

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**HİDROTERMAL METOT İLETİO₂ ESASLI
KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİLMESİ**

Furkan ÖZBEY

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Canan AKSU CANBAY

HAZİRAN-2018

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİDROTHERMAL METOT İLE
TiO₂ ESASLI KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Furkan ÖZBEY

(141114106)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 8 Haziran 2018

Tezin Savunulduğu Tarih: 29 Haziran 2018

FİZİK ANABİLİM DALI

GENEL FİZİK

Danışman: Doç. Dr. Canan AKSU CANBAY

HAZİRAN-2018

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİDROTHERMAL METOT İLE
TiO₂ ESASLI KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Furkan ÖZBEY

(141114106)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Haziran 2018
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Haziran 2018

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Canan AKSU CANBAY (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU (F.Ü)

Doç. Dr. Zafer ŞERBETÇİ (B.Ü)



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HİDROTHERMAL METOT İLE TiO_2 ESASLI KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİLMESİ

Furkan ÖZBEY

Fırat Üniversitesi

Fen bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Elazığ, 2018, Sayfa: x + 41

Bu tez çalışmasının amacı, hidrotermal yöntem kullanılarak titanyum dioksit esaslı kompozit malzeme üretmektir. Elde edilen titanyum dioksit kompozit malzemesine farklı oranlarda katkılanan kadmiyum oksit (CdO) ile malzemenin elektriksel, termodinamik, mekanik ve optik özellikleri iyileştirilmek istenmiştir. Elde edilen üç kompozit malzemenin yapısal özelliklerini incelemek için SEM, TG/DTA, FTIR, I-V ve U-V(Vis) ölçümleri alınarak katkı oranına göre kompozitlerin yapısal özelliklerindeki değişim incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit malzeme, TiO_2 , CdO , Hidrotermal metot.

SUMMARY

Master's Thesis

FABRICATION OF CADMIUM (Cd) DOPED TITANIUM DIOXIDE (TiO₂) BASED COMPOSITE THIN FILM MATERIALS

Furkan ÖZBEY

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Elazig, 2018, Page: x + 41

The aim of this thesis is to produce titanium dioxide based composite material using hydrothermal method. It is desired to increase the electrical, thermodynamic, mechanical and optical properties of the material with cadmium oxide (CdO), which we add to the obtained titanium dioxide composite material at different ratios. SEM, TG/DTA, FTIR, I-V and U-V(Vis) measurements were taken to investigate the structural properties of the three composites obtained.

Keywords: Composite material, TiO₂, CdO, Hydrothermal method.

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu zor dönemde bana yardımcı olan benden herhangi bir bilgi ve ilgiyi esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Canan Aksu CANBAY'a

Bu çalışmanın yazılımında düşünceleriyle ve yardımlarıyla bana destek olan Oktay KARADUMAN'a

Yine bu çalışmada bana desteğini esirgemeyen Nihan ÜNLÜ'ye

Ayrıca tezin deney kısmında bana yardımcı olan Prof. Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU'na

Ve bana her konuda her şekilde destek olan beni yetiştirip bugünlere gelmemi sağlayan değerli anneme, babama kardeşlerime, hayat arkadaşıma ve bu zor şartlar altında gelen dünyanın en güzel hediyesi olan Mehmet Duha ÖZBEY'e
Samimiyet ve içtenlikle teşekkürlerimi arz ederim.

Bu tez Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi FÜBAP tarafından FF.16.13 nolu proje olarak desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	ii
SUMMARY	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
SEMBOLLER LİSTESİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KOMPOZİT MALZEME	3
2.1. Kompozit Malzemelerin Gruplandırılması	5
2.1.1. Katkı Malzemesine Göre Gruplandırma	5
2.1.2. Katkılı kompozitlerin şekil ve yerleşimine göre gruplandırılması	5
2.2. Kompozit Malzemelerin Metallere Göre Avantaj ve Dezavantajları	7
3. HİDROTERMAL METOT	9
4. TİTANYUM DİOKSİT (TiO₂).....	11
4.1. TiO ₂ ve CdO'nun Yapısı	12
4.1.1. TiO ₂ 'nin kırılma indisi	14
4.2. TiO ₂ 'nin Soğurma Spektrumu	16
4.3. TiO ₂ 'nin Yansıma Özelliği	17
5. DENEYSEL İŞLEMLER.....	18
5.1. CdO:TiO ₂ Kompozit Malzemelerinin Sentezlenmesi	18
5.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Gözlemleri	18

