Şekil 5.2. TiO ₂ 'nin (a) rutil, (b) anataz ve (c) brukit fazlarının kristal yapıları	15
Şekil 6.1. Saf TiO ₂ çözeltisi.....	16
Şekil 6.2. %1 ,%3, %5 ve %10 Ca katkılı TiO ₂ çözeltiler	17
Şekil 6.3. %1 Ca + %1, %3 ve %5 Mn katkılı TiO ₂ çözeltiler	17
Şekil 6.4. FYTRONIX 8000 Spin Coater Cihazı.....	18
Şekil 6.5. Döndürerek Kaplama Yöntemi İşlem Prosesi	19
Şekil 7.1. Numunelere ait SEM görüntüleri 1) saf TiO ₂ , 2) %1 Ca + TiO ₂	20
Şekil 7.2. Numunelere ait SEM görüntüleri 3) %3 Ca + TiO ₂ , 4) %5 Ca + TiO ₂	21
Şekil 7.3. Numunelere ait SEM 5) %10 Ca + TiO ₂ , 6) %1 Mn + %1 Ca + TiO ₂	21
Şekil 7.4. Numunelere ait SEM görüntüleri 7) %3 Mn + %1 Ca + TiO ₂ , 8) %5 Mn + %1 Ca + TiO ₂	22
Şekil 7.5. Katkısız TiO ₂ numunesine ait EDX görüntüsü.....	23
Şekil 7.6. %1 Ca katkılı TiO ₂ numunesine ait EDX görüntüsü	24
Şekil 7.7. %3 Ca katkılı TiO ₂ numunesine ait EDX görüntüsü	25
Şekil 7.8. %5 Ca katkılı TiO ₂ numunesine ait EDX görüntüsü	26
Şekil 7.9. %10 Ca katkılı TiO ₂ numunesine ait EDX görüntüsü	27
Şekil 7.10. %1 Ca ve %1 Mn katkılı TiO ₂ numunesine ait EDX görüntüsü.....	28
Şekil 7.11. %1 Ca ve %3 Mn katkılı TiO ₂ numunesine ait EDX görüntüsü.....	29
Şekil 7.12. %1 Ca ve %5 Mn katkılı TiO ₂ numunesine ait EDX görüntüsü.....	30
Şekil 8.1. Saf Ti, Ti-%5Ca ve %1Ca-%5Mn-Ti ince filmlerine ait XRD görüntüleri.....	33
Şekil 9.1. Park System XE – 100E AFM Cihazı	34
Şekil 9.2. Katkısız TiO ₂ ince filmine ait AFM görüntüsü	35
Şekil 9.3. %1 Ca katkılı TiO ₂ ince filmine ait AFM görüntüsü.....	35
Şekil 9.4. %3 Ca katkılı TiO ₂ ince filmine ait AFM görüntüsü.....	36
Şekil 9.5. %5 Ca katkılı TiO ₂ ince filmine ait AFM görüntüsü.....	36
Şekil 9.6. %10 Ca katkılı TiO ₂ ince filmine ait AFM görüntüsü.....	37

Şekil 9.7. %1 Mn ve %1 Ca katkılı TiO ₂ ince filmine ait AFM görüntüsü	37
Şekil 9.8. %3 Mn ve %1 Ca katkılı TiO ₂ ince filmine ait AFM görüntüsü	38
Şekil 9.9. %5 Mn ve %1 Ca katkılı TiO ₂ ince filmine ait AFM görüntüsü	38
Şekil 9.10. UV – Spektrofotometresi.....	39
Şekil 9.11. Ca katkılı TiO ₂ filmlerin soğurma grafiği	40
Şekil 9.12. Mn ve Ca katkılı TiO ₂ filmlerin soğurma grafiği	41
Şekil 9.13. Ca katkılı TiO ₂ filmlerin geçirgenlik grafiği	42
Şekil 9.14. Mn ve Ca katkılı TiO ₂ filmlerin geçirgenlik grafiği.....	43
Şekil 9.15. Ca katkılı TiO ₂ filmlerin yansım grafiği	44
Şekil 9.16. Mn ve Ca katkılı TiO ₂ filmlerin yansım grafiği.....	45
Şekil 9.17. Ca katkılı TiO ₂ Numunelerin $(ah\nu)^2 - h\nu$ (eV) Grafiği	46
Şekil 9.18. Ca ve Mn katkılı TiO ₂ Numunelerin $(ah\nu)^2 - h\nu$ (eV) Grafiği	47

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 6.1. Numunelerin Üretim Parametreleri.....	19
Tablo 9.1. Filmlerin Yasak Enerji Parametreleri	48



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Ca	: Kalsiyum
d	: Kristal yapının düzlemler arası mesafesi
d	: Yoğunluk
D	: Kristalin tanecik boyutu
M	: Molarite
Ma	: Molekül ağırlığı
Mn	: Mangan
m	: Kütle
n	: Çözünen maddenin mol sayısı
TiO ₂	: Titanyum Di Oksit
V	: Hazırlanan çözeltinin hacmi
β	: Radyan cinsinden yarı pik genişliği
θ_B	: Gelen ışının yaptığı açı (Bragg açısı)
λ	: Gelen ışığın dalga boyu

1. GİRİŞ

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerji kısıtlılığı büyük bir sorun teşkil etmektedir. Petrol ve doğal gaz gibi tükenbilir enerji kaynaklarının oluşum aktivitesinin uzun olması, pahalı olması, tehlikeli olması ve nüfus artışına bağlı olarak artan talebi karşılayamaması insanlığı yeni bir enerji arayışına sürüklemiştir. Bu noktada tükenmeyecek olan güneş enerjisi oldukça ilgi çekicidir. Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirebilen güneş pilleri ile güneşten maksimum verim elde edilmektedir. Güneş pillerinin en büyük avantajı ise güneş ışınlarını doğrudan kullanan sistemler olmalarıdır. Yani barajlardaki gibi jeneratör vasıtası ile elektrik enerjisine çeviren sistemler olmayıp direk elektrik üreten sistemlerdir. Güneş pilleri yarı iletken malzemelerden üretilirler. Güneş pilleri ile ilgili yapılan çalışmalar da yarıiletken ince filmlerin araştırılmasını ve üretilmesini hızlandırmıştır [1].

Yarıiletkenler; iletkenliği kalıcı ya da geçici olarak geniş bir aralıkta kontrol etme imkânına sahip katılardır. Uzay sistemleri, hava savunma sistemleri, cep telefonları, sensörler, güneş pilleri, bilgisayarlar ve daha birçok teknolojik sistem yarıiletkenlerin kullanıldığı önemli uygulama alanlarına örnek olarak verilebilir. Bu bahsedilen teknolojiler büyük öneme sahip olup her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Bu nedenle bu teknolojilerin temelini oluşturan yarıiletkenler ile ilgili araştırmalar devam etmektedir. Teknolojide yarıiletkenlerden daha çok faydalanmamız için bu alanda daha çok çalışma yapmamız gerekmektedir [2].

Günümüzün bilimsel araştırmalarının en temel unsurlarından birini yarıiletken nanomalzemeler oluşturmaktadır. Özellikle malzeme dünyasında büyük ilgi uyandıran yarıiletken nanomalzemelerin teknolojik gelişmelere büyük katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Yarıiletken nanomalzeme üretimi ile daha üstün özelliklere sahip, daha gelişmiş, daha kusursuz ve boyut olarak daha küçük boyutlara sahip malzemeler üretilebilecektir.

İnce film teknolojisi yüzyıllar önce seramik ve cam üzerine soy metallerin dekorasyon olarak kullanılmasıyla başlamış ve her geçen gün gelişerek günümüze ulaşmıştır. Mikro ve nano yapılı optoelektronik malzeme dünyasının yapı taşı oluşturan, bilimsel ve teknolojik gelişmelerde önemli bir yere sahip olan ince filmler, günümüzün en çok merak edilen ve çalışılan güncel araştırma konularından biridir.

İnce filmler katı fazda, sıvı fazda ve buhar fazda büyütme gibi farklı üretim teknikleri vasıtasıyla üretilen ve genellikle cam bir yüzey üzerinde atomların ve moleküllerin filmi destekleyerek ince bir tabaka oluşturması esasına dayanan malzemelerdir. Kalınlıkları genellikle 1 µm'nin altındadır. İnce film teknolojisiyle elde edilen nanokristal malzemeler elektriksel, optik ve morfolojik özelliklerin büyük oranda gelişmesini sağlamaktadır. Nanoyapıda aygıtların tasarımının, üretiminin ve kullanımının altında yatan en temel yapıtaşını ince film teknolojisi oluşturmaktadır. Bu sebeple nanoteknoloji alanındaki gelişmeler ancak ince film üretiminde

atılacak adımlarla mümkündür. Teknolojik aygıtların geliştirilmesi ve maliyetinin düşürülmesi için akademide ve endüstride ince film teknolojisi üzerine yoğun çalışmalar yapılmaya devam etmektedir. Dünyada ve ülkemizde bu alanda yapılan çalışmaların artarak devam etmesi ince film teknolojisinin ne denli öneme sahip bir çalışma alanı olduğunu gözler önüne sermektedir [3].

Sol jel yöntemiyle ince film üretimine yönelik yapılan çalışmalar incelendiğinde konuyla alakalı çok fazla çalışma yapılmış olmasına rağmen hâlâ bazı eksikliklerin olduğu görülmektedir [1-7]. İncelenen çalışmalardan yola çıkılarak farklı katkı maddeleri ve katkı miktarları kullanılarak bu eksikliklerin giderilmesi amaçlanmaktadır. Bununla birlikte TiO_2 ince film üretimine yönelik birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen Ca ve Mn katkısının birlikte yapıldığı bir çalışmaya da rastlanmamıştır. TiO_2 , n tipi bir yarı iletken olması nedeniyle Mn ve Ca ise optik bant boşluğunun ayarlanabilmesi ve katkılı olduğunda elektrokimyasal özellikleri artırması nedeniyle bu çalışmada tercih edilmiştir. Bu tez çalışmasında Ca ve Mn katkısıyla TiO_2 ince filmlerin yasak enerji aralığında, soğurma, yansıma ve geçirgenlik değerlerinde ne tür değişiklikler olacağı detaylı bir şekilde incelenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca Ca ve Mn katkısıyla TiO_2 ince filmlerin morfolojik özelliklerini iyileştirmek amaçlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında mangan (Mn) ve kalsiyum (Ca) katkılı titanyum dioksit (TiO_2) ince filmler üretilmiştir. İnce filmler üretilirken sol jel döndürerek kaplama yöntemi kullanılmıştır. Ca ve Mn katkı oranındaki değişikliğe bağlı olarak numunelerin optik ve morfolojik özelliklerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde yapılan katkılama ile numunelerin optik ve morfolojik özelliklerinde önemli değişimler olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmanın gelecekte yapılacak olan çalışmalarda farklı katkı malzemesi kullanılması veya farklı oranlarda katkılama yapılması açısından literatüre fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

2. KONUNUN LİTERATÜRDEKİ YERİ

Veysel Atas, döndürerek kaplama yöntemiyle TiO_2 ince filmler üretmiştir. Elde ettiği filmlerin yasak enerji aralıklarının 3.94-3.97 eV arasında değerlere sahip olduğunu tespit etmiştir [1].

Savaş Sönmezoğlu ve arkadaşları ince filmlerin üretim yöntemlerini detaylı olarak inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Her tekniği detaylı olarak açıklamış avantaj ve dezavantajlarını ifade etmişlerdir. Değişken parametrelerin etkisini ve ince film üretiminde dikkat edilecek hususları detaylı olarak açıklamışlardır [3].

Semih Çulhaoğlu, sol jel daldırarak kaplama yöntemiyle bor (B) ve azot (N) katkılı TiO_2 ince filmler üretmiştir. Katman sayısındaki artışa bağlı olarak optik geçirgenliğin azaldığını ve filmlerin daha fazla ışık soğurduğunu tespit etmiştir. Ayrıca B ve N katkısındaki artış ile filmlerin daha az ışık soğurduğunu tespit etmiştir [4].

Serdar Bardakçı, sol jel daldırarak kaplama yöntemiyle TiO_2 ince filmler üretmiştir. Kırılma indisinin 2,08-2,14 arasında değiştiğini tespit etmiştir. XRD sonuçlarından TiO_2 'nin anataz yapıda olduğunu tespit etmiştir [5].

Serhat Yaşar, TiO_2 yarıiletken filmleri döndürerek kaplama yöntemiyle üretmiştir. Filmlerin XRD sonuçlarından TiO_2 'nin anataz yapıda olduğunu tespit etmiştir. Filmlerin tane boyutlarının 30-37 nm aralığında değiştiğini hesaplamıştır. Yasak enerji aralıklarının 3.5-3.7 eV arasında değiştiğini tespit etmiştir [6].

Hacer Yasemen Öztürk, sol jel daldırarak kaplama yöntemiyle kobalt (Co) katkılı ve katkısız TiO_2 ince filmler üretmiştir. XRD sonuçlarından TiO_2 filmlerin anataz yapıda olduğunu tespit etmiştir. AFM ve SEM sonuçlarından Co katkı oranındaki artışla gözenek miktarının arttığını ve parçacık boyutlarının büyüdüğünü tespit etmiştir. Saf TiO_2 'nin yasak enerji aralığı 3.25 eV bulunmuştur. Co katkı miktarındaki artışla yasak enerji aralığında bir düşüş olduğunu tespit etmiştir [7].

Pınar Çölkesen, sol jel döndürerek kaplama yöntemiyle stronsiyum (Sr), gadolinyum (Gd), mangan (Mn), kobalt (Co) ve zirkonyum (Zr), katkılı baryum titanat ($BaTiO_3$) ince filmler üretmiştir. XRD sonuçlarından sadece Co ve Mn katkılı filmlerde kristal yapı oluştuğunu tespit etmiştir. AFM analizlerinden katkısız $BaTiO_3$ filmlerinde kaplama sayısı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı tespit etmiştir [8].

Duygu Durmaz, sol jel döndürerek kaplama yöntemiyle TiO_2 ince filmler üretmiştir. XRD sonuçlarından tüm filmlerin anataz yapıda olduğunu ve (011) yönünde tercihli büyüme sergilediğini tespit etmiştir. AFM sonuçlarından katman sayısı arttıkça yüzey homojenliğinin iyileştiğini ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığını tespit etmiştir [9].

Seval Aksoy, sol jel yöntemiyle metal oksit ince filmler üretmiştir. XRD sonuçlarından TiO₂ filmlerin polikristal ve anataz yapıda olduğunu tespit etmiştir. Depolama sıcaklığı arttıkça yapının anatazdan rutile kaydığı ve kristal boyutlarında büyüme olduğunu tespit etmiştir. Artan sıcaklığın yasak enerji aralığında düşüşe sebep olduğunu tespit etmiştir [10].

Mustafa İlhan, kadminyum (Cd) katkılı TiO₂ ince filmleri sol jel döndürerek kaplama yöntemiyle üretmiştir. SEM analizlerinden nano boyutta taneler olduğunu ve Cd katkı oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğünde artış olduğunu tespit etmiştir. Katkısız TiO₂'nin yasak enerji aralığını 3.25 eV olarak bulmuştur. Katkı oranı arttıkça yasak enerji aralığında artış olduğunu tespit etmiştir [11].

Dilek Şura Özden Dinç, altın (Au) ve gümüş (Ag) kaplı titanyum (Ti) nano çubuklar üretmiştir. SEM görüntülerinden yüzey morfolojisindeki temel etkenin buhar biriktirme açısı olduğunu tespit etmiştir [12].

Cihat Aydın, sol jel döndürerek kaplama yöntemiyle mangan (Mn) ve nikel (Ni) katkılı çinko oksit (ZnO) ince filmler üretmiştir. AFM analizlerinden tüm numunelerin nano parçacıklardan oluştuğu ve kalınlıklarının 0,625-1,302 µm aralığında değiştiğini tespit etmiştir. Mn ve Ni katkısıyla yüzey pürüzlülük değerinde bir artış olduğunu tespit etmiştir. ZnO ince filmlerin farklı elementlerle katkılanarak özelliklerinin geliştirilmesinin ileri elektronik uygulamaların alt yapısını oluşturacağını düşünmektedir [13].

Hakan Ateş ve arkadaşı, nano malzemelerin üretim yöntemlerini detaylı bir şekilde araştırmıştır. Özellikle nano parçacıklar ve nano teller hakkında kapsamlı bilgi vermişlerdir [14].

Cihat Aydın, sol jel döndürerek kaplama yöntemiyle üçlü nano tabakalı gaz sensörleri üretmiştir. Üretilen filmlerin (SnO₂, ZnO, TiO₂) karbonmonoksit (CO) algılama özelliğini araştırmıştır. Üçlü oksit nanol tabakaların havadaki CO gazına duyarlı olduğunu tespit etmiştir. Gaz konsantrasyonundaki artışla gaz sensörünün hassasiyetinin doğru orantılı olarak arttığını tespit etmiştir [15].

Hasan Sarıgül ve arkadaşı, sol jel yöntemiyle TiO₂ ince filmler üretmişlerdir. TiO₂ filmlerin amorf yapıda olduğunu tespit etmişlerdir. Filmlerin yasak enerji aralığının 3.78-4.04 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir [16].

Mehmet Deniz Çalışkan, TiO₂ ince filmler üreterek bunlardan fotodetektör elde etmiştir. TiO₂ ince filmlerden iyi performans gösteren fotodetektörler üretilebileceği sonucuna varmıştır [17].

Zülfü Tüylek, nanomalzeme üretim yöntemleri üzerine bir araştırma yapmıştır. Üretilen nanomalzemelerin yapısal değişiklikleri ve seri üretimi hakkında kapsamlı bilgi vermiştir. Üretilen nanomalzemelerin çevreye etkisinden bahsetmiştir [18].

Christine Hummelgard ve arkadaşları döndürerek kaplama yöntemiyle titanyum-rutenyum ince filmler üretmişlerdir. Filmi oluşturan alt katmanlar ne kadar pürüzsüzse filmde o kadar az

çatlak oluştuğunu tespit etmişlerdir. Çalışmanın bilime ve endüstriye, elektrotların temel çalışma sisteminde fayda sağlayacağını düşünmektedirler [19].

Xiadong Wang ve arkadaşları sol jel döndürerek ve daldırarak kaplama yöntemlerini birlikte kullanarak TiO_2 ince filmler üretmişlerdir. Bu yöntemlerin birlikte kullanılmasıyla eşsiz bir yapı elde etmişlerdir. Filmlerin küçük ve homojen tanelerden oluştuğu tespit etmişlerdir [20].

Monika Singh ve arkadaşları döndürerek kaplama yöntemiyle baryum titanat ($BaTiO_3$) ince filmler üretmişlerdir. SEM görüntülerinden filmlerin gözenekli yapıya sahip olduğunu tespit etmişlerdir. $BaTiO_3$ 'ün yasak enerji aralığını 3.9 eV olarak hesaplamışlardır [21].

Chung-Yi Wua ve arkadaşları sol jel döndürerek kaplama yöntemiyle TiO_2 ince filmler üretmiştir. İnce filmlerin kalınlığa bağlı olarak fotokatalitik özelliklerini incelemişler ve yüksek fotokatalitik performans sergilediklerini tespit etmişlerdir [22].

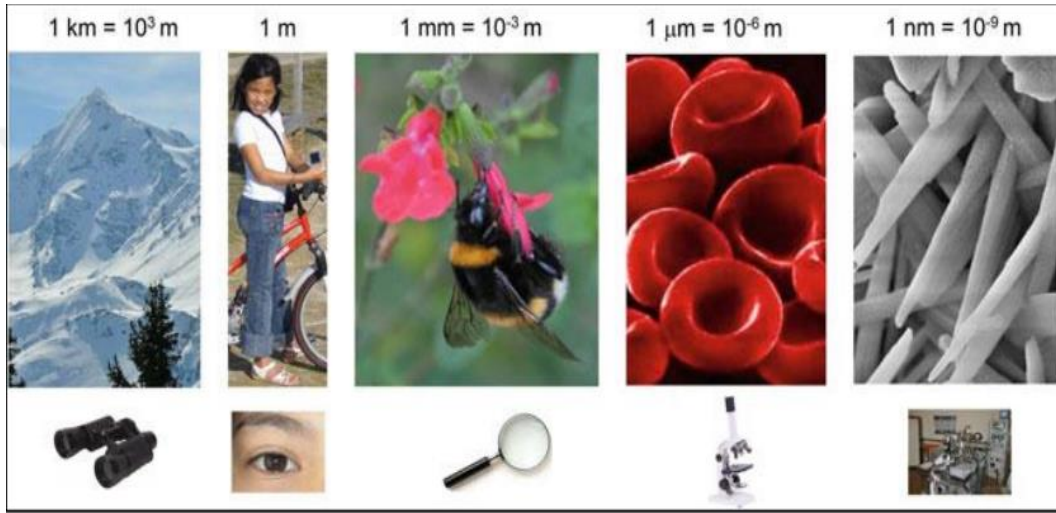
C.Y.V. Lin ve arkadaşları döndürerek kaplama yöntemiyle Mn katkılı TiO_2 ince filmler üretmiştir. Katkısız TiO_2 'nin yasak enerji aralığını 3.32 eV bulmuşlardır. Mn katkısıyla yasak enerji aralığının 2.90 eV değerine düştüğünü tespit etmişlerdir. Filmlerin homojen ve çatlaksız olduğunu tespit etmişlerdir [23].

Ömer Biçer, döndürerek kaplama yöntemiyle Mn katkılı TiO_2 ince filmler üretmiştir. XRD analizi ile katkısız ve Mn katkılı filmlerin anataz yapıda olduğunu tespit etmiştir. % 0, 1, 3 ve 5 Mn katkılı TiO_2 filmlere ait yasak enerji aralığı değerleri sırasıyla 3.20, 2.96, 2.75 ve 3.10 eV olarak hesaplamıştır [24].