5.3.	Optik Analiz Ölçümleri	19
5.4.	Elektriksel İletkenlik Ölçümleri	19
5.5.	Termal Analiz Ölçümleri	20
6.	ÖLÇÜM SONUÇLARI.....	21
6.1.	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Sonuçları	21
6.2.	Optik Analiz Sonuçları	23
6.3.	Elektriksel İletkenlik Sonuçları	25
6.4.	Termal Analiz Sonuçları.....	26
6.5.	Numunelerin FTIR Sonuçları	33
	SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	34
	KAYNAKÇA.....	36
	ÖZGEÇMİŞ.....	41

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Kompozit malzemelerin oluşumu.....	3
Şekil 2.2.	Katkılı kompozitler. a) Fiberli kompozitler b)Partiküllükompozitler c) Katmanlı kompozitler ve d) Hibrid kompozitler	5
Şekil 2.3.	Katmanlı kompozitlerin gösterimi	7
Şekil 4.1.	Farklı bir yarıiletken ile birleştirilmiş TiO_2 ‘nin fotokatalitik durumu	12
Şekil 4.2.	a) Anatas, b) Rutil ve c) Brokit yapıları	13
Şekil 4.3.	Rutil ve anatas formuna sahip kompozit malzemelerin kırılma indisi-dalga boyu eğrileri.....	15
Şekil 4.5.	Pelet haline getirilmiş anatas ve rutil fazın ultraviyole ve görünür bölge spektrası	17
Şekil 5.1.	İki nokta uç elektriksel iletkenlik ölçüm probunun gösterimi.	19
Şekil 6.1.	Numunelerin SEM görüntüleri; a) TiO_2 , b) $\text{CdO}:\text{TiO}_2(10:90)$, c) $\text{CdO}:\text{TiO}_2(20:80)$	21
Şekil 6.2.	Numunelerin farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri; a) Saf TiO_2 , b) $\text{CdO}:\text{TiO}_2(10:90)$, c) $\text{CdO}:\text{TiO}_2(20:80)$	22
Şekil 6.3.	Numunelerin yansıma spektrumları.....	24
Şekil 6.4.	Numunelerin $(\alpha h\nu)^2-h\nu$ spektrumu.....	25
Şekil 6.5.	Numunelerin I-V eğrisi.....	26
Şekil 6.6.	TiO_2 numunesine ait TG/DTA eğrisi.....	27
Şekil 6.7.	TiO_2 numunesine ait DTA eğrisi.	28
Şekil 6.8.	TiO_2 numunesine ait TG eğrisi.	28
Şekil 6.9.	$\text{CdO}:\text{TiO}_2(10:90)$ numunesinin TG/DTA eğrisi.	29
Şekil 6.10.	$\text{CdO}:\text{TiO}_2(10:90)$ numunesinin DTA eğrisi.	30
Şekil 6.11.	$\text{CdO}:\text{TiO}_2(10:90)$ numunesinin TG eğrisi.	30

Şekil 6.12. CdO:TiO ₂ (20:80) numunesinin TG/DTA eğrisi.	31
Şekil 6.13. CdO:TiO ₂ (20:80) numunesinin DTA eğrisi.	32
Şekil 6.14. CdO:TiO ₂ (20:80) numunesinin TG eğrisi.	32
Şekil 6.15. Numunelerin FTIR spektrumları.	33



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Hidrotermal yöntemin uygulama alanları.....	10
---	----



SEMBOLLER LİSTESİ

Al₂O₃ : Alüminyum Oksit

SiC : Silisyum Karbür,

Si₃N₄ : SilisyumNitrür,

B₄C : Bor Karbür,

TiC : Titanyum Karbür

AC : Alternatif Akım

VB : Valens bandı

CB : İletkenlik bandı

T : Sıcaklık

P : Basınç

V : Hacim

TiO₂ : Titanyum Dioksit

Ti(OC₃H₇)₄ : Titanyum İzopropoksit

CdO : Kadmiyum Oksit

λ : Dalga boyu

H : Plank Sabiti

v : Frekans

E_g : Enerji

CH₃CH₂OH : Etanol

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler insanlık tarihi boyunca çok çeşitli kullanım amaçlarına göre keşfedilmiş ve keşfedilmeye devam etmektedir. Çamura saman katılmasıyla başlayan bu süreç günümüzde inşaat malzemelerinden fotovoltaik nanopartiküllere kadar çok geniş bir alanda baş döndürücü bir şekilde gelişmeye devam etmektedir. Ancak ilk ‘kompozit’ kelimesinin kullanımı tahmini 1940’ların başına denk gelmektedir[1]. Kompozit malzemelerin üretilmesindeki amaç malzemeye yeni optik, elektriksel veya mekaniksel vs. gibi kimyasal ve fiziksel özellikler kazandırılarak bunlardan faydalanmaktır.