Fehmi Aslan ve arkadaşları çeşitli metal oksit nano tozlar ile üretilmiş fotodiyotlar ile ilgili son 10 yılda yapılan çalışmaları detaylı olarak incelemiştir. TiO_2 'nin optik bant aralığı 3.17 eV olarak bulunduğu belirtilmiştir [25].

3. NANOTEKNOLOJİ VE NANOMALZEME

Kökeni Yunanca olan Nano kelimesi “küçük” veya “cüce” anlamındadır. Ölçüm olarak bakıldığında ise 1 nanometre metrenin milyarda biridir. Nanoteknoloji de 10^{-9} metre ölçeğini kullanarak, maddelerin çok küçük boyutlarda, atomik seviyelerde işlenmesiyle hem daha az enerji hem de daha az malzeme kullanarak hafif, küçük ve üstün özelliklere sahip malzeme üretmeyi amaçlar. 1 nanometrenin ne kadar küçük bir uzunluk olduğunu şekil 3.1.’den açıkça görebiliriz [26].



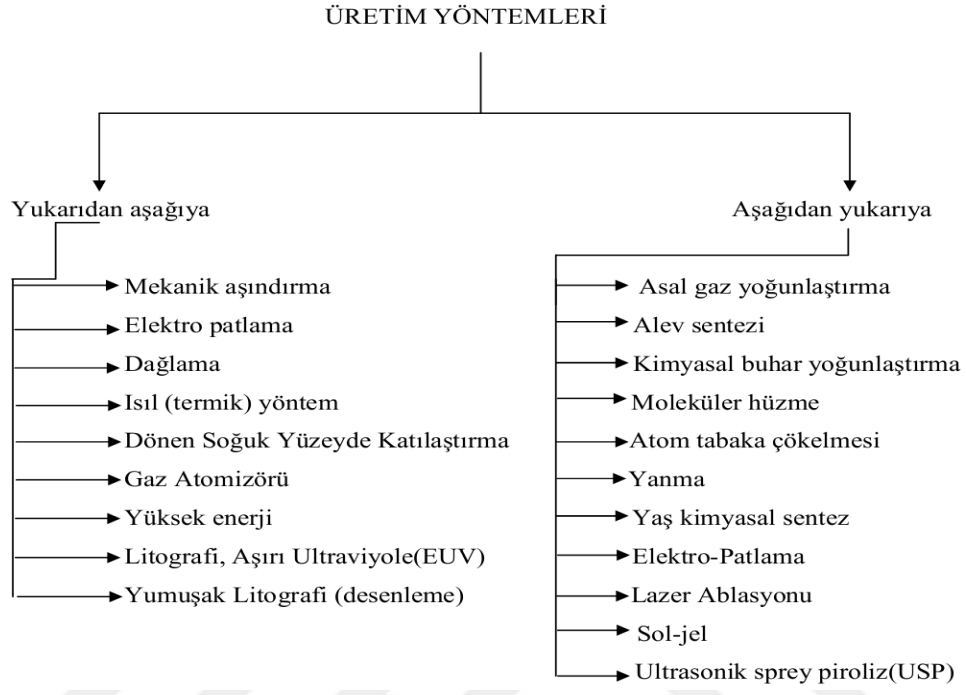
Şekil 3.1. Bazı Uzunluklar[26]

Nanoteknoloji malzeme biliminde daha hafif ve daha kuvvetli malzeme üretiminde, matematikte modellemede, fizikte teorik öngöründe, kimyada seçici depolamada, biyolojide biyosensörlerde, eczacılık ve tıpta yapay kemik üretiminde ve bilgisayar mühendisliğinde kuantum bilgisayarlarında kullanılmaktadır. Verilen örnekler kullanım alanlarından sadece bazılarıdır. Artık birçok alanın temelini nanoteknoloji oluşturmaktadır ve hızla gelişmeye devam etmektedir. Nanoteknolojiyle moleküler seviyede çalışılarak tamamen yeni özelliklerde malzemeler üretmek ve bu malzemeleri çok daha küçük boyutlarda, sağlamlığı yüksek, yüksek kalitede ve maliyeti düşük olacak şekilde üretmek mümkün [14].

3.1. Nanomalzeme Üretim Metotları

Nano malzemelerin üretimi aşağıdan-yukarıya ve yukardan-aşağıya üretim olmak üzere iki temel gruba ayrılır. Atomların ve moleküllerin birbirine çeşitli reaksiyonlarla kontrollü bir şekilde tutunması, büyüterek sentezlenmesi, kümeleri ve sistemleri oluşturması aşağıdan yukarıya üretim yöntemlerinin temel prensibidir.

Bütün halindeki malzemeden küçük parçacıkların elde edilmesi ise yukarıda aşağıya üretim yöntemlerinin temel prensibidir [14]. Nanomalzemelerin üretim teknikleri Şekil 3.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Nanomalzemelerin Üretim Yöntemleri [27]

4. İNCE FİMLER

Kalınlık olarak genelde 1 μm 'nin altında olan ince filmler, birçok üretim yönteminde kullanılan ve atomların filmi destekleyerek film oluşumuna yardımcı olan malzemelerdir. Bunun yanı sıra haberleşme, çeşitli bilgisayar donanımları ve sensörler gibi sayısız elektronik cihazın içinde yer almaktadır. Nanomalzemelerin tasarlanması, geliştirilmesi ve üretilmesinde de ince filmler yüksek seviyede öneme sahiptir. Bu ve daha birçok avantajından dolayı ince film üretim teknolojisi günümüzde araştırmacılar da merak uyandıran popüler bir çalışma konusu olmuştur [3].

4.1. Yarıiletken İnce Filmler

Günümüzde yarıiletken ince film teknolojisi yarıiletken sanayisinde çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Işık yayan diyotlar, güneş pilleri, lazerler, sensörler, transistörler ve entegre devreler yarıiletken teknoloji ile üretilen malzemelere örnek olarak verilebilir.

Özellikle son yıllarda bilimsel araştırmaların temelini oluşturan yarıiletken ince film üretimi dünya çapında çalışılan bir araştırma alanıdır. İnce filmler, çeşitli üretim yöntemleri kullanılarak kaplanacak malzemenin atomlarının ya da moleküllerinin, bir alttaş üzerine ince bir tabaka halinde oluşturulan ve kalınlıkları tipik olarak 1 μm civarında olan yarıiletken malzemelerdir. Kullanılan alttaşın temizliği, fiziksel ve kimyasal yapısı filmin alttaşa tutunma derecesini önemli ölçüde etkileyen parametrelerdir.

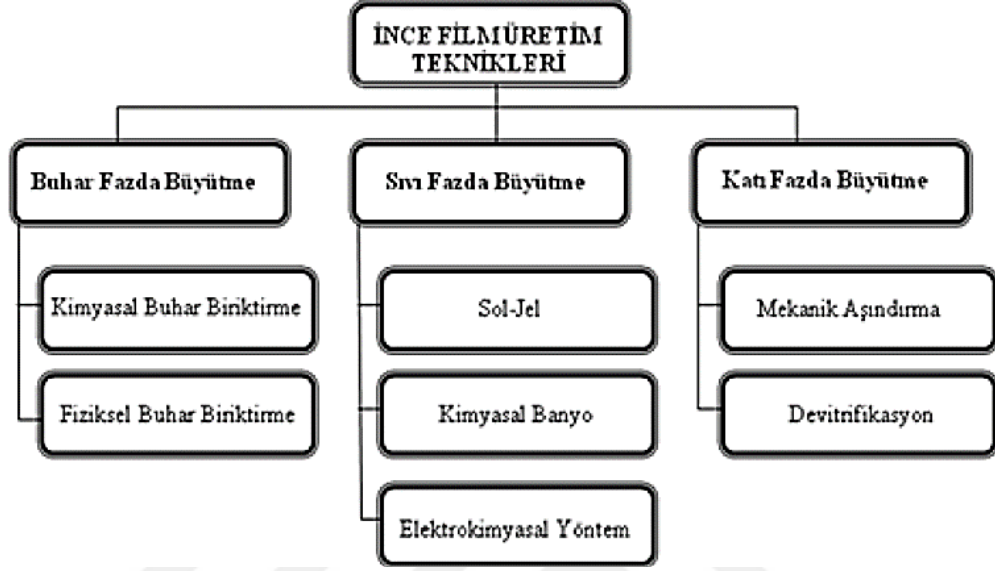
Yarıiletken ince film teknolojisinin avantajları aşağıdaki gibidir:

- Yüksek derecede saflığa sahip malzeme eldesi,
- Film oluşumu esnasında sıcaklık, kalınlık gibi kontrol edilebilir parametreler sayesinde çeşitli malzeme eldesi,
- Homojenlik kontrolü sağlanabilmesi ve küçük geometrilerin 3 boyutlu oluşabilmesi,
- Malzeme israfının önüne geçmesi,
- Uygulaması kolay, hızlı ve ekonomik olmasıdır.

Yarıiletken filmler, geniş yüzeyli olarak üretilbildikleri için teknolojik anlamda önemli bir yere sahiptirler. Bununla birlikte bu filmlerin büyük tane sınırlarına ve üretim yöntemlerinden kaynaklanan kusurlara sahip olması gibi dezavantajları da vardır. Yarıiletken cihazlarda kullanılan filmler uygun kalınlık, bileşim ve yüzeyde pürüzsüzlük gibi bazı özelliklere sahip olmalıdır. Yarıiletkenler ince filmlerin elektriksel iletim özellikleri, kristalografik kusurlara ve kimyasal özelliklerindeki küçük değişimlere karşı oldukça hassastırlar [27].

4.2. İnce Film Üretim Yöntemleri

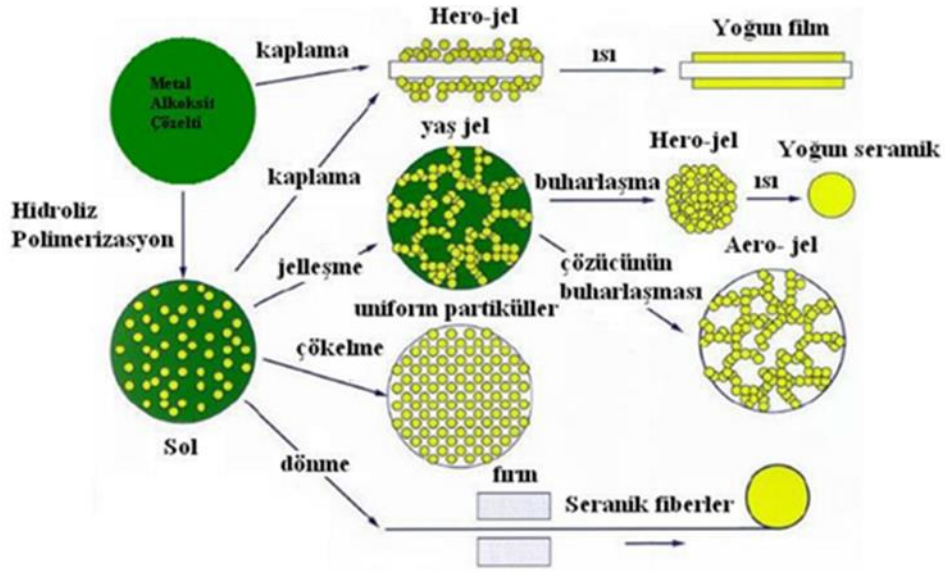
Temel olarak ince film üretim teknikleri 3 gruba ayrılmaktadır. Bunlar; buhar fazda büyüme, sıvı fazda büyüme ve katı fazda büyümedir. Alt grupları ile birlikte Şekil 4.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. İnce Film Üretim Teknikleri [27]

4.3. Sol-Jel Metodu

İnce film teknolojisinde çok sık kullanılan Sol-jel yöntemi sıvı solden katı jelin oluşması esasına dayanmaktadır. Katı malzemenin sıvı içerisindeki hali sol olarak tanımlanır. Atomlar ve moleküller arasındaki Van Der Waals ve elektriksel itme kuvveti yerçekimine kıyasla daha kuvvetli olduğu için solü oluşturan malzemeler dibe çökmez. Çözelti içerisinde molekülün genişlemesiyle boyutu büyür ve jeli oluşturur. Oluşan bu yapının devamlılığı ise jele elastiklik kazandırır. Sol jel tekniğine ait işlem prosesi şekil 4.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Sol-Jel Tekniği [28]

Sol-jel yöntemi geniş yüzeylere uygulanabilirliği, tekrar eden ve düşük sıcaklık gerektiren işlemlere olanak sağlaması teknolojik uygulamalar için büyük bir önem taşımaktadır. Yöntemin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Avantajları;

1. Çok yüksek sıcaklıklara ve vakuma gerek olmaması,
2. Kullanılan alet ve makinelerin basit olması,
3. Yüksek saflıkta malzeme eldesi,
4. Kalınlığın filmin her yerinde aynı olması ve buna bağlı olarak yüksek homojenlikte malzeme eldesi,
5. Filmin yüzey alanının istenen boyutlarda ayarlanabilir olması,
6. %0 ile %65 arasındaki oranlarda gözenekli yapıya olanak sağlaması,
7. Farklı geometrideki malzemelere uygulanabilir olması,
8. Geleneksel yöntemlere kıyasla enerji tasarrufu sağlaması,
9. Hava kirliliğine sebep olmaması ve çevreye zarar vermemesidir.

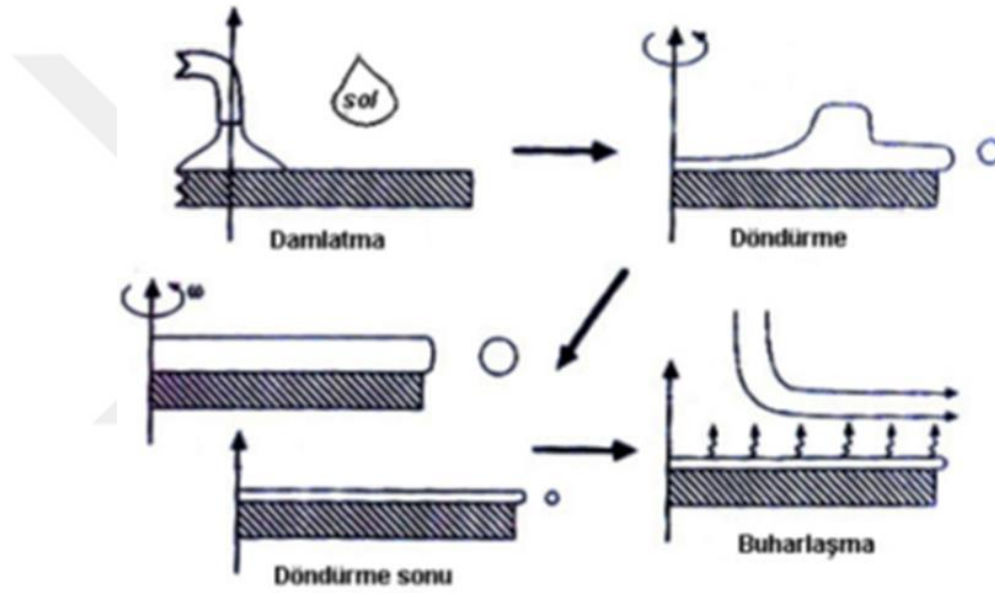
Dezavantajları;

1. Deneysel aşamada gerekli bazı kimyasal maddelerin kullanımının sağlığa zararlı olması,
2. Üretilen malzeme çok katmanlı ise üretiminin zaman alması,
3. Çözelti ömrünün kısa olması,
4. Solüsyon kaybı olması,
5. Malzemelerin pahalı olmasıdır.

4.3.1. Döndürerek Kaplama Yöntemi

Döndürerek kaplama yöntemi jelin sert bir yüzeye damlatılması ve belirli hızlarda döndürülerek kaplanması esasına dayanır. Bu işlem çok katlı uygulamalarda kullanılabilmesinin yanı sıra yüksek dönme hızlarına çıkabilmesiyle de oldukça avantaj sağlar. Yöntem genel olarak birbirini takip eden 4 aşamaya ayrılabilir. Bunlar;

- 1) Damlatma,
- 2) Döndürme,
- 3) Durdurma,
- 4) Buharlaştırma.



Şekil 4.3. Döndürerek Kaplama İşlem Aşamaları [1]

Şekil 4.3.'de döndürerek kaplama işlem aşamaları gösterilmiştir. İlk aşamada kaplanacak malzeme üzerine bir pipet yardımıyla sıvı damlatılır. İkinci aşamada belirlenen bir hızda döndürme işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem sırasında bir miktar sıvı yüzeyden ayrılır ve filmin daha ince olmasını sağlar. Film üzerinde kalan sıvı daha az uçucudur. Böylelikle film üzerinde kalan sıvı konsantrasyonu da artmış olur. Ayrıca film bu aşamada akışkanlığa karşı da bir direnç kazanmış olur. Döndürme işlemi tamamlandıktan sonra film buharlaşma işlemine tabii tutulur. Son aşama olan buharlaştırma aşaması filmlerin incilmesi açısından büyük öneme sahiptir. Yöntemin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Avantajları;

- Uygulaması kolay ve hızlı olması,
- Kaplama için gerekli çözelti miktarının çok az olması,

- Kalınlığın ayarlanabilir olması,
- Dönme hızının ayarlanabilir olması,
- Yöntemin art arda işlemlere olanak sağlaması,
- Homojen malzeme elde edilmesidir.

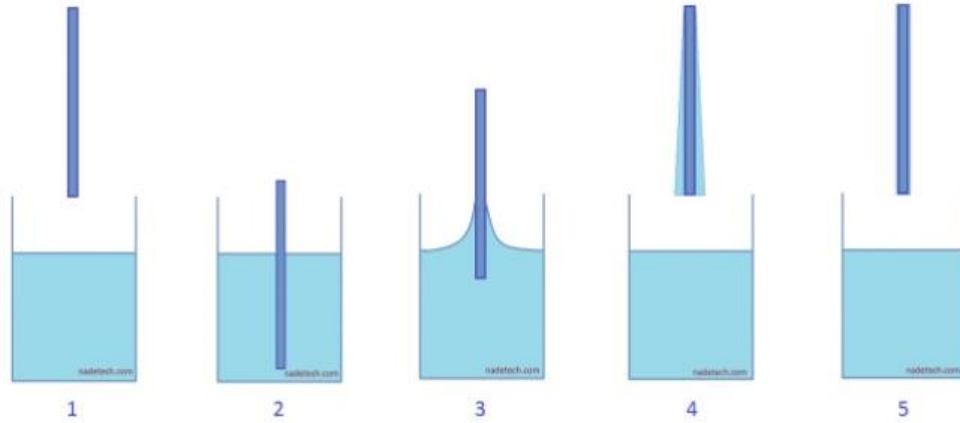
Dezavantajları;

- Kullanılan altlığın ve cihazın çok temiz olması gerekmektedir,
- Bazı malzemelerin çok hızlı buharlaşmasından dolayı filmin oluşmaması,
- Bazı malzemelerde katman sayısının artmasıyla filmin bozulmasıdır [29].

4.3.2. Daldırarak Kaplama Yöntemi

Çoğunlukla şeffaf tabakaların üretiminde kullanılan bu yöntem numunenin belirli bir hızda çözeltiye daldırılıp aynı hızda çıkarılması esasına dayanır. Daldırarak kaplama yönteminin aşamaları aşağıdaki gibidir:

- 1) Daldırma Aşaması
- 2) Çıkarma Aşaması
- 3) Kaplama Aşaması
- 4) Süzülme Aşaması
- 5) Buharlaşma Aşaması



Şekil 4.4. Daldırarak Kaplama Yöntemi Aşamaları [27]

Şekil 4.4.'de daldırarak kaplama işlem aşamaları gösterilmiştir. İlk aşama olan daldırma aşamasında şeffaf taşıyıcı belirlenen bir hızda çözelti içerisine daldırılır ve ikinci aşama olan çıkarma aşamasında yine aynı hızda şeffaf taşıyıcı çıkarılır. Çıkarılan şeffaf taşıyıcı üzerindeki

fazla sıvı süzülür ve ardından buharlaştırma işlemi gerçekleşir. Bu aşamalar sonucunda ince film elde edilmiş olur. Yöntemin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Avantajları;

- Farklı geometrilere sahip malzemelerin kaplanması mümkündür,
- Basit ve ekonomik bir yöntemdir,
- Kaplama işlemi farklı hızlarda gerçekleştirilebilir,
- Malzemenin kalınlığı kontrol edilebilir,
- Yüksek saflıkta malzeme elde edilmesine olanak sağlar.

Dezavantajları;

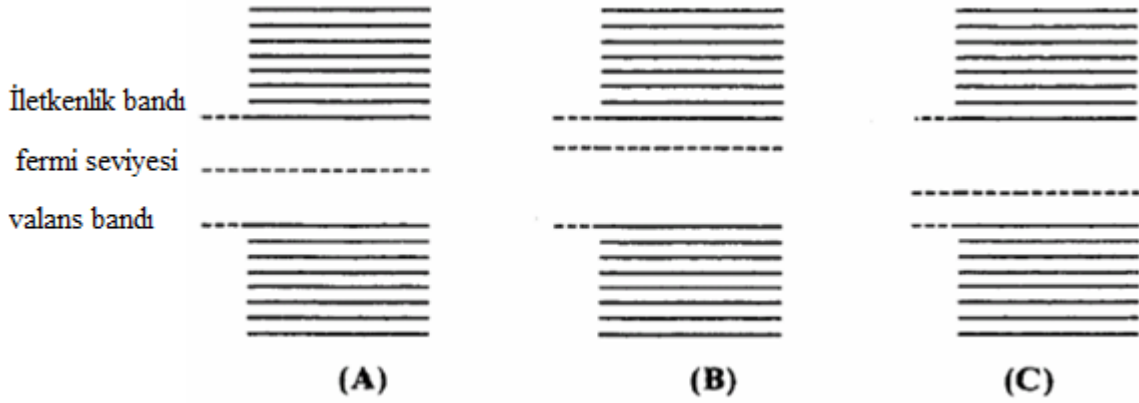
- Kaplanacak olan malzemenin yüzeyi geniş ise çok fazla çözültüye ihtiyaç duyulabilir ve maliyeti fazla olabilir.
- Taşıyıcının tek yüzeyi kaplanmak istendiğinde diğer yüzeyi kapatırken çeşitli sorunlar yaşanabilir [29].

5. YARI İLETKENLER

Atomik yapılarında boş bir iletkenlik bandına ve dolu bir valans bandına sahip olan malzemelere “yarıiletken malzemeler” denir. Bir malzemede bir elektronun işgal edebileceği muhtemel enerji seviyelerine ise bant denir. Atomların birbirine bağlanmasından sorumlu olan valans elektronları ise dış yörüngedeki elektronlardır. Valans elektronlarının bulunduğu en yüksek enerji seviyesinde olan banda valans bandı adı verilir. En düşük enerji seviyesinde bulunan ve valans bandının dışında bulunan banda ise iletkenlik bandı adı verilir. Yasak bant aralığı ise bu iki bant arasında bulunan boşluğa denir. Yasak bant aralığında bir yerde bulunan Fermi seviyesi ise bir enerji seviyesindeki bir eletron tarafından işgal edilme olasılığı $\frac{1}{2}$ olan enerji olarak tanımlanır. Fermi seviyesinin bulunduğu yer, malzemenin bant aralığına, boşlukların ve eletronların efektif kütlelerine bağlıdır.

Şekil 5.1.’de Fermi seviyesine göre yarıiletken türleri verilmektedir. Yasak bant aralığındaki fermi seviyesinin konumuna göre yarıiletkenler üçe ayrılır:

- 1) Saf Yarıiletkenler: Fermi seviyesinin yasak bant aralığının ortasında bulunduğu durumdur.
- 2) N-tipi Yarıiletkenler: Fermi seviyesinin iletkenlik bandına yakın olduğu durumdur.
- 3) P-tipi Yarıiletkenler: Fermi seviyesinin valans bandına yakın olduğu durumdur [29].



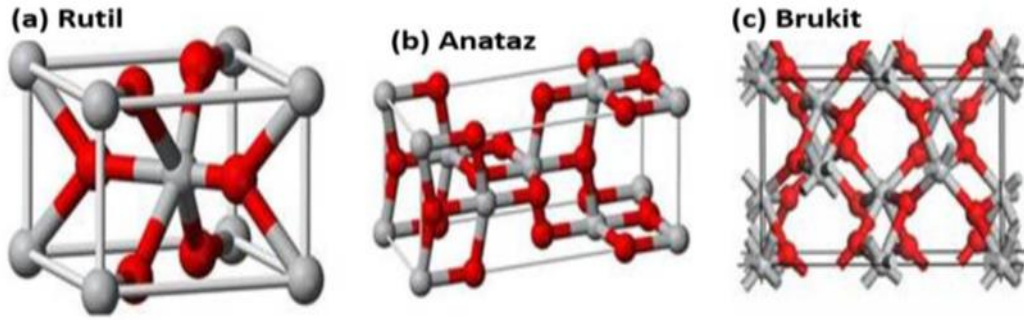
Şekil 5.1. Fermi seviyesine göre yarıiletken türleri: (A)saf (B) n-tipi (C) p-tipi [29]

5.1. Titanyum Dioksit (TiO₂)

Yer kabuğunda en çok bulunan 9. element olan Titanyum, cevher olarak en çok Kanada, Güney Afrika ve Avustralya’da bulunmaktadır. Titanyum birçok oksit oluşturur (TiO, Ti₂O₃, Ti₃O₅, Ti₄O₇ ve TiO₂ gibi). Titanyum oksitleri içerisinde havada en kararlı halde bulunan Titanyum dioksit (TiO₂)’dir [4]. TiO₂ farklı elektriksel, optik ve kimyasal özelliklerinden dolayı son

zamanlarda en çok araştırılan malzemelerden olmaya başlamıştır. Yarı iletken olarak geniş bir yasak bant aralığına (3 eV–5 eV) sahip olması da araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Yüksek geçirgenliğe, geniş bir dalga boyu spektrumuna ve yüksek kırılma indisine sahiptir. Bahsedilen özelliklerinden dolayı gaz sensörlerinde, güneş pillerinde, koruyucu ve yansımaya önleyici kaplamalarda, optik devrelerde araştırılmaya ve uygulamaya devam edilmektedir. TiO_2 'nin yarı iletkenler içerisinde dikkat çeken bir diğer özelliği de benzersiz bir foto katalizör olmasıdır. TiO_2 elektrodu suyu bileşenlerine ayırıp su içerisindeki siyanürü ayrıştırabilmesi çeşitli çevre problemlerinin çözülebilmesi için bir kurtarıcı niteliği taşımaktadır [1].

TiO_2 'nin üç farklı kristal yapısı vardır. Bunlar anataz, rutil ve brukitdir (Şekil 5.2.). Anataz ve rutil tetragonal, brukit ortorombik yapıdadır. Düşük sıcaklıklarda kararlı olan anataz fazı, yüksek sıcaklıklara çıkıldığında rutil faza dönüşür. Yüksek sıcaklıklarda kararlı olan rutil fazının ergime sıcaklığı 1858 °C'dir.



Şekil 5.2. TiO_2 'nin (a) rutil, (b) anataz ve (c) brukit fazlarının kristal yapıları [4]

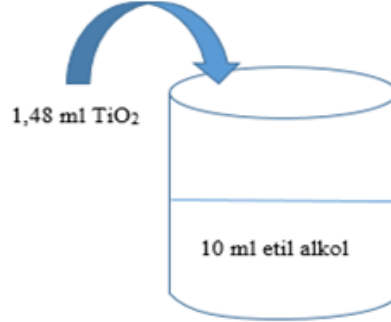
Anatazdaki Ti-Ti mesafeleri rutil ile kıyaslandığında daha uzundur. Ancak Ti-O mesafeleri rutilde anataza göre daha uzundur. Anataz ve rutil arasındaki bu farklar bant yapılarına ve kütle yoğunluklarına yansır. N-tipi bir yarı iletken olan TiO_2 'nin anataz fazının yasak bant enerjisi 3.2 eV, brukit fazının 3.1 eV ve rutil fazının 3.0 eV'dur [4].

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada çok katmanlı filmler üretilmesine olanak sağlaması, yüksek saflıkta ve homojenlikte malzeme elde edilebilmesi gibi avantajlarından dolayı sol jel döndürerek kaplama yöntemi kullanılarak ince film nano malzemeler üretilmiştir.

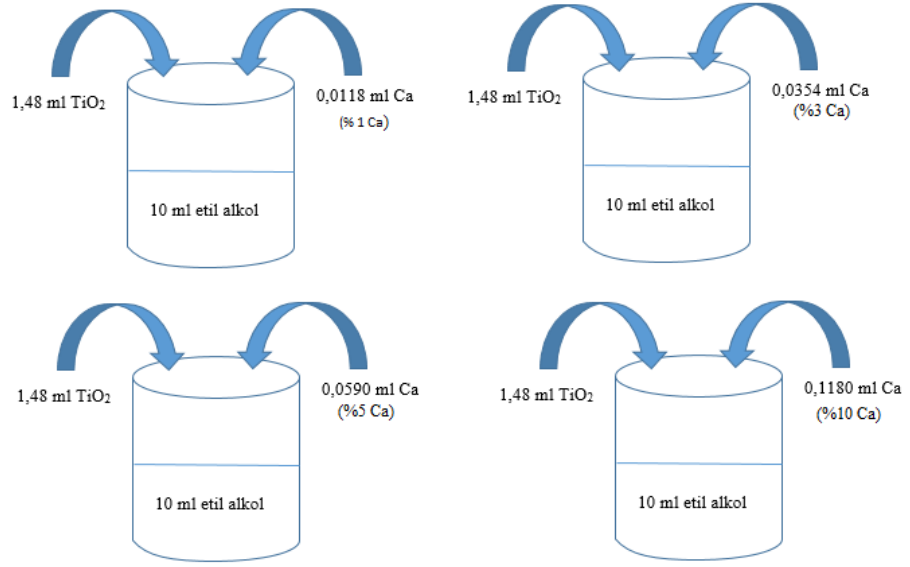
Deneysel çalışmanın aşamaları:

- 1) Başlangıç malzemesi olarak Titanium (IV) isopropoxide ($C_{12}H_{28}O_4Ti$) ve etil alkol (C_2H_5OH) akışkanları kullanıldı.
- 2) Katkı maddesi olarak Kalsiyum Nitrat-Tetrahidrat ($Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$) ve Mangan Nitrat-Tetrahidrat ($Mn(NO_3)_2 \cdot 4 H_2O$) kullanıldı.
- 3) Stabilizör olarak hidroklorik asit (HCl) kullanıldı.
- 4) İlk olarak 10 ml etil alkol için TiO_2 madde miktarı hesaplandı. Molarite $M=n \div v$ formülünden hesaplandı. Bulunan n değeri $m=n \times M_a$ formülünde yerine yazılarak madde miktarı hesaplandı. TiO_2 maddesi sıvı olduğu için $d=m \div v$ formülünden sıvı madde miktarının kaç ml olacağı hesaplandı. Yapılacak katkı miktarları için ise esas matrise göre hesaplanan mol miktarının katkı oranına göre yüzdesi alınarak katılacak madde miktarları hesaplanmalıdır [2]. Şekil 6.1.'de hazırlanan saf TiO_2 çözeltisi gösterilmektedir.



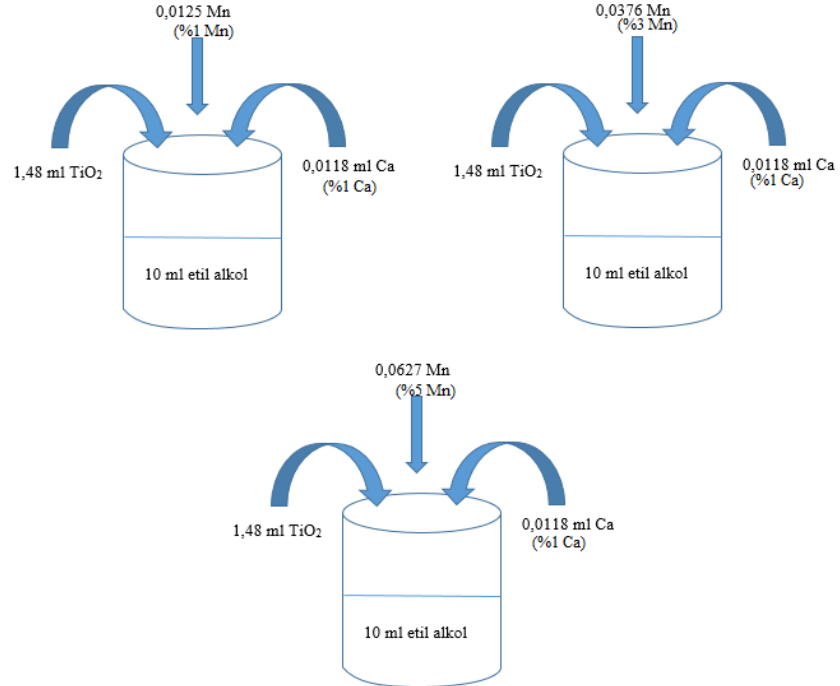
Şekil 6.1. Saf TiO_2 çözeltisi

- 5) Daha sonra TiO_2 'ye %1, %3, %5 ve %10 oranlarında katılacak olan Ca tozlarının miktarları hesaplandı. Şekil 6.2.'de hazırlanan Ca katkılı TiO_2 çözeltileri gösterilmektedir.



Şekil 6.2. %1, %3, %5 ve %10 Ca katkıli TiO_2 çözeltiler

- 6) Son olarak ise TiO_2 'ye %1 oranında Ca katkısı sabit tutulup %1, %3 ve %5 oranlarında katılacak olan Mn tozlarının miktarları hesaplandı. Şekil 6.3.'de hazırlanan Ca ve Mn katkıli TiO_2 çözeltileri gösterilmektedir.

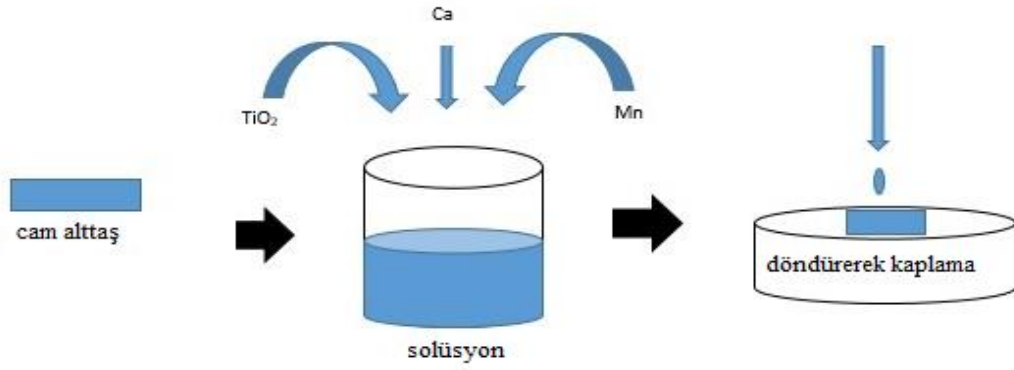


Şekil 6.3. %1 Ca + %1, %3 ve %5 Mn katkıli TiO_2 çözeltiler

- 7) Toplamda 8 farklı çözelti hazırlandı. Çözeltiye her bir madde eklendiğinde manyetik karıştırıcıda 15 dakika karıştırıldı. Daha sonra her bir çözeltiye 0,5 ml asetik asit eklendi ve çözeltiler homojenleşinceye kadar manyetik karıştırıcıda karıştırıldı.
- 8) Cam altlıkların temizlenmesi işleminde; ilk olarak aseton ile ultrasonik banyo cihazında 15 dakika temizlendi. Daha sonra saf su ile yine ultrasonik banyo cihazında 15 dakika temizlendi ve altlıklar azot gazı ile kurutuldu.
- 9) Cam altlıklar sırası ile döndürerek kaplama cihazına yerleştirildi. Hazırlanan jeller bir pipet yardımıyla camın yüzeyine damlatıldı. Daha sonra 1000 rpm'lik bir hızda 30 saniye boyunca dönme işlemi gerçekleştirildi. Bu işlem her bir numune için 3 kez tekrarlandı. Deneyde kullanılan FYTRONIX 8000 Spin Coater cihazı Şekil 6.4.'de gösterilmiştir. Döndürerek Kaplama Yöntemi İşlem Prosesi ise Şekil 6.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.4. FYTRONIX 8000 Spin Coater Cihazı



Şekil 6.5. Döndürerek Kaplama Yöntemi İşlem Prosesi

- 10) Kaplama işlemi tamamlandıktan sonra organik kirliliklerin uzaklaşması ve çözücünün buharlaşması için altlıklar kurutulma işlemine tabii tutuldu. Kurutma işlemi sırasında her bir altlık önceden ısıtılan 150 °C’deki ısıtıcı üzerinde 7 dakika kurutuldu. Bu işlem üçer dakika arayla 4 kez tekrarlandı.
- 11) Son aşama olan tavlama aşamasında ise altlıklar hava atmosferinde, bir tüp fırın içerisinde 450 °C’de 1 saat tavlandı. Bu işlem ile birlikte 8 adet ince film üretimi tamamlandı. Numunelere ait üretim parametreleri Tablo 6.1.’de verilmiştir.

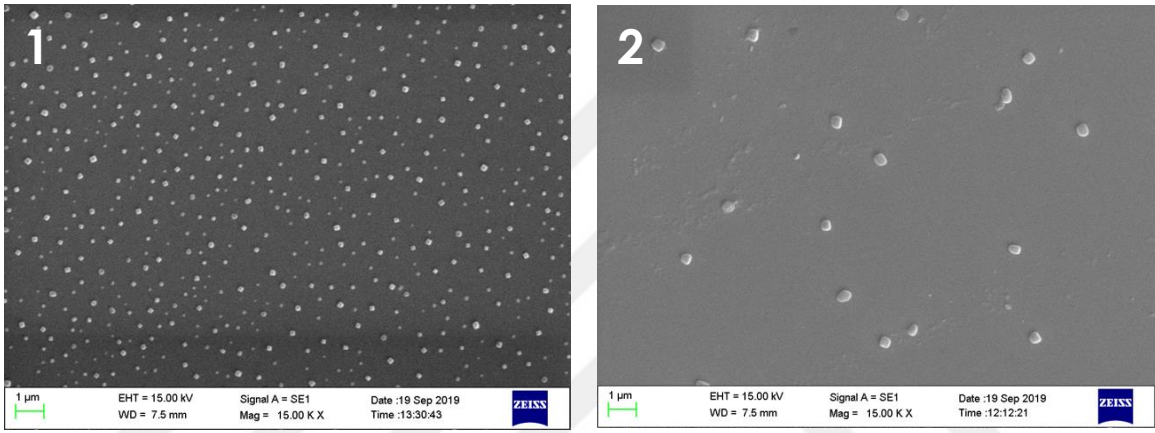
Tablo 6.1. Numunelerin Üretim Parametreleri

Numune Katkı Oranları	Döndürme Hızı ve Süresi	Katman Sayısı	Kurutma Sıcaklığı(°C) ve Süresi	Fırında Bekleme Süresi	Fırında Bekleme Sıcaklığı
Katkısız TiO ₂	1000 rpm, 30 sn	3	150 °C, 7 dk	1 saat	450 °C
% 1Ca+TiO ₂					
% 3Ca+TiO ₂					
% 5Ca+TiO ₂					
% 10Ca+TiO ₂					
% 1Ca+% 1Mn+TiO ₂					
% 1Ca+% 3Mn+TiO ₂					
% 1Ca+% 5Mn+TiO ₂					

7. SEM VE EDX ANALİZLERİ

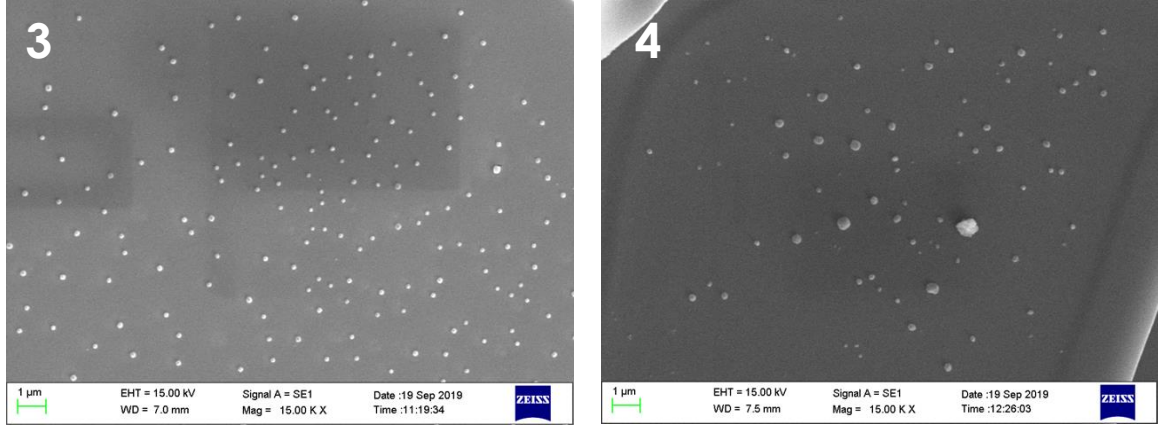
7.1. Sem Analizleri

SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu), numunenin yüzeyini odaklanmış elektron demeti tarafından tarayarak görüntü elde etmeye yarayan cihazdır. Numunenin yüzey topografisi ve kompozisyonu hakkında detaylı bilgi verir. Bu yöntemle nano boyutta görüntüler de elde edilebildiğinden ince film üretiminde oldukça kullanışlıdır. Bu nedenle üretilen tüm numunelerin SEM analizleri yapıldı. Ca ve Mn katkılı TiO_2 ince filmlerine ait SEM görüntüleri aşağıda verilmiştir.



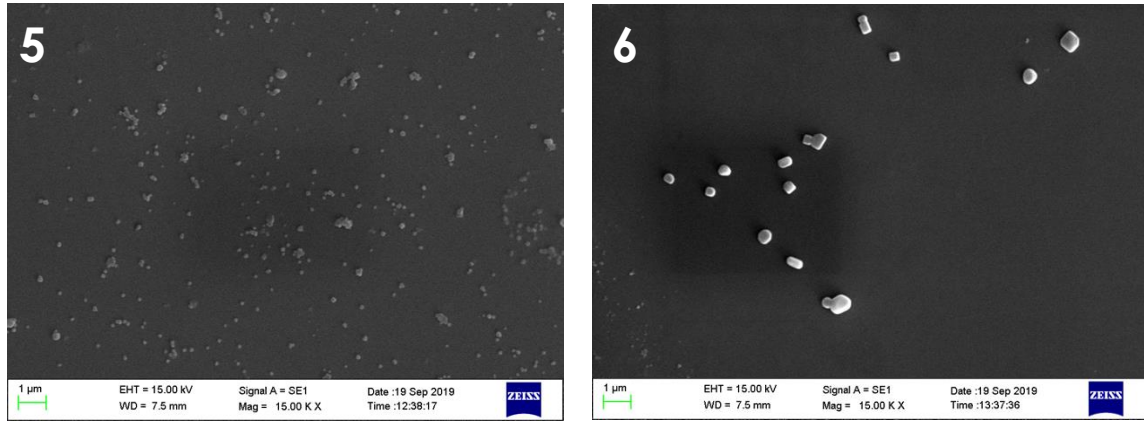
Şekil 7.1. Numunelere ait SEM görüntüleri 1) saf TiO_2 , 2) %1 Ca + TiO_2

Şekil 7.1.'de 1 ve 2 numaralı SEM görüntüleri incelendiğinde filmin nanopartiküllerden oluştuğu ve taneciklerin küresel formda olduğu açıkça görülebilmektedir. Şekil 7.1.'de saf TiO_2 'ye ait 1 numaralı görüntü incelendiğinde taneciklerin film yüzeyine homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Ancak 2 numaralı görüntüyle kıyaslandığında %1 Ca katkısıyla tanecik yoğunluğunda bir düşüş meydana geldiği ve taneler arası mesafenin arttığı görülmektedir. Bu da Ca katkısının homojenlikte bir düşüşe yol açtığını göstermektedir. Buradan saf TiO_2 filminin homojen bir yapıya sahip olduğunu, Ca katkılı filmin ise kısmen homojen bir yapıya sahip olduğu sonucunu çıkarabiliriz.