Kompozit malzeme teknolojisinde yakın zamanda çok hızlı bir gelişme olmuştur. Bu hızlı gelişme sayesinde birçok sektörde gittikçe artan oranlarda kullanılmalarını sağlamıştır. En çok tercih edilen sektör ise havacılık sanayisidir [2].

Kompozit nanopartiküller (nano tozlar), nano boyutlarda olup çok çeşitli organik, inorganik maddeler ve üretim teknikleriyle sentezlenebilmektedirler. Kompozit malzeme üretiminde en çok kullanılan maddelerin başında titanyum dioksit gelmektedir. Titanyum dioksitin yarıiletkenlik özelliği kullanılıp, fotokatalitik özelliğinden yararlanılmaktadır. İnorganik metal bazlı titanyum dioksit (TiO_2) kimya endüstrisinden fotovoltaik ve yarıiletken ince film uygulamalarına kadar çok geniş bir yelpazede katalizör, yarıiletken film vs. olarak çok sık kullanılmaktadır. Fotovoltaik uygulamalarda titanyum dioksitin optik soğurma kapasitesinin veya elektriksel özelliklerinin iyileştirilmesi için çeşitli katkılama ve üretim yöntemleri kullanılarak sentezlenebilmeleri mümkün olmuş ve bununla ilgili araştırmalar devam etmektedir.

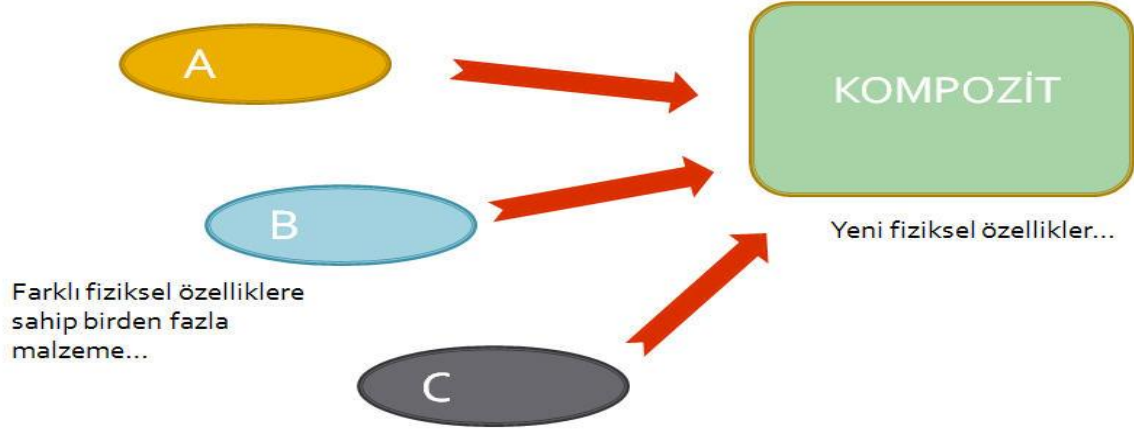
Titanyum dioksitin daha fazla tercih edilmesinin sebebi, herhangi bir tepkisel adımının minimum olması, insan vücuduyla etkileşime girmemesi yan ürün içermeyen organik bir malzeme olmasıdır[1]. Titanyum dioksitin fotokatalitik özelliği çeşitli yöntemlerle artırılabilir[3]. TiO_2 , hava temizleme alanında en yaygın kullanılan fotokatalisttir[4]. Titanyum dioksit (TiO_2), 1970’lerde su ayırma özelliğinin keşfinden beri en çok araştırılan yarı iletkenlerden biridir. Bolluk, toksisite ve kimyasal kararlılığa sahip olan TiO_2 kataliz, kozmetik, boyalar, antibakteriyel maddeler, lityum iyon pilleri, boyaya duyarlı güneş hücreleri vb. gibi geniş uygulama alanlarına sahiptir. Bununla birlikte, bozulmamış TiO_2 ’nin beyaz renk ve geniş bant aralığı, uygulamalarını güneş ışığı spektrumunun UV bölümüne derinlemesine sınırlar. Güneş enerjisinin sadece küçük bir kısmı (~%5) bakır TiO_2 tarafından iyi kullanılabilir ve güneş enerjisinin çoğu boşa

harcanır. Bu nedenle, güneş spektrumunun absorpsiyon kenarının görünür bölgeye uzatılması ve TiO_2 'nin fotokatalitik aktivitesinin artırılması için elektron-delik çiftlerinin rekombinasyonunun azaltılması gerekmektedir[5].

Titanyum dioksit iyi bir katalizör olduğundan