Şekil 7.2. Numunelere ait SEM görüntüleri 3) %3 Ca + TiO₂, 4) %5 Ca + TiO₂

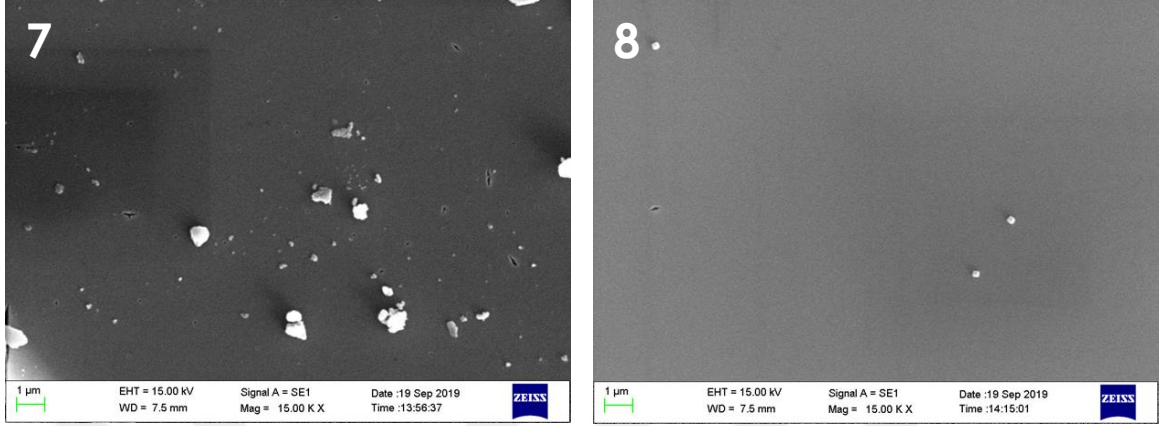
Şekil 7.2.'de 3 ve 4 numaralı SEM görüntüleri incelendiğinde filmin nanopartiküllerden oluştuğu ve taneciklerin küresel formda olduğu açıkça görülebilmektedir. Şekil 7.2.'de %3 Ca katkılı TiO₂'ye ait 3 numaralı görüntü incelendiğinde taneciklerin film yüzeyine homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Ancak 4 numaralı görüntüyle kıyaslandığında %5 Ca katkısıyla tanecik yoğunluğunda bir düşüş meydana geldiği görülmektedir. Bu da Ca katkı oranının artmasıyla homojenlikte bir düşüşe yol açtığını göstermektedir. Buradan %3 Ca katkılı TiO₂ filminin homojen bir yapıya sahip olduğunu, %5 Ca katkılı filmin ise kısmen homojen bir yapıya sahip olduğu sonucunu çıkarabiliriz.



Şekil 7.3. Numunelere ait SEM 5) %10 Ca + TiO₂, 6) %1 Mn + %1 Ca + TiO₂

Şekil 7.3.'de 5 ve 6 numaralı SEM görüntüleri incelendiğinde filmin nanopartiküllerden oluştuğu açıkça görülmektedir. Yine şekil 7.3. incelendiğinde 5 numaralı görüntüde taneciklerin küresel formunda bir takım bozulmalar olduğu görülmektedir. Buna katkı oranındaki artışın sebep olduğu düşünülmektedir. Şekil 7.3.'de %10 Ca katkılı TiO₂'ye ait 5 numaralı görüntü incelendiğinde taneciklerin film yüzeyine homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Ancak 6 numaralı görüntüyle kıyaslandığında %1 Mn katkısıyla tanecik yoğunluğunda bir düşüş meydana

geldiği görülmektedir. Bu da Mn katkısının homojenlikte bir düşüşe yol açtığını göstermektedir. Buradan %10 Ca katkılı TiO₂ filminin homojen bir yapıya sahip olduğunu, %1 Ca %1 Mn katkılı filmin ise kısmen homojen bir yapıya sahip olduğu sonucunu çıkarabiliriz.



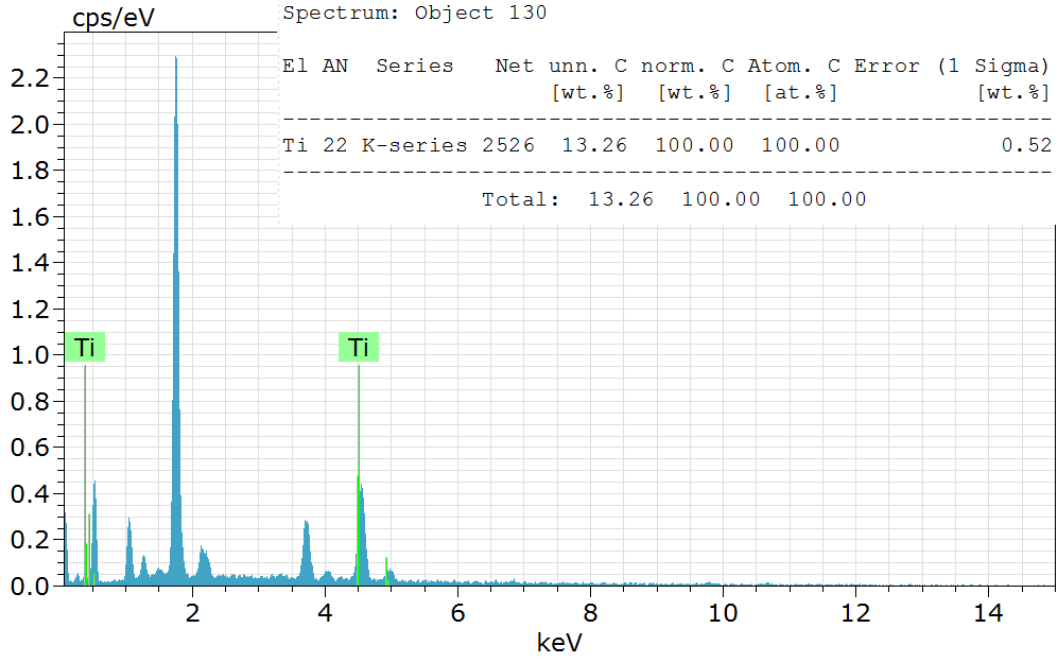
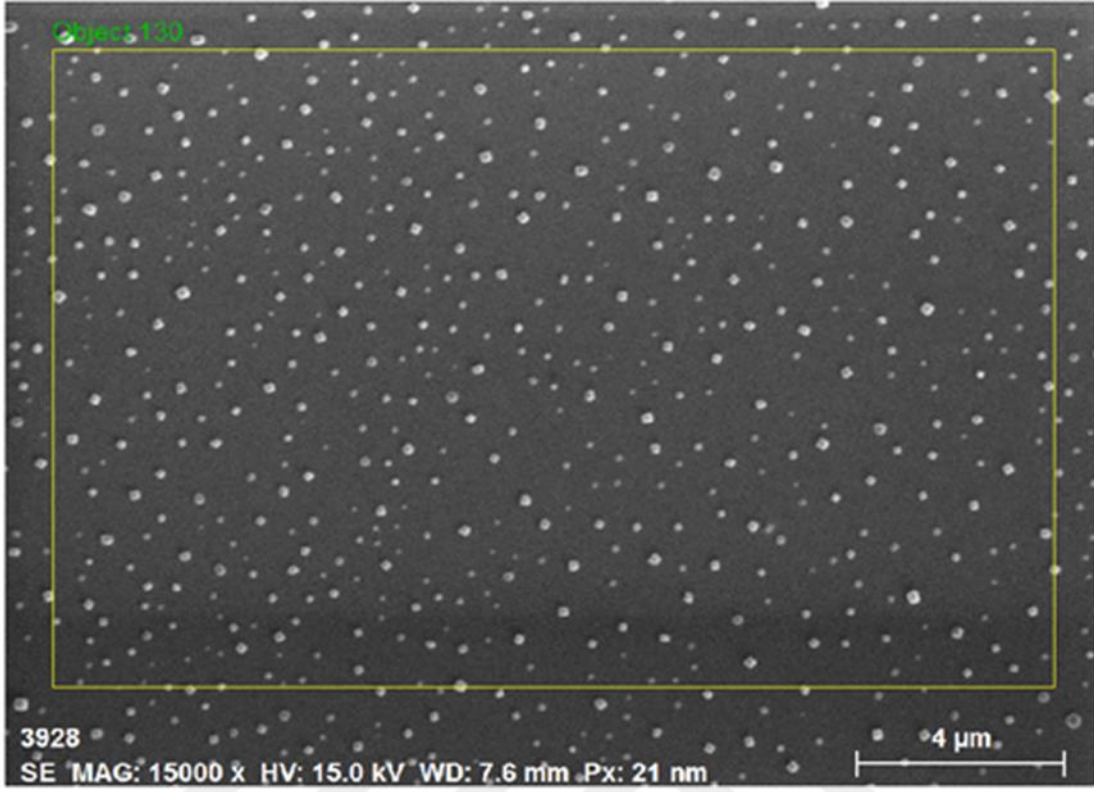
Şekil 7.4. Numunelere ait SEM görüntüleri 7) %3 Mn + %1 Ca + TiO₂, 8) %5 Mn + %1 Ca + TiO₂

Şekil 7.4.'de 7 ve 8 numaralı SEM görüntüleri incelendiğinde filmin nanopartiküllerden oluştuğu açıkça görülmektedir. Yine şekil 7.4. incelendiğinde 7 numaralı görüntüde taneciklerin küresel formunda bir takım bozulmalar olduğu görülmektedir. Buna katkı oranındaki artışın sebep olduğu düşünülmektedir. Şekil 7.4.'de %1 Ca %3 Mn katkılı TiO₂'ye ait 7 numaralı görüntü incelendiğinde taneciklerin film yüzeyine kısmen homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Ancak 8 numaralı görüntüyle kıyaslandığında %5 Mn katkısıyla tanecik yoğunluğunda bir düşüş meydana geldiği ve taneler arası mesafenin arttığı görülmektedir. Bu da Mn katkısının homojenlikte bir düşüşe yol açtığını göstermektedir. Buradan Mn katkı oranı arttıkça filmin homojenliğinde bir düşüş olduğu sonucunu çıkarabiliriz.

Ca ve Mn katkılı TiO₂ ince filmlere ait SEM görüntüleri hakkında genel bir değerlendirme yapılacak olursa saf TiO₂'ye kıyasla yapılan Ca ve Mn katkısıyla tanecik yoğunluğunda bir düşüş meydana geldiği görülmektedir. Bu da Ca ve Mn katkısının homojenlikte bir düşüşe yol açtığını göstermektedir. Buradan saf TiO₂ filminin homojen bir yapıya sahip olduğunu, Ca ve Mn katkılı filmlerin ise kısmen homojen bir yapıya sahip olduğu sonucunu çıkarabiliriz. Ca katkılı filmlere ait görüntüler ile Mn katkılı filmlere ait görüntüler kendi arasında kıyaslandığında Ca katkılı filmlerin tanecik yoğunluğunun daha fazla olduğu görülmektedir [30-31].

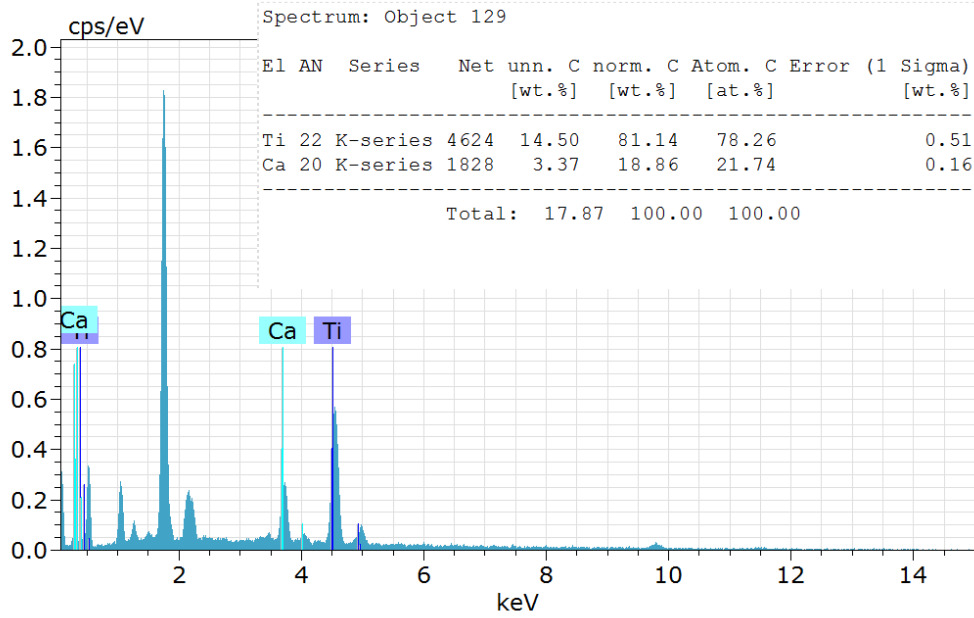
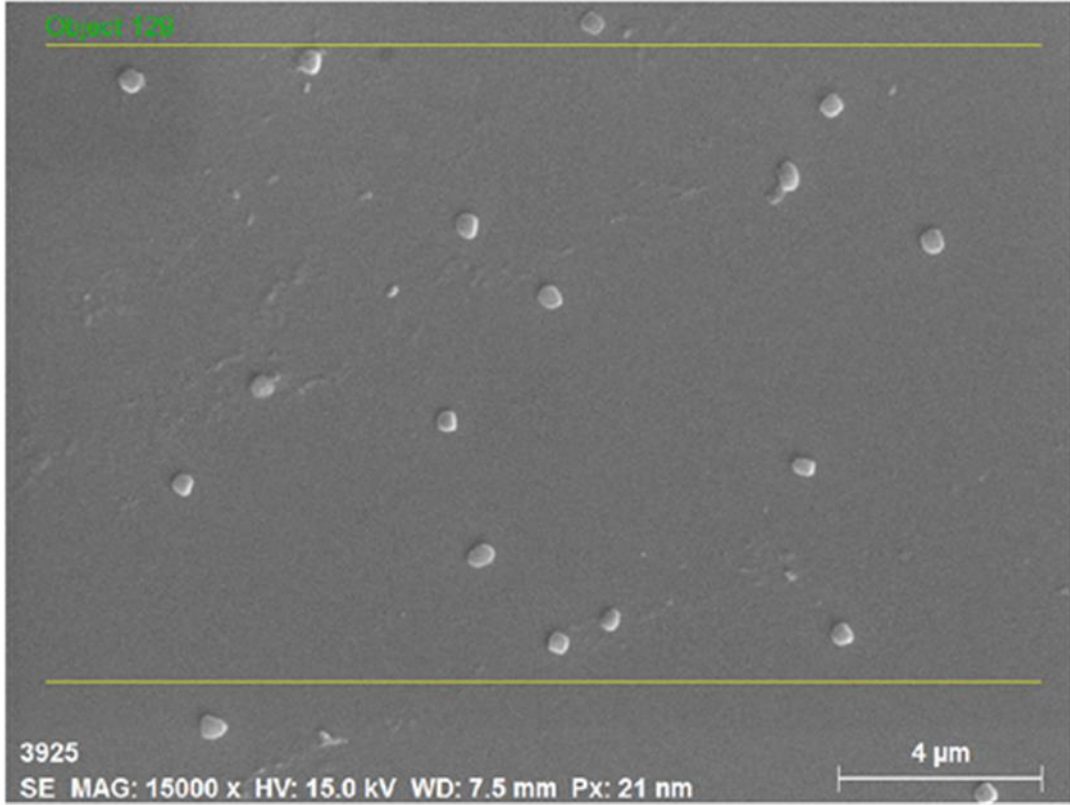
7.2. EDX Analizleri

EDX (Enerji dağıtıcı X-ışını spektroskopisi) temelde numunelerin kimyasal karakterizasyonunu belirlemeye yarayan yöntemdir. Sol jel yöntemiyle üretilen Ca ve Mn katkılı TiO₂ ince filmlerin EDX analizleri aşağıda verilmiştir.



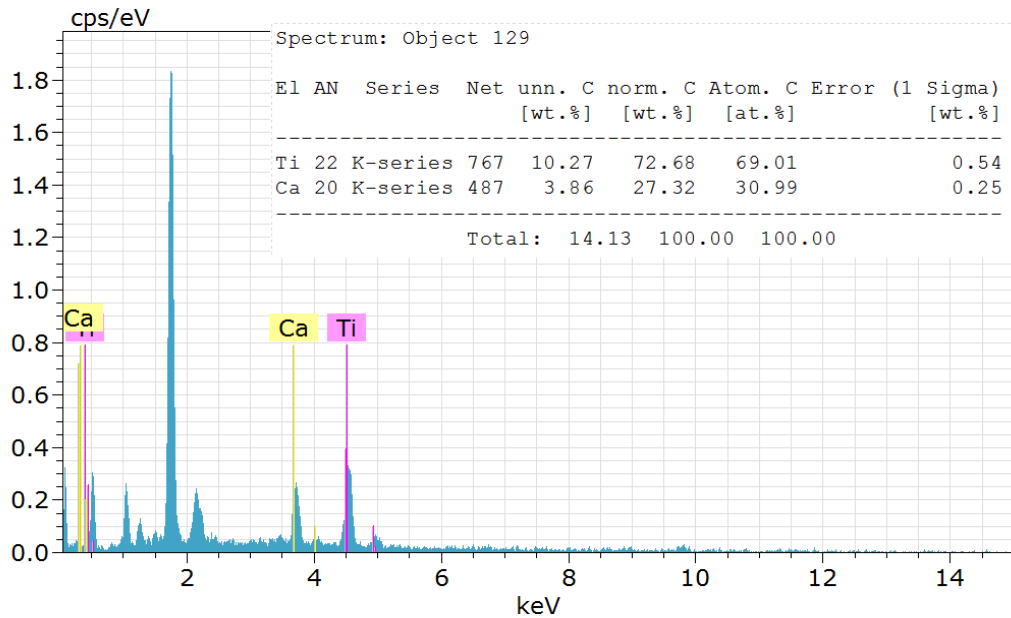
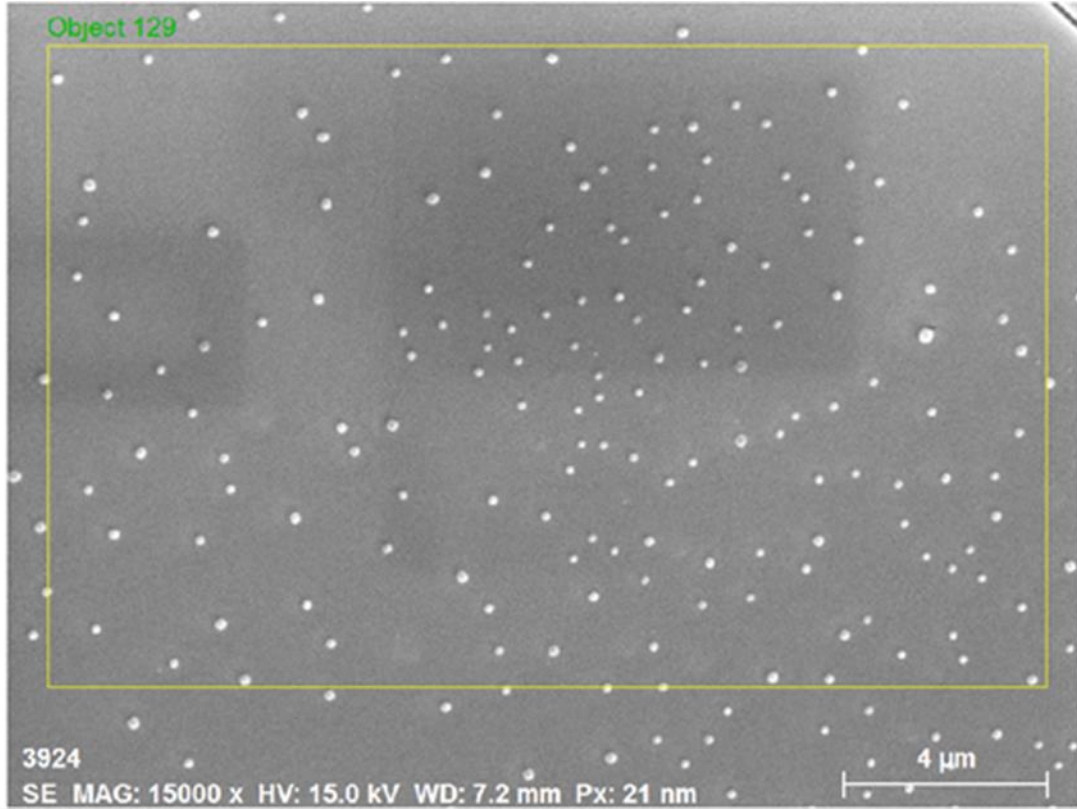
Şekil 7.5. Katkısız TiO₂ numunesine ait EDX görüntüsü

Şekil 7.5.'de katkısız TiO_2 filmine ait EDX analizi incelendiğinde; yüksek şiddette Ti piki görülmüştür. Ti elementinin atom ağırlığı 13.26 olarak ölçülmüştür. Bulunan sonuçların literatürle uyum içerisinde olduğu tespit edilmiştir [32].



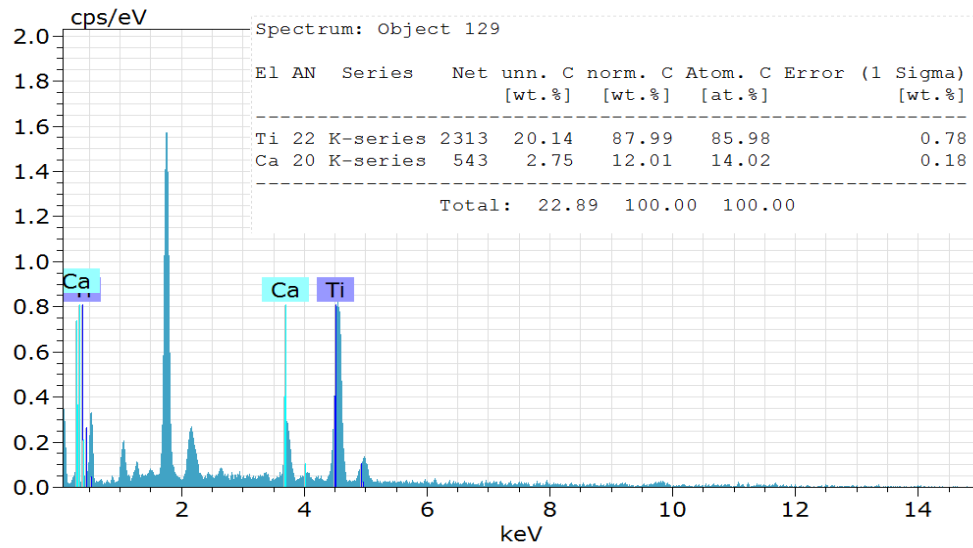
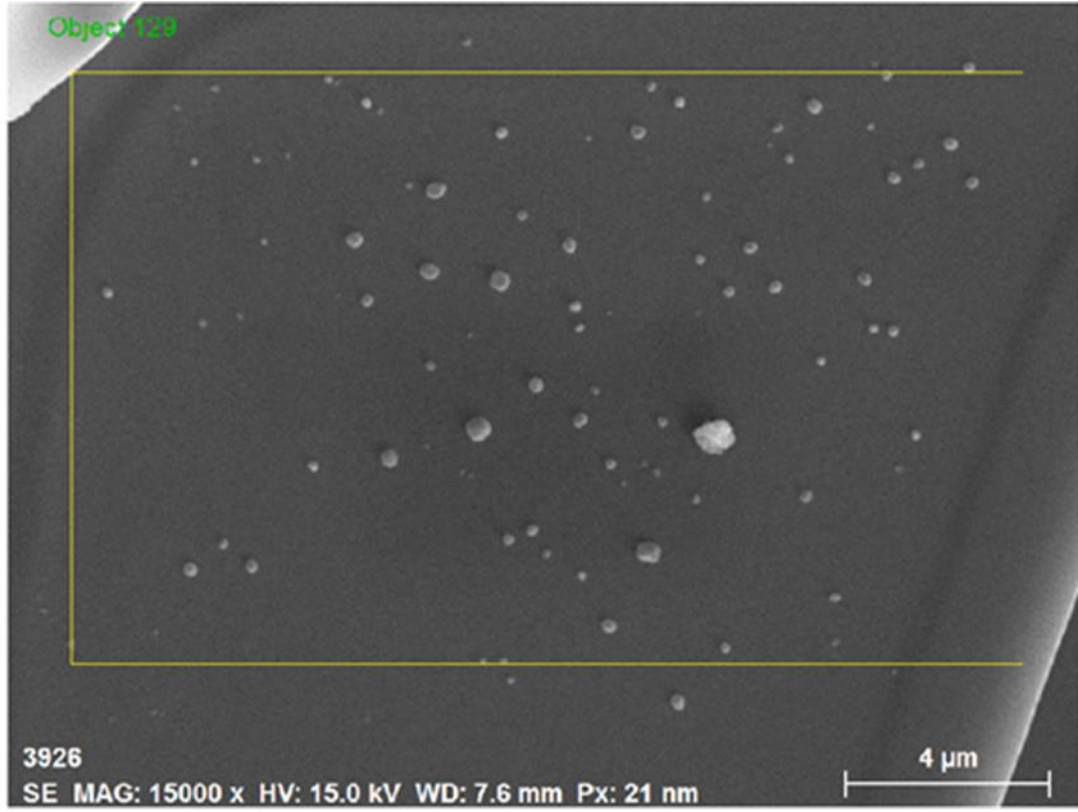
Şekil 7.6. %1 Ca katkıli TiO_2 numunesine ait EDX görüntüsü

Şekil 7.6.'da %1 Ca katkıli TiO₂ filmine ait EDX analizi incelendiğinde; yüksek şiddette Ti ve Ca piki görülmüştür. Ti elementinin atom ağırlığı %78.26, Ca elementinin ise %21.74 olarak ölçülmüştür.



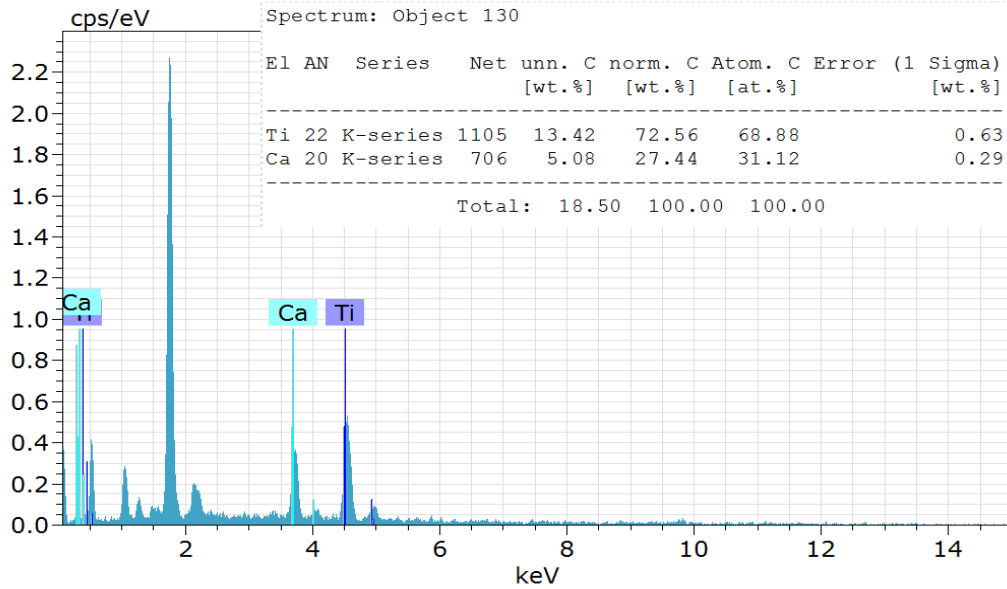
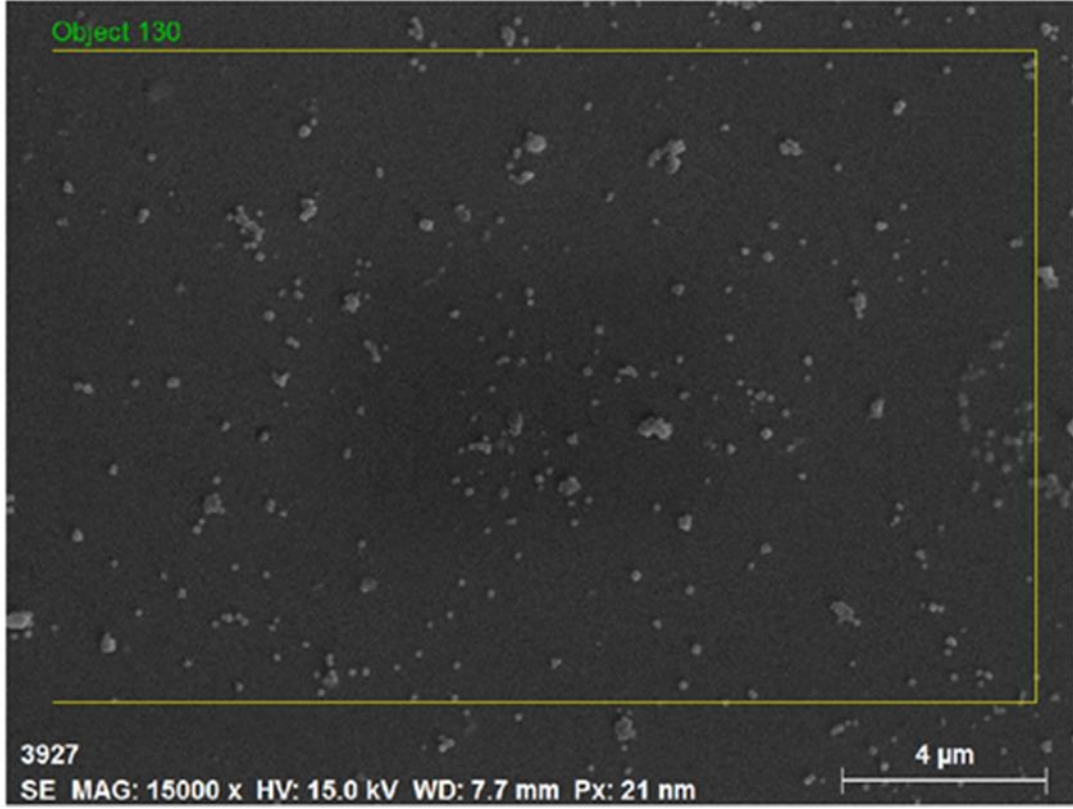
Şekil 7.7. %3 Ca katkıli TiO₂ numunesine ait EDX görüntüsü

Şekil 7.7.'de %3 Ca katkıli TiO₂ filmine ait EDX analizi incelendiğinde; yüksek şiddette Ti ve Ca piki görülmüştür. Ti elementinin atom ağırlığı %69.01, Ca elementinin ise %30.99 olarak ölçülmüştür.



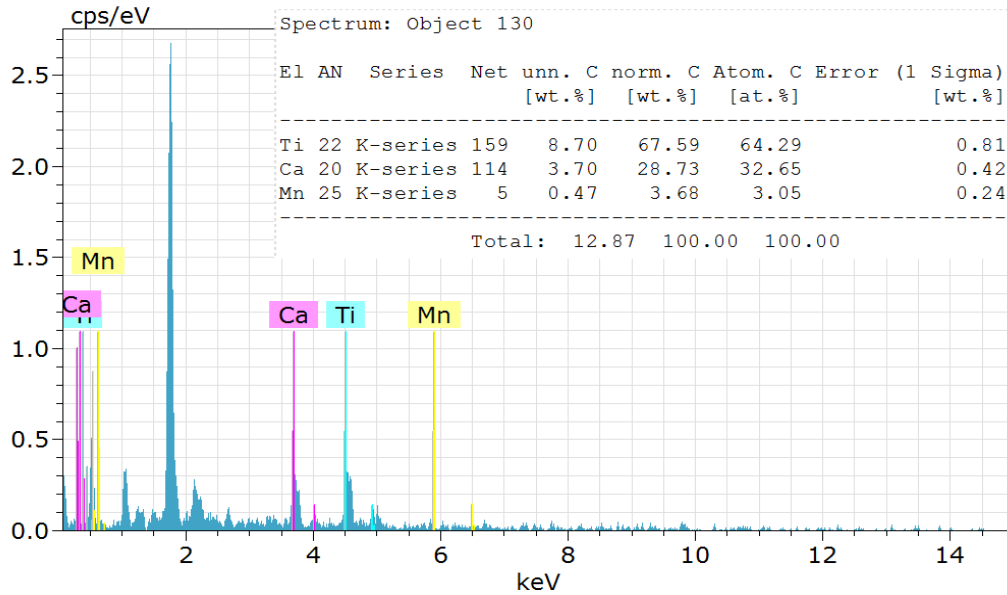
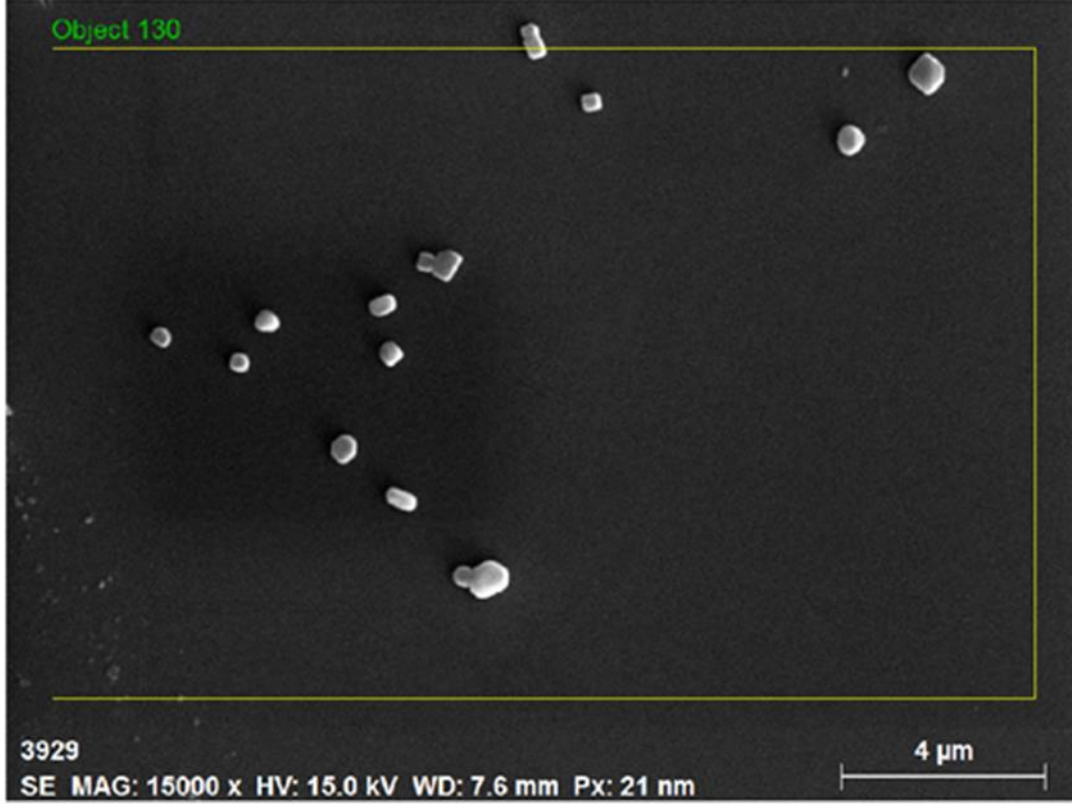
Şekil 7.8. %5 Ca katkıli TiO₂ numunesine ait EDX görüntüsü

Şekil 7.8.'de %5 Ca katkılı TiO₂ filmine ait EDX analizi incelendiğinde; yüksek şiddette Ti ve Ca piki görülmüştür. Ti elementinin atom ağırlığı %85.98, Ca elementinin ise %14.02 olarak ölçülmüştür.



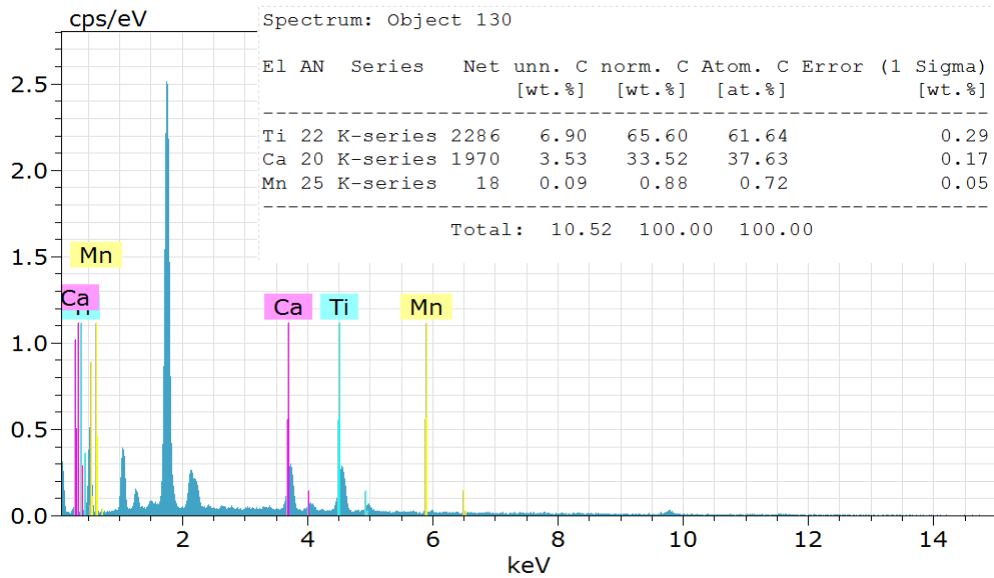
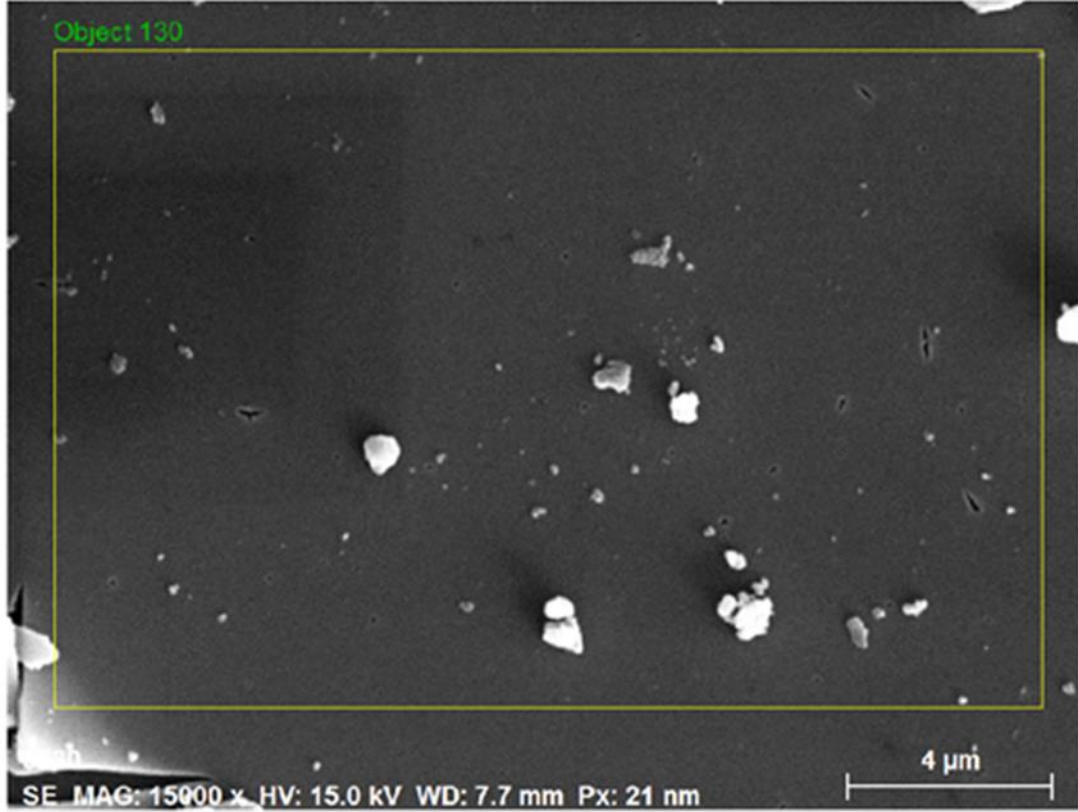
Şekil 7.9. %10 Ca katkılı TiO₂ numunesine ait EDX görüntüsü

Şekil 7.9.'da %10 Ca katkılı TiO₂ filmine ait EDX analizi incelendiğinde; yüksek şiddette Ti ve Ca piki görülmüştür. Ti elementinin atom ağırlığı %68.88, Ca elementinin ise %31.12 olarak ölçülmüştür.



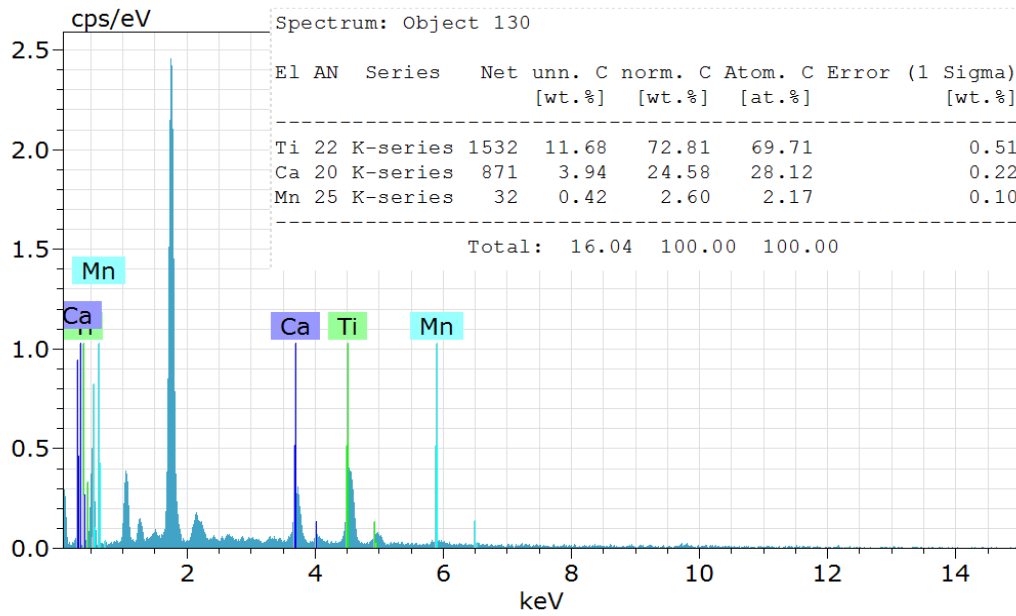
Şekil 7.10. %1 Ca ve %1 Mn katkılı TiO₂ numunesine ait EDX görüntüsü

Şekil 7.10'da %1 Ca ve %1 Mn katkılı TiO₂ filmine ait EDX analizi incelendiğinde; yüksek şiddette Ti, Ca ve Mn piki görülmüştür. Ti elementinin atom ağırlığı %64.29, Ca elementinin %32.65, Mn elementinin ise %3.05 olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.11. %1 Ca ve %3 Mn katkılı TiO₂ numunesine ait EDX görüntüsü

Şekil 7.11.'de %1 Ca ve %3 Mn katkılı TiO₂ filmine ait EDX analizi incelendiğinde; yüksek şiddette Ti, Ca ve Mn piki görülmüştür. Ti elementinin atom ağırlığı %61.64, Ca elementinin %37.63, Mn elementinin ise %0.72 olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.12. %1 Ca ve %5 Mn katkılı TiO₂ numunesine ait EDX görüntüsü

Şekil 7.12.'de %1 Ca ve %5 Mn katkılı TiO₂ filmine ait EDX analizi incelendiğinde; yüksek şiddette Ti, Ca ve Mn piki görülmüştür. Ti elementinin atom ağırlığı %69.71, Ca elementinin %28.12, Mn elementinin ise %2.17 olarak ölçülmüştür.



8. XRD ANALİZLERİ

XRD (X-ışını difraksiyonu), malzemelerin kristal yapıları hakkında bilgi edinmemizi ve içirdiği fazları belirlememize yarayan bir analiz yöntemidir. Bu yöntem ince film analizlerinde sıklıkla kullanılan hasarsız bir yöntemdir. X-ışınlarının kırınımına uğrayıp uğramayacağını ve kırınımına uğrayacaksa kırınımın hangi açı ile gerçekleşeceği kırınım koşulu olarak da bilinen Bragg yasasıyla açıklanmaktadır. Bragg yasası;

$$n\lambda = 2d\sin\theta_B$$

formülü ile belirlenir. Burada,

n; bir tamsayı,

λ ; gelen ışığın dalga boyunu,

d; kristal yapının düzlemler arası mesafesini,

θ_B ; gelen ışının yaptığı açığı (Bragg açısı) ifade eder.

Filmlerin ortalama tane boyutu Scherrer denklemi kullanılarak hesaplanır. Scherrer denklemi:

$$D = 0.9\lambda / \beta \cos\theta$$

şeklinde ifade edilir. Burada;

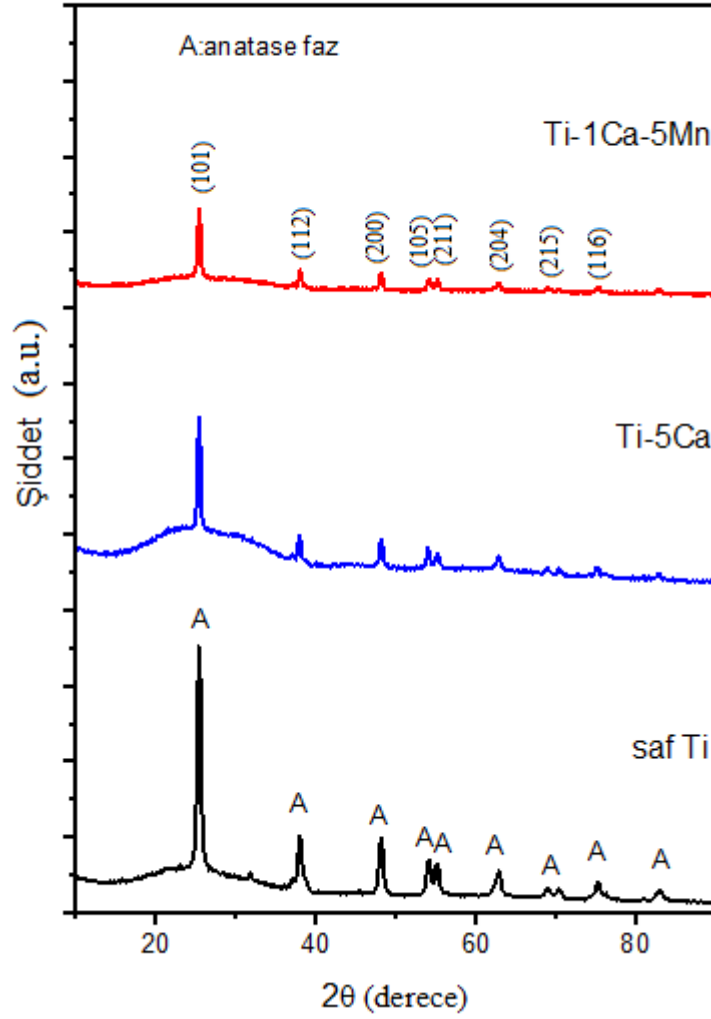
D; kristalin tanecik boyutunu,

λ ; x-ışınlarının dalgaboyu

β ; radyan cinsinden yarı pik genişliğini,

θ ; Bragg açısını gösterir [1].

Döndürerek kaplama yöntemiyle üretilen saf TiO₂, TiO₂-%5Ca ve %1Ca-%5Mn-TiO₂ ince filmlerinin XRD görüntüleri Şekil 8.1.'de verilmiştir.



Şekil 8.1. Saf Ti, Ti-%5Ca ve %1Ca-%5Mn-Ti ince filmlerine ait XRD görüntüleri

Döndürerek kaplama yöntemiyle üretilen TiO_2 filmlerin XRD görüntüleri incelendiğinde kristal yapısının anataz olduğu belirlenmiştir. TiO_2 filmlerin pikleri; (101), (112), (200), (105), (211), (204), (215) ve (116) olarak tespit edilmiştir. Kristal atomları (101) düzleminde tercihli yönelime sahiptir [1]. Yapılan Ca ve Mn katkısının anataz TiO_2 yapısında herhangi bir faz dönüşümüne sebep olmadığı, pik şiddetlerinde ise azalmaya neden olduğu görülmüştür. Katkılama sonucu pik şiddetlerinde azalma meydana gelmesi kristallik derecesinin düştüğünü göstermektedir. Yapılan Ca ve Mn katkısı sonucunda, TiO_2 fazına ait pikler dışında, katkılar ile ilgili yeni bir pik tespit edilmemiştir [4]. Yukarıda verilen Scherrer denklemi yardımıyla, Ti tanecik büyüklüğü 19,74 nm olarak hesaplanmıştır. Ti-5Ca filminin tanecik büyüklüğü 26,5 nm olarak hesaplanmıştır. Ti-1Ca-5Mn filminin tanecik büyüklüğü 24,25 nm olarak hesaplanmıştır. Yapılan Ca ve Mn katkısının tanecik büyüklüğünde artışa neden olduğu tespit edilmiştir.

9. AFM ANALİZLERİ

AFM (Atomik kuvvet mikroskobu), numunelerin sivrileştirilmiş iğne ucu ile yüzeylerin atomik boyutlarda üç boyutlu görüntülerini elde etmemize yarayan cihazdır. Vurma tekniği, temas tekniği ve temassız teknik olmak üzere 3 farklı tekniği vardır. AFM cihazı numuneleri nano ölçekte incelemek için en güçlü mikroskopi teknolojisidir.

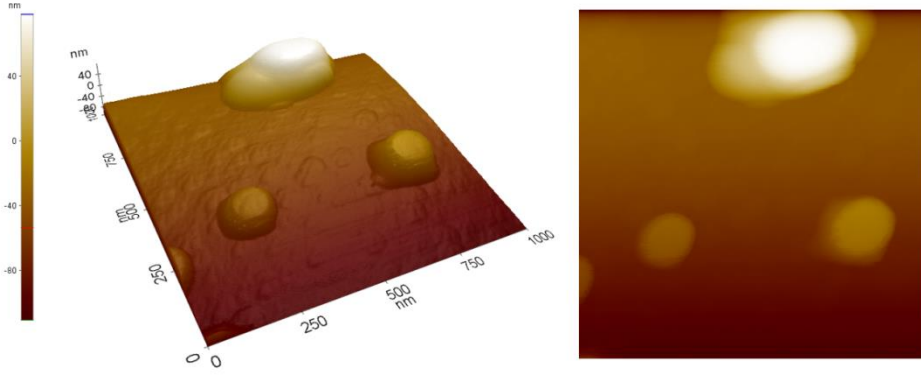
Ca ve Mn katkılı TiO₂ ince filmlere ait AFM görüntüleri Park System XE – 100E AFM cihazı ile alındı. Cihaz Şekil 9.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 9.1. Park System XE – 100E AFM Cihazı

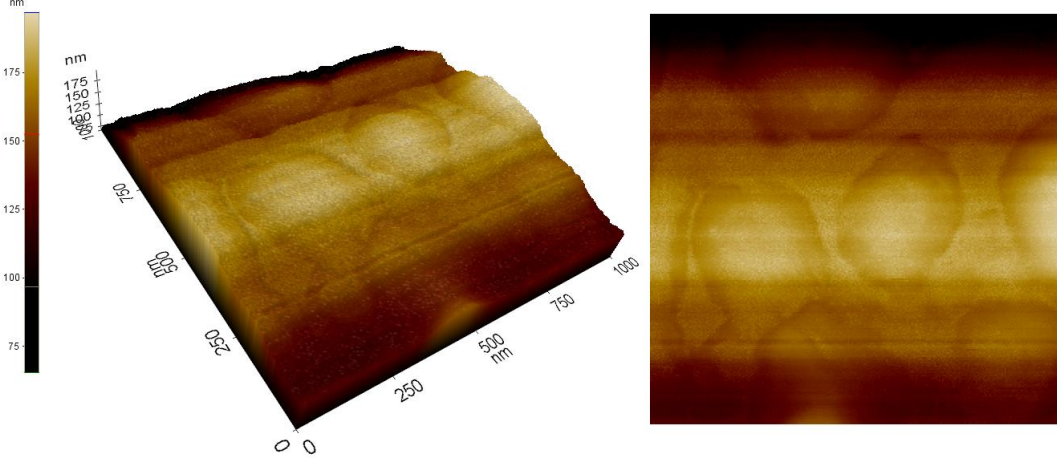
9.1. AFM Analizleri ve Sonuçları

Atomik kuvvet mikroskobu ile numunelerin yüzey pürüzlülük değeri ve tane boyutu hesaplandı. Numunelerin 1000 nm x 1000 nm büyütme 2 boyutlu ve 3 boyutlu görüntüleri alındı.



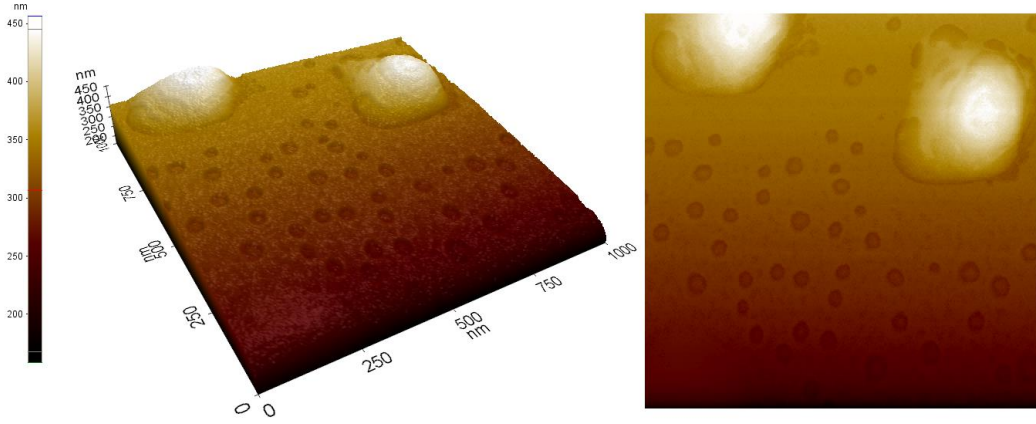
Şekil 9.2. Katkısız TiO₂ ince filmine ait AFM görüntüsü

Şekil 9.2.'de katkısız TiO₂ ince filmine ait AFM görüntüsü verilmektedir. AFM görüntüleri incelendiğinde nano boyutta tanelerin olduğu görülmektedir. Morfolojik olarak incelendiğinde partiküllerin homojen olarak dağıldığı ancak topaklanmaların da olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin havadaki nem ve nano boyutlu taneler arası çekim kuvvetinin yüksek olmasından ileri geldiği düşünülmektedir. AFM görüntülerinden faydalanarak filmin tane boyutu 17.789 nm olarak hesaplanmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise 38.405 nm olarak hesaplanmıştır [11].



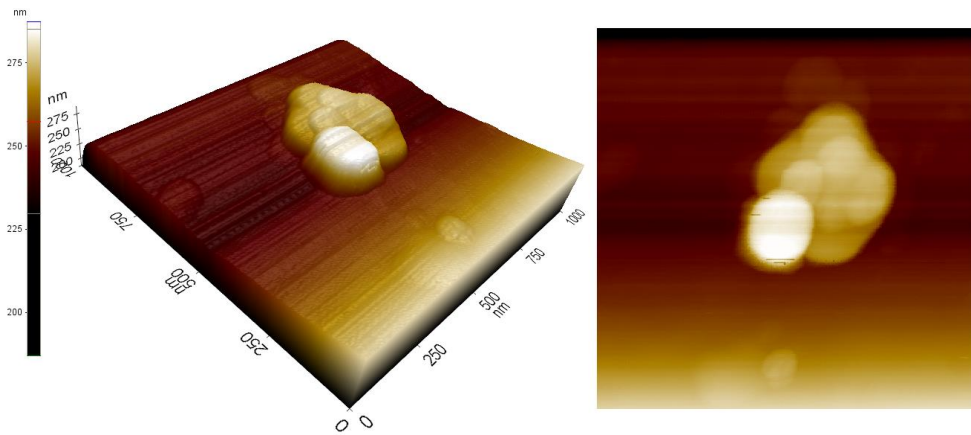
Şekil 9.3. %1 Ca katkılı TiO₂ ince filmine ait AFM görüntüsü

Şekil 9.3.'da %1 Ca katkılı TiO₂ ince filmine ait AFM görüntüsü verilmektedir. AFM görüntüleri incelendiğinde nano boyutta tanelerin olduğu görülmektedir. Morfolojik olarak incelendiğinde partiküllerin homojen olarak dağıldığı görülmektedir. AFM görüntülerinden faydalanarak filmin tane boyutu 5.125 nm olarak hesaplanmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise 24.152 nm olarak hesaplanmıştır.



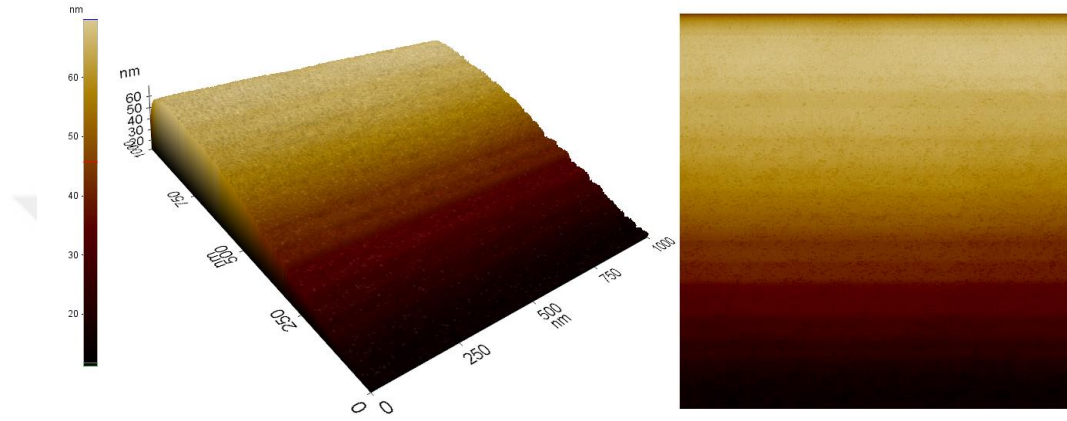
Şekil 9.4. %3 Ca katkılı TiO₂ ince filmine ait AFM görüntüsü

Şekil 9.4.'de %3 Ca katkılı TiO₂ ince filmine ait AFM görüntüsü verilmektedir. AFM görüntüleri incelendiğinde nano boyutta tanelerin olduğu görülmektedir. Morfolojik olarak incelendiğinde partiküllerin homojen olarak dağıldığı ancak topaklanmaların da olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin havadaki nem ve nano boyutlu taneler arası çekim kuvvetinin yüksek olmasından ileri geldiği düşünülmektedir. AFM görüntülerinden faydalanarak filmin tane boyutu 31.663 nm olarak hesaplanmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise 48.827 nm olarak hesaplanmıştır.



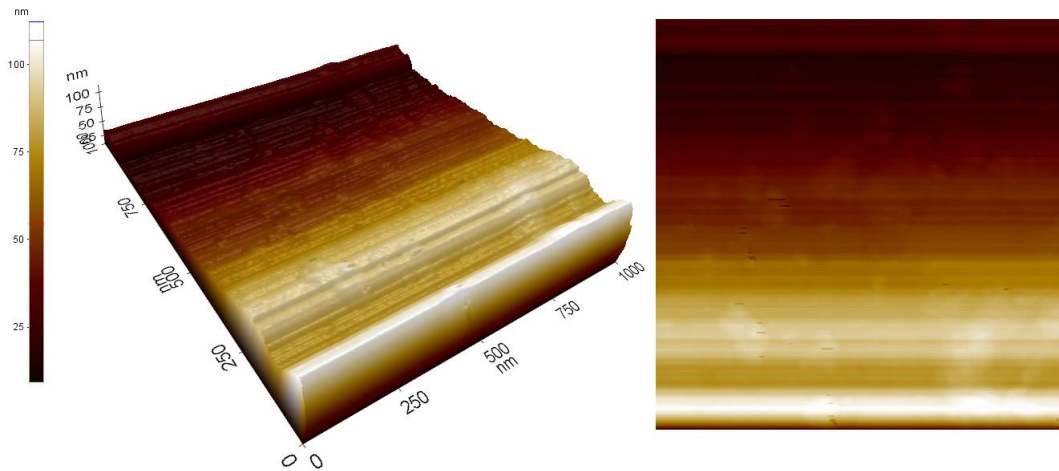
Şekil 9.5. %5 Ca katkılı TiO₂ ince filmine ait AFM görüntüsü

Şekil 9.5.'de %5 Ca katkıli TiO₂ ince filmine ait AFM görüntüsü verilmektedir. AFM görüntüleri incelendiğinde nano boyutta tanelerin olduğu görülmektedir. Morfolojik olarak incelendiğinde partiküllerin homojen olarak dağıldığı ancak topaklanmaların da olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin havadaki nem ve nano boyutlu taneler arası çekim kuvvetinin yüksek olmasından ileri geldiği düşünülmektedir. AFM görüntülerinden faydalanarak filmin tane boyutu 14.733 nm olarak hesaplanmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise 13.144 nm olarak hesaplanmıştır.



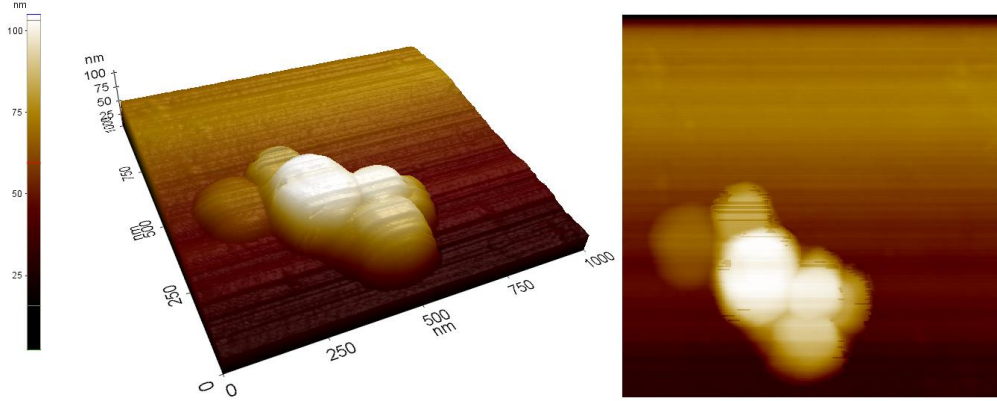
Şekil 9.6. %10 Ca katkıli TiO₂ ince filmine ait AFM görüntüsü

Şekil 9.6.'da %10 Ca katkıli TiO₂ ince filmine ait AFM görüntüsü verilmektedir. AFM görüntülerinden faydalanarak filmin ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise 13.144 nm olarak hesaplanmıştır.



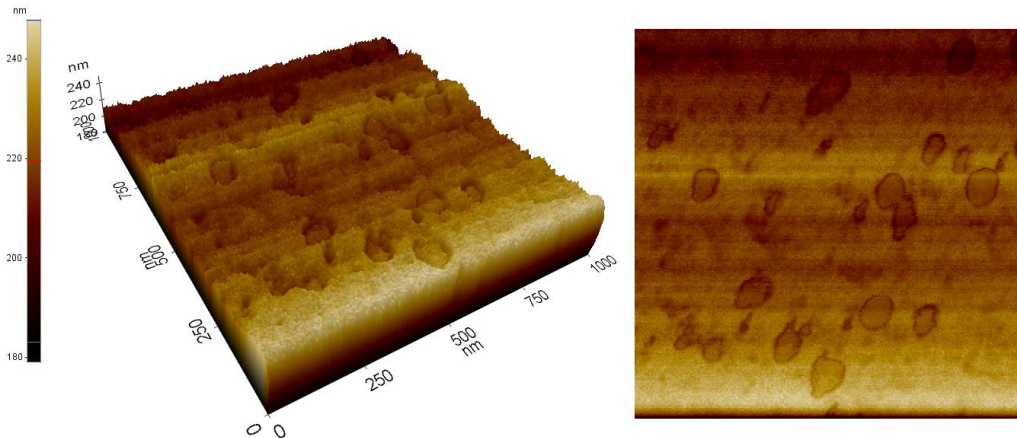
Şekil 9.7. %1 Mn ve %1 Ca katkıli TiO₂ ince filmine ait AFM görüntüsü

Şekil 9.7.'de %1 Mn ve %1 Ca katkılı TiO₂ ince filmine ait AFM görüntüsü verilmektedir. AFM görüntülerinden faydalanarak filmin tane boyutu 1.590 nm olarak hesaplanmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise 26.696 nm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 9.8. %3 Mn ve %1 Ca katkılı TiO₂ ince filmine ait AFM görüntüsü

Şekil 9.8.'de %3 Mn ve %1 Ca katkılı TiO₂ ince filmine ait AFM görüntüsü verilmektedir. AFM görüntüleri incelendiğinde nano boyutta tanelerin olduğu görülmektedir. Morfolojik olarak incelendiğinde partiküllerin homojen olarak dağıldığı ancak topaklanmaların da olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin havadaki nem ve nano boyutlu taneler arası çekim kuvvetinin yüksek olmasından ileri geldiği düşünülmektedir. AFM görüntülerinden faydalanarak filmin tane boyutu 24.066 nm olarak hesaplanmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise 17.800 nm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 9.9. %5 Mn ve %1 Ca katkılı TiO₂ ince filmine ait AFM görüntüsü

Şekil 9.9.'da %5 Mn ve %1 Ca katkılı TiO₂ ince filmine ait AFM görüntüsü verilmektedir. AFM görüntüleri incelendiğinde nano boyutta tanelerin olduğu görülmektedir. Morfolojik olarak incelendiğinde partiküllerin homojen olarak dağıldığı görülmektedir. AFM görüntülerinden faydalanarak filmin tane boyutu 3.194 nm olarak hesaplandı. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise 9.417 nm olarak hesaplandı.

Yapılan Mn katkı oranındaki artışa bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerinde bir düşüş meydana gelmiştir. Ancak Ca katkısıyla yüzey pürüzlülük değerinde düzenli bir artış ya da azalma olmamıştır. Örneğin; saf TiO₂ yüzey pürüzlülük değeri 38.405 nm, %1 Ca katkılı TiO₂ yüzey pürüzlülük değeri 24.152 nm, % 3 Ca katkılı TiO₂ yüzey pürüzlülük değeri 48.827 nm, % 5 Ca katkılı TiO₂ yüzey pürüzlülük değeri 13.144 ve %10 Ca katkılı TiO₂ yüzey pürüzlülük değeri 17.884 olarak ölçülmüştür.

Yine tane boyutu hesapları incelendiğinde düzenli bir düşüş veya artış görülmedi. Saf TiO₂ ile kıyaslandığında %3 Ca katkılı ve %3 Mn katkılı filmlerin tane boyutu daha büyükken diğer filmlerin tane boyutu daha küçük olduğu görülmüştür.

9.2. Filmlerin Optik Ölçümleri

UV-3600 PC UV-VİS Spektrofotometre cihazı ile Ca ve Mn katkılı TiO₂ filmlerin oda sıcaklığında ölçümleri yapıldı. Ölçümlerin yapıldığı UV-VİS cihazı Şekil 9.10.'da gösterilmiştir. UV-VİS ölçümlerinde bulunan veriler ile filmlerin geçirgenlik, soğurma ve yansımaları grafikleri çizildi.

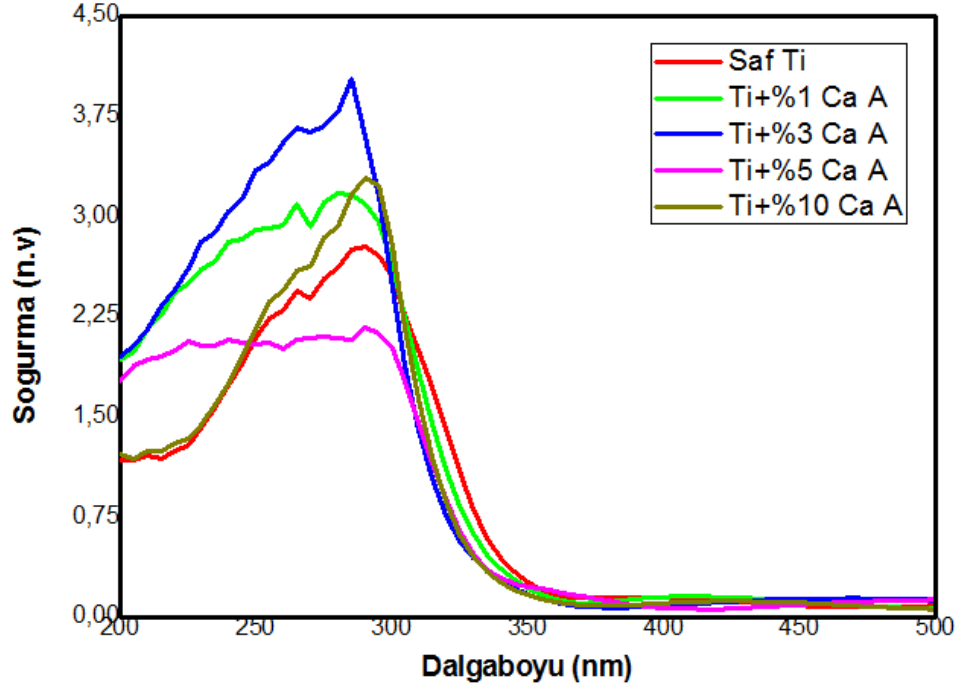


Şekil 9.10. UV – Spektrofotometresi

9.2.1. Filmlerin Optik Özellikleri Ölçüm Sonuçları

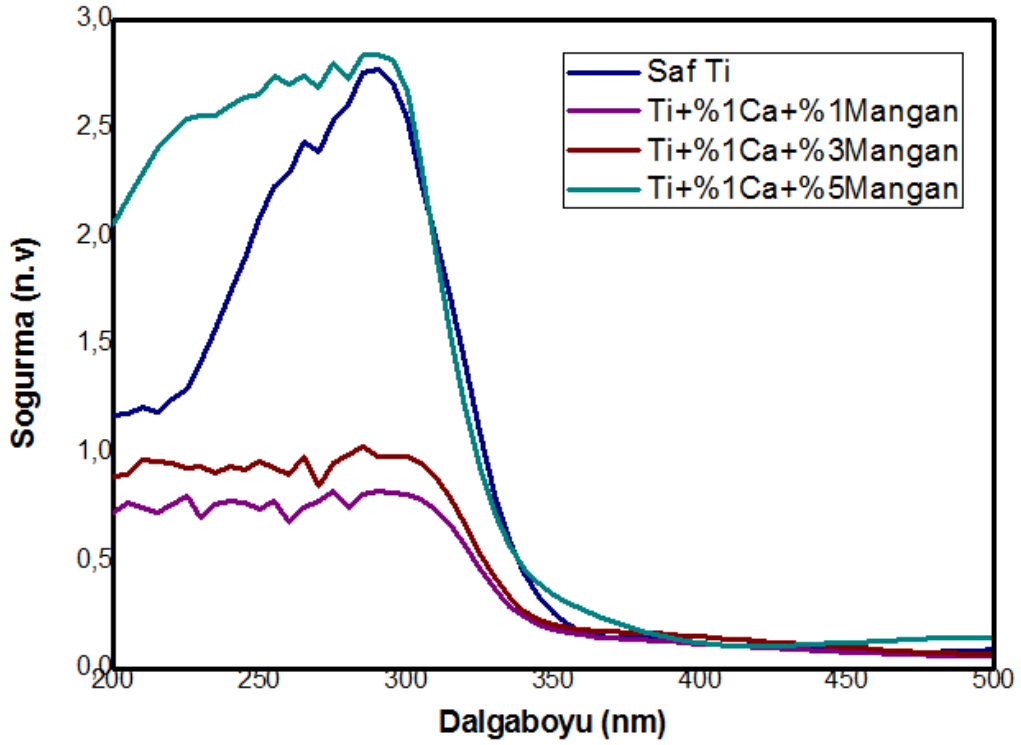
a) Filmlerin Soğurma Grafikleri Sonuçları

Ca ve Mn katkılı TiO₂ filmlerin 200-500 nm dalga boyu aralığındaki soğurma grafikleri çizildi. Grafikler Ca katkılı ve Mn katkılı olarak gruplandırıldı ve 2 ayrı soğurma grafiği çizildi. Çizilen grafikler Şekil 9.11. ve 9.12.'de verilmektedir.



Şekil 9.11. Ca katkılı TiO₂ filmlerin soğurma grafiği

Şekil 9.11.'de Ca katkılı TiO₂ filmlerin 200-500 nm dalga boyu aralığında kaydedilen soğurma grafiği gösterilmektedir. Numunelerin yüksek şeffaflığa sahip olması sebebiyle görünür bölgedeki ortalama soğurma %0,75 ile %4,5 aralığındadır. %3 Ca katkı oranına kadar soğurma oranı artış gösterirken %3'ün üzerindeki katkılarda soğurma oranının düştüğü gözlemlenmiştir [30].

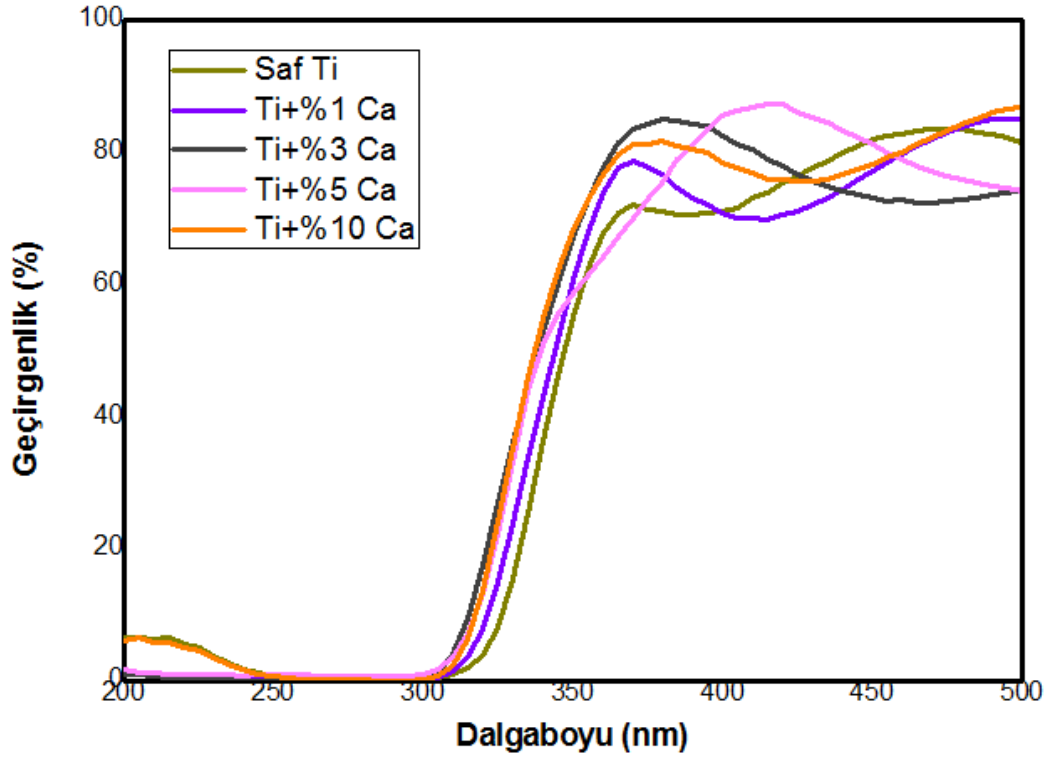


Şekil 9.12. Mn ve Ca katkılı TiO₂ filmlerin soğurma grafiği

Şekil 9.12.'de Mn katkılı TiO₂ filmlerin 200-500 nm dalga boyu aralığında kaydedilen soğurma grafiği gösterilmektedir. Numunelerin yüksek şeffaflığa sahip olması sebebiyle görünür bölgedeki ortalama soğurma %0,5 ile %3 aralığındadır. Mn katkılı filmler kendi arasında kıyaslandığından soğurma oranında giderek bir artış olmuştur. Ancak katkısız TiO₂ ile Mn katkılı filmler kıyaslandığında sadece %5 Mn katkılı filmin soğurma oranı katkısız TiO₂ filmininkinden yüksek olduğu gözlemlenmiştir [30-33].

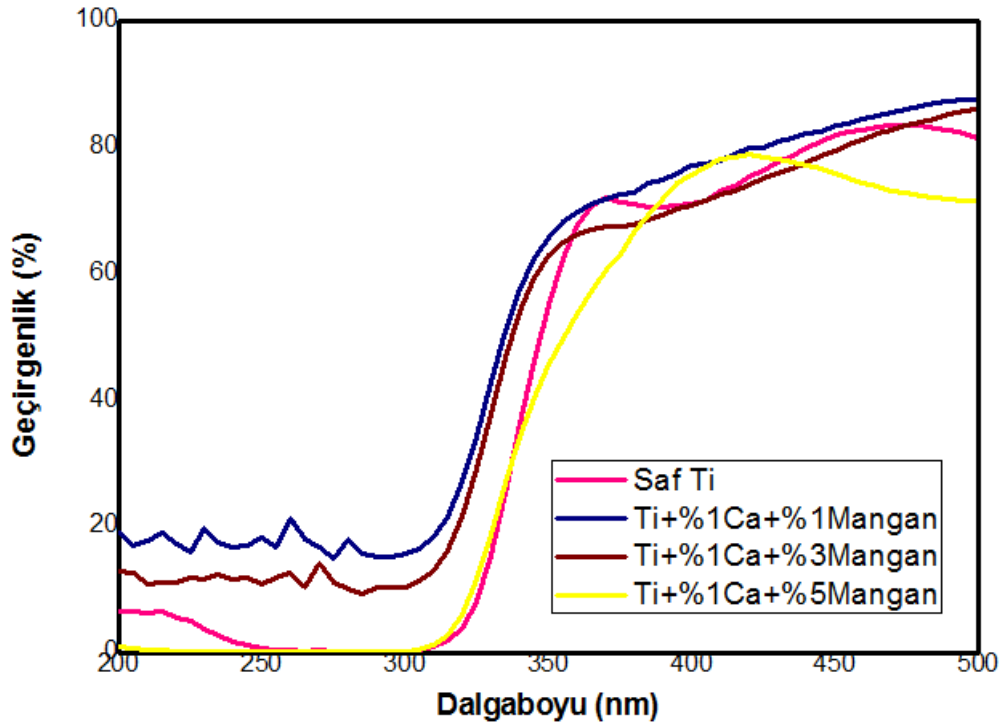
b) Filmlerin Geçirgenlik Grafikleri Sonuçları

Ca ve Mn katkılı TiO₂ filmlerin 200-500 nm dalga boyu aralığındaki geçirgenlik grafikleri çizildi. Grafikler Ca katkılı ve Mn katkılı olarak gruplandırıldı ve 2 ayrı geçirgenlik grafiği çizildi. Çizilen grafikler Şekil 9.13. ve 9.14.'de verilmektedir.



Şekil 9.13. Ca katkılı TiO₂ filmlerin geçirgenlik grafiği

Ca katkılı TiO₂ filmlerin geçirgenlik grafiği Şekil 9.13.'de verilmektedir. Şekil 9.13. incelediğinde; maksimum geçirgenlik değerlerinin %70 ile %90 arasında olduğu görülmektedir. Yine maksimum geçirgenlik değeri en düşük olan numune katkısız TiO₂ numunesidir. Bu konuyla alakalı diğer çalışmalarda katkısız TiO₂ filmlerin geçirgenlik değeri %70 ile %90 aralığında bulunmuştur [30-31]. Bu da bulunan değerlerin literatürle uyumlu olduğunu göstermektedir [34-35].

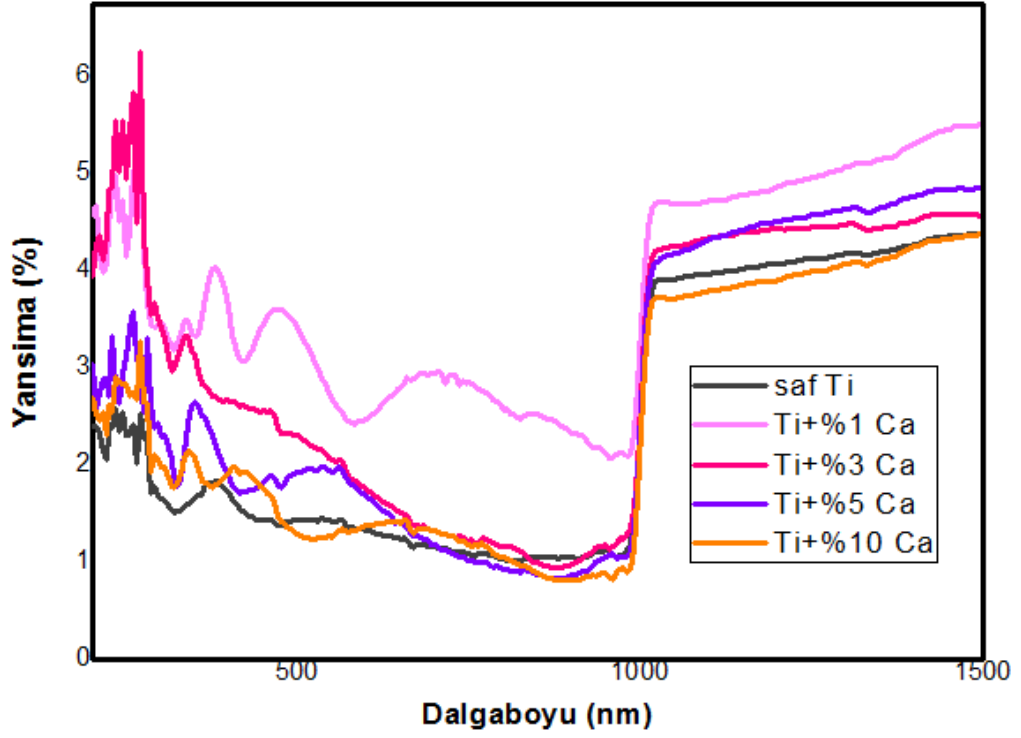


Şekil 9.14. Mn ve Ca katkı TiO₂ filmlerin geçirgenlik grafiği

Ca ve Mn katkı TiO₂ filmlerin geçirgenlik grafiği Şekil 9.14.'de verilmektedir. Şekil 9.14. incelediğinde; maksimum geçirgenlik değerleri %70 ile %90 arasında olduğu görülmüştür. Mn katkı oranı arttıkça filmlerin kalınlıklarının arttığı ve bu artışa bağlı olarak filmlerden geçen ışığın şiddetinin azaldığı ve optik yoğunluk değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu duruma filmlerin geçirgenlik değerlerinin azalmasının neden olabileceği düşünülmektedir [30-31].

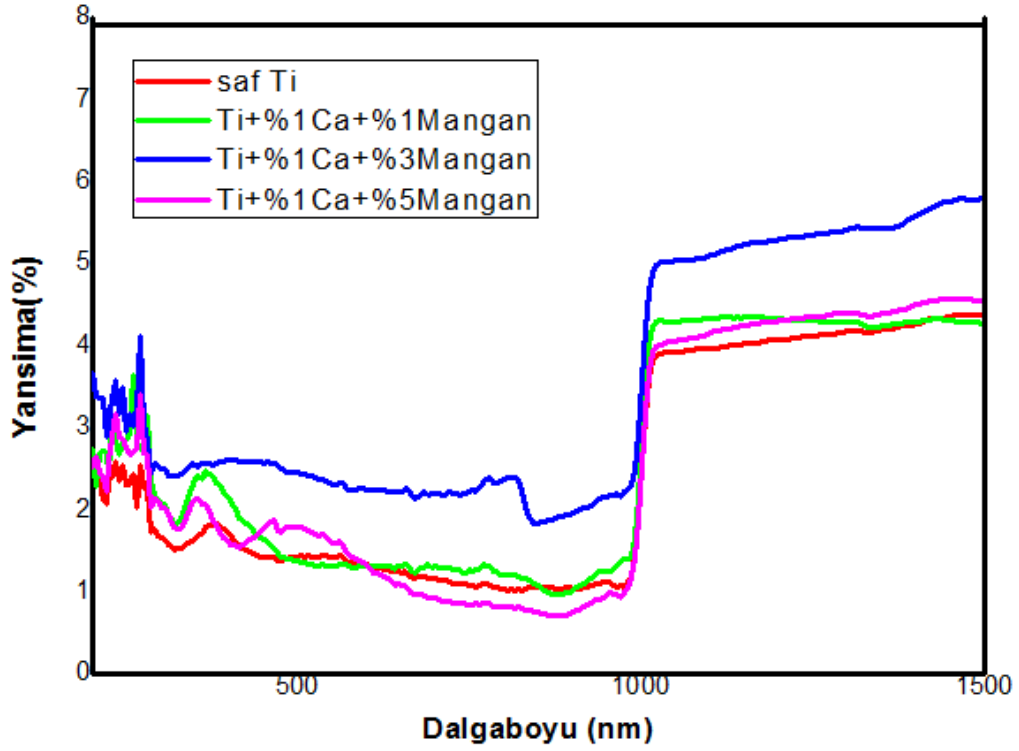
c) Filmlerin Yansıma Grafikleri Sonuçları

Ca ve Mn katkı TiO₂ filmlerin 0-1500 nm dalga boyu aralığındaki yansıma grafikleri çizildi. Grafikler Ca katkı ve Mn katkı olarak gruplandırıldı ve 2 ayrı yansıma grafiği çizildi. Çizilen grafikler Şekil 9.15. ve 9.16.'da verilmektedir.



Şekil 9.15. Ca katkılı TiO₂ filmlerin yansım grafiği

Ca katkılı TiO₂ filmlere ait yansım grafiği incelendiğinde, yansım değerleri 0-1500 nm dalga boyu aralığında değişmekte ve yansım oranlarında lineer olmayan değişiklikler olduğu görülmektedir [30-36].



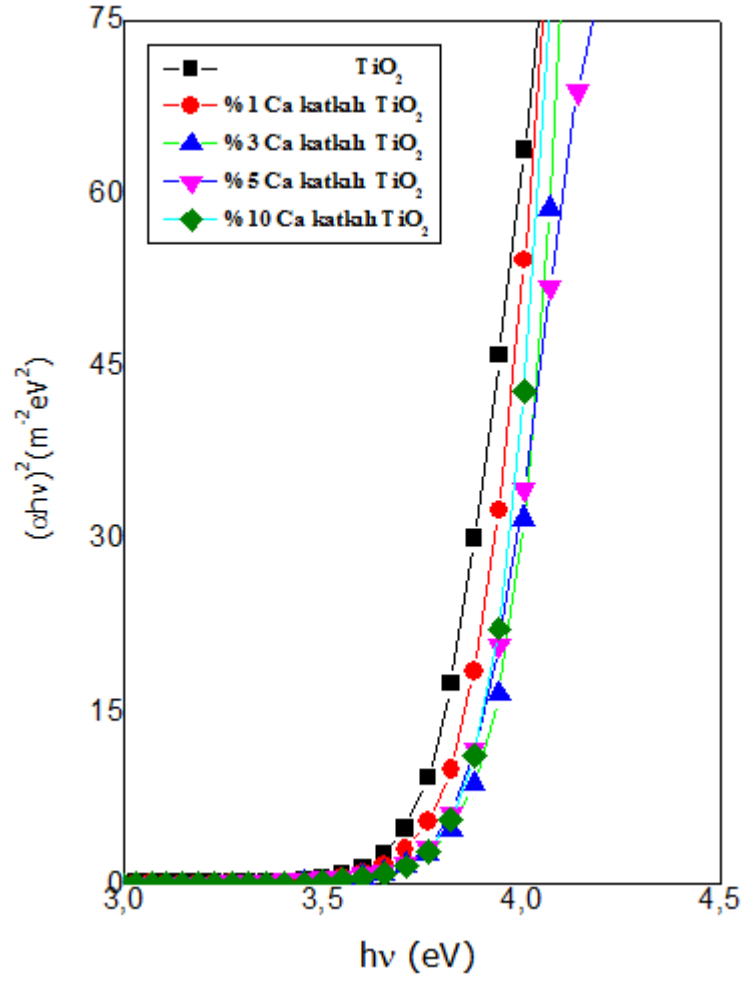
Şekil 9.16. Mn ve Ca katkılı TiO₂ filmlerin yansima grafiği

Mn katkılı TiO₂ filmlere ait yansima grafiği incelendiğinde, yansima değerleri 0-1500 nm dalga boyu aralığında değişmekte ve yansima oranlarında lineer olmayan değişiklikler olduğu görülmektedir [30]. Ayrıca tüm numunelerin 1000 nm dalga boyunun üzerinde maksimum yansima sergiledikleri gözlemlendi. Numuneler içerisinde yansima değeri en yüksek olan numune %3 Mn katkılı TiO₂ numunesidir.

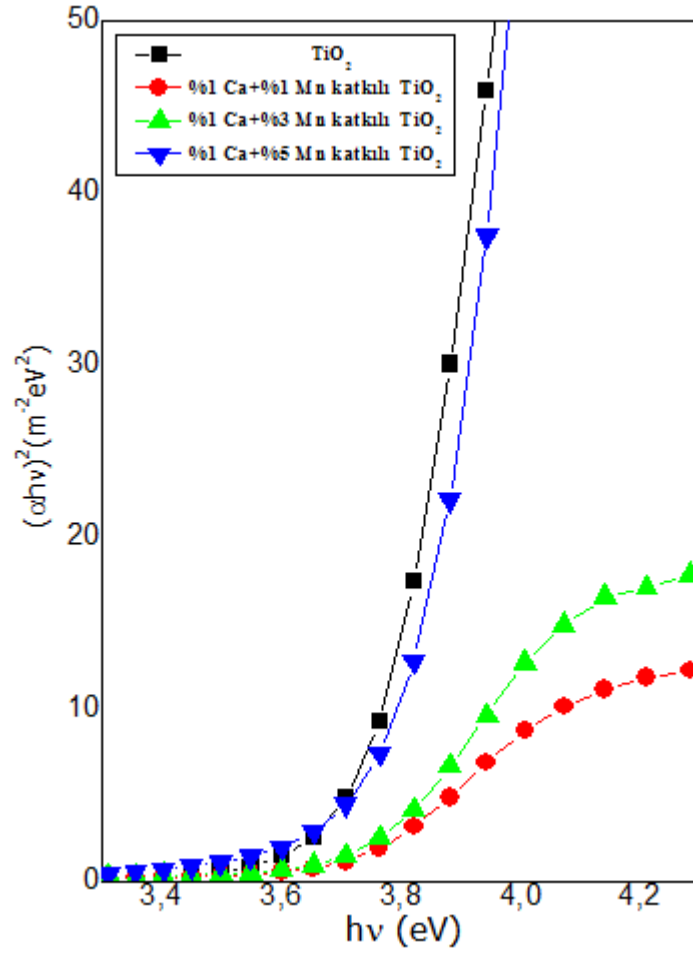
d) Filmlerin Yasak Enerji Aralıkları

Yasak enerji aralığı, optik ölçümleri yapılan yarıiletken malzemelerin, bu sonuçlarla belirlenen parametrelerinden biridir. Yarıiletken malzemelerin yasak enerji aralığını belirlenmesinde birçok yöntem olup bu yöntemlerden birisi de temel soğurma spektrumundan faydalanarak optik metodu kullanmaktır. Optik metot, yarıiletken malzemelerin yasak enerji aralıklarının belirlenmesinde kullanılırken aynı zamanda optik geçişler hakkında da bilgi vermektedir [37-38].

Ca ve Mn katkılı TiO₂ filmleri UV-Vis Spektrofotometre cihazı ile incelenerek yasak enerji grafikleri çizildi. Grafikler Ca katkılı ve Mn katkılı olarak gruplandırıldı ve 2 ayrı yasak enerji grafiği çizildi. Çizilen grafikler Şekil 9.17. ve 9.18.'de verilmektedir.



Şekil 9.17. Ca katkılı TiO₂ Numunelerin $(\alpha hv)^2 - hv$ (eV) Grafiği



Şekil 9.18. Ca ve Mn katkılı TiO₂ Numunelerin $(\alpha hv)^2 - hv$ (eV) Grafiği

Yarıiletken malzemelerin yasak enerji aralığını belirlemek için temel soğurma spektrumu yardımıyla çizilen $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafiği kullanılır. Bu değişimin lineer kısmının doğrultusunun hv eksenini $(\alpha hv)^2=0$ 'da kestiği noktanın enerji değeri, yarıiletkenin yasak enerji aralığını vermektedir. Yasak enerji aralıkları:

$$\alpha hv = A(hv - E_g)^m$$

formülü ile hesaplanmıştır. Burada, α ; soğurma katsayısı, hv ; foton enerjisi, E_g ; Yasak Enerji Aralığı, $n=1/2$ (direkt geçişler için) ve A ; sabittir. m değeri 2 ise materyal dolaylı band aralığına, eğer $1/2$ ise materyal doğrudan band aralığına sahiptir [27].

Tablo 9.1. Filmlerin Yasak Enerji Parametreleri

<i>Numune</i>	<i>E_g (eV)</i>
Katkısız TiO ₂	3.65
%1 Ca Katkılı TiO ₂	3.68
%3 Ca Katkılı TiO ₂	3.76
%5 Ca Katkılı TiO ₂	3.74
%10 Ca Katkılı TiO ₂	3.77
%1 Mn %1 Ca Katkılı TiO ₂	3.75
%1 Mn %3 Ca Katkılı TiO ₂	3.73
%1 Mn %5 Ca Katkılı TiO ₂	3.66

Ca ve Mn katkılı TiO₂ filmlerin yasak enerji grafikleri Şekil 9.17. ve 9.18.'de gösterilmiştir. Yasak enerji aralıkları Şekil 9.17. ve 9.18.'deki eğrilerden tespit edilerek elde edilen değerler Tablo 9.1.'de verilmiştir. Katkısız TiO₂ filminin yasak enerji aralığı 3.65 eV bulunmuş olup bulunan değer literatürle uyum içerisinde olduğu tespit edilmiştir [23-31]. Tablo 9.1. incelendiğinde yapılan Ca ve Mn katkısının yasak enerji aralığında bir artışa sebep olduğu görülmektedir. Filmlerin yasak enerji aralıklarındaki artış, TiO₂'nin bant yapısındaki modifikasyona atfedilebilir. Çünkü fermi seviyesi taşıyıcı konsantrasyondaki artışa bağlı olarak iletim bandına yaklaştığında, düşük enerji geçişleri bloke edilir ve yasak enerji aralığı değeri artar. Katkılama yoluyla enerji bantlarının genişleme etkisi göstermesi Burstein-Moss bant doldurma etkisi olarak adlandırılır [30].

10. DENEYSEL SONUÇLAR

- Son zamanların en yeni ve dikkat çeken konusu olan nano yapıları ince filmler sol jel döndürerek kaplama tekniğiyle üretilmiştir. Çalışmada farklı oranlarda Ca ve Mn kullanılmış ve katkı oranındaki artışla nano yapıda değişiklikler meydana geldiği görülmüştür.
- Teknolojik uygulamalarda önemli bir yeri olan yarıiletken film üretimine yönelik bu çalışmada, özellikle maliyet açısından pahalı diğer üretim yöntemlerine alternatif olarak TiO₂ ince filmlerin üretilmesi ve farklı malzemeler katılma imkânı ile özelliklerinin değiştirilmesine olanak sağlanabilmesi açısından önem arz etmektedir.
- SEM analizlerinde; saf titanyuma nazaran Ca ve Mn katkısına bağlı olarak tanecik yoğunluğunun giderek azalan bir morfoloji sergilediği görülmüştür. Saf TiO₂ filminin homojen yapıda olduğu, Ca ve Mn katkılı filmlerin ise kısmen homojen yapıda olduğu sonucu çıkarılmıştır. Katkı oranının artmasıyla tanecikler arasındaki mesafe artmış ve tane boyutları artmıştır. Taneciklerin küresel yapıda olduğu gözlemlenmiştir.
- EDX analizleri incelendiğinde; yüksek şiddette Ti, Ca ve Mn pikleri elde edilmiştir. Üretilen filmin atomik olarak literatür ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir [11].
- XRD analizleri incelendiğinde; döndürerek kaplama yöntemiyle üretilen TiO₂ filmlerin kristal yapısının anataz olduğu belirlenmiştir. Scherrer denklemi yardımıyla, Ti tanecik büyüklüğü 19,74 nm olarak hesaplanmıştır. Ti-5Ca filminin tanecik büyüklüğü 26,5 nm olarak hesaplanmıştır. Ti-1Ca-5Mn filminin tanecik büyüklüğü 24,25 nm olarak hesaplanmıştır. Yapılan Ca ve Mn katkısının tanecik büyüklüğünde artışa neden olduğu tespit edilmiştir [1].
- AFM analizlerinden; yapılan Mn katkı oranındaki artışa bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerinde bir düşüş meydana geldiği görülmüştür. Ancak Ca katkısıyla yüzey pürüzlülük değerinde düzenli bir artış ya da azalma görülmemiştir. Yine tane boyutu hesapları incelendiğinde düzenli bir düşüş veya artış görülmemiş olup taneciklerin nano boyutta olduğu tespit edilmiştir. Saf TiO₂ ile kıyaslandığında %3 Ca katkılı ve %3 Mn katkılı filmlerin tane boyutu daha büyükken diğer filmlerin tane boyutu daha küçük olduğu görülmüştür.
- Soğurma grafiklerinden; numunelerin yüksek şeffaflığa sahip olması sebebiyle görünür bölgedeki ortalama soğurmanın Ca katkılı numunelerde %0,75 ile %4,5 aralığında olduğu, Mn katkılı numunelerde ise %0,5 ile %3 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Geçirgenlik grafiklerinden; Ca ve Mn katkılı numunelerde maksimum geçirgenlik değerlerinin %70 ile %90 arasında olduğu tespit edilmiştir. Yansıma grafiklerinden,

yansıma değerlerinin 0-1500 nm dalga boyu aralığında değişmekte olduğu ve yansıma oranlarında lineer olmayan değişiklikler olduğu tespit edilmiştir.

- Üretilen filmlerin UV-Vis Spektrofotometre analizlerine göre yasak enerji aralıkları incelendiğinde; yasak enerji aralığı en düşük filmin saf TiO₂ (3.65 eV) olduğu ve filmlerin yasak enerji aralığının Ca ve Mn katkısı ile arttığı tespit edilmiştir. Hesaplanan yasak enerji aralıklarının literatürle uyum içerisinde olduğu gözlemlenmiştir [23-31].
- Yapılan araştırmalar sonucunda; Ca ve Mn katkısının TiO₂ filmlerin morfolojik ve optik özellikleri üzerinde önemli etkileri olduğu ve üretilen numunelerin şeffaf iletken elektrot uygulamalarında, optoelektronik cihazlarda, güneş pillerinde ve sensör üretiminde kullanılabileceği tespit edilmiştir [32].

Öneriler

- Bu çalışmanın gelecekte yapılacak olan çalışmalarda farklı katkı maddeleri kullanarak ve kalınlık, dönme hızı, sıcaklık gibi parametreler değiştirilerek yeni özellikte nanomalzemeler üretilmesi açısından literatüre fayda sağlayacağı düşünülmektedir.
- Döndürerek kaplama yöntemiyle üretilen bu ince filmlerin elektronik ve manyetik özellikleri detaylı olarak incelenebilir ve mikro ölçekte birçok elektronik cihaz ve aygıt geliştirilebilir.
- Günümüzün bilimsel araştırmalarının en temel unsurlarından birini yarıiletken nanomalzemeler oluşturmaktadır. Özellikle malzeme dünyasında büyük ilgi uyandıran yarıiletken nanomalzemelerin geliştirilmesinin teknolojik gelişmelere büyük katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Teknolojik aygıtların geliştirilmesi ve maliyetinin düşürülmesi için akademide ve endüstride ince film teknolojisi üzerine yoğun çalışmalar yapılmaya devam edilmesi gerektiği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Ataş, V. (2014). *Döndürerek Kaplama Yöntemiyle Elde Edilen TiO₂ Filmlerinin Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [2] Aydın, C. (2010). *Metal Oksit Katkılı Yarıiletken Malzemelerin Üretilmesi ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [3] Sönmezoğlu, S.; Koç, M.; Akın, S. (2012). İnce Film Üretim Teknikleri, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, cilt 28(5), ss. 389-401
- [4] Çulhaoğlu, S. (2015). *Bor Ve Azot Katkılı TiO₂ İnce Filmlerin Fotokatalitik Aktivitelerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [5] Bardakçı, S. (2007). *Sol-Jel Yöntemiyle Hazırlanan TiO₂ İnce Filmlerin Optik Özelliklerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [6] Yaşar, S. (2012). *Titanyum Oksit Yarıiletken Filminin Elde Edilmesi Optik ve Kristal Özelliklerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [7] Öztürk, H. Y. (2010). *Co – Katkılı TiO₂ İnce Filmlerin Yapısal ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [8] Çölkesen, P. (2019). *Döndürerek Kaplama Yöntemi İle Sr, Gd, Co, Zr Ve Mn Elementleri Katkılanmış BaTiO₃ Filmlerin Dielektrik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [9] Durmaz, D. (2019). *Sol-Jel Döndürmeli Kaplama Tekniği İle TiO₂ Filmlerinin Üretimi ve Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [10] Aksoy, S. (2017). *Sol-Jel Spin Kaplama Yöntemiyle Elde Edilen Nano Yapılı Metal Oksit Filmlerinin Fiziksel Karakterizasyonu*, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [11] İlhan, M. (2019). *Dört Bileşenli Fonksiyonel Yarıiletken İnfrared Fotodedektörlerinin Üretilmesi Ve Elektronik Özelliklerinin Belirlenmesi*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [12] Özden Dinç, D. Ş. (2018). *Yüzeylerin Titanyum Nanoçubuklar Ve Onların Altın/Gümüş İle Modifiye Formları İle Nanodesenlenmesi Ve Farklı Alanlarda Kullanılabilirliklerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [13] Aydın, C. (2018). Farklı Molar Oranlarında, Eşit Miktarlarda Mn-Ni Katkılandırılmış ZnO Esaslı Nano Yapılı İnce Filmlerin Yüzey Morfolojisi, Optik Sabitleri ve Dispersiyon Enerji Parametreleri, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 29 (2), ss. 221-232
- [14] Ateş, H.; Bahçeci, E. (2015). Nano Malzemeler için Üretim Yöntemleri, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C*, cilt 3(2), ss. 483-499
- [15] Aydın, C. (2020). Carbon Monoxide Gas Sensing Characteristics Dependent on Morphological Properties of Ternary Oxide (SnO₂/ZnO/TiO₂) Nanolayers, *Journal of Physical Chemistry and Functional Materials Volume 3*, cilt Issue 1, ss. 20-23
- [16] Sarıgül, H.; Sorar, İ. (2016). Sol-Jel Yöntemiyle Hazırlanan TiO₂ Filmlerin Optik ve Elektrokromik Özellikleri, *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, cilt 2, ss. 81-88
- [17] Çalışkan, M. D. (2014). Yeni Nesil İnce filmler İle Optoelektronik Uygulamaların Araştırılması, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [18] Tüylek, Z. (2016). Küçük Şeylerin Hikayesi: Nanomalzeme, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, cilt 5(2), ss. 130-141

- [19] Hummelgård, C.; Gustavsson J.; Cornell A.; Olin H.; Bäckström, J. (2013). Spin coated titanium–ruthenium oxide thin films, *Thin Solid Films*, cilt 536, ss. 74–80
- [20] Wang, X.; Shi, F.; Gao, X.; Fan, C.; Huang, W.; Feng, X. (2013). A sol–gel dip/spin coating method to prepare titanium oxide films, *Thin Solid Films*, cilt 548, ss. 34–39
- [21] Singh, M.; Yadav, B. C.; Ranjan, A.; Kaur, M.; Gupta, S. K. (2017). Synthesis and characterization of perovskite barium titanate thin film and its application as LPG sensor, *Sensors and actuators b: chemical*, cilt 241, ss. 1170-1178
- [22] Wua, C.; Leeb, Y.; Lob, Y.; Lina, C.; Wu, C. (2013). Thickness-dependent photocatalytic performance of nanocrystalline TiO₂ thin films prepared by sol–gel spin coating, *Applied Surface Science*, cilt 280, ss. 737– 744
- [23] Lin, C. Y. W.; Nakaruk, A.; Sorrell, C. C. (2012). Mn-doped titania thin films prepared by spin coating, *Progress in Organic Coatings*, cilt 74, ss. 645– 647
- [24] Biçer, Ö. (2019). *Mn Katkılı TiO₂ İnce Filmlerin Antibakteriyel Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [25] Aslan, F.; Esen, H.; Yakuphanoglu, F. (2020). Analysis Of The Electrical Characteristics Of Photodiodes Produced By Dopping Various Metal Oxides, *International Journal of Innovative Engineering Applications*, cilt 4, 2, ss. 41-54
- [26] Özer, Y. (2019). Nanoteknoloji'nin Askeri Uygulamaları Üzerine Bir Değerlendirme, *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, cilt IDEF Özel Sayı, ss. 33-52
- [27] Boz, M. H. (2019). *Fotovoltaik Uygulamalar İçin Bakır Oksit İnce Filmlerin Sol-Jel Daldırma Metoduyla Üretilmesi ve Optik Özelliklerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [28] Özler, F. B. (2007). *Titanyum ve Alaşımlarının Sol-jel Daldırma Yöntemiyle Yüzey Modifikasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [29] Şam, E. D. (2007). *Saf ve Katkılı TiO₂ Filmlerin Optik, Yapısal ve Fotoaktivite Özellikleri*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [30] Çalığülü, U.; Orhan, A.; Barlas, Z.; Darcan, N. (2021). Döndürerek Kaplama Yöntemi ile Hazırlanan Ca katkılı TiO₂ İnce Filmlerin Optik ve Morfolojik Özellikleri, *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, cilt 33(1), ss. 315-327
- [31] Sarıgül, H.; Sorar, İ. (2016). Sol-Jel Yöntemiyle Hazırlanan TiO₂ Filmlerin Optik ve Elektrokromik Özellikleri, *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, cilt 2, ss. 81-88
- [32] Çalığülü, U.; Darcan, N.; Kejanlı H. (2021). Surface morphology and optical properties of Ca and Mn doped TiO₂ nanostructured thin films, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, cilt 24(6), ss. 1292-1300
- [33] Aksan, O.A. (2021). *Optik Biyosensörlerde Altlık Olarak Kullanmak Amacıyla ZnO:TiO₂ Nanoporlu Filmlerin Sol-jel Tekniğiyle Üretilmesi ve Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [34] Koç, M. (2012). *Sol-jel Yöntemiyle Elde Edilen Alüminyum, Antimon ve Bakır Katkılı Nano Tanecikli TiO₂ İnce Filmlerinin Optiksel, Yapısal ve Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [35] Arık, K. (2013). *Kadmiyum Oksit Yapılı Nano Malzemelerin Sol Jel Metoduyla Oluşturulması ve Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

- [36] Biçer, E.D. (2015). *Sol-jel Yöntemi ile Hazırlanan TiO₂-SiO₂ Nanokompozit İnce Filmlerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [37] Gül, B. (2021). *Fotovoltaik İki Bileşenli Metal Oksit Nanomalzemelerinin Morfolojik ve Elektriksel Özelliklerinin Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [38] Yılmaz, A. (2018). *Çinko Oksit-Grafen Oksit Nanokompozit İnce Filmlerin Üretimi ve Optiksel Özelliklerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü



ÖZGEÇMİŞ

Nida DARCAN

[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]

[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]

AKADEMİK FAALİYETLER

Makaleler :

1. Çalgülü, U.; Orhan, A.; Barlas, Z.; Darcan, N. (2021). Döndürerek Kaplama Yöntemi ile Hazırlanan Ca katkılı TiO₂ İnce Filmlerin Optik ve Morfolojik Özellikleri, *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, cilt 33(1), ss. 315-327
2. Çalgülü, U.; Darcan, N.; Kejanlı H. (2021). Surface morphology and optical properties of Ca and Mn doped TiO₂ nanostructured thin films, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, cilt 24(6), ss. 1292-1300

Projeler:

1. Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) yönetim birimi (Proje No: TEKF.20.19) tarafından desteklenmiştir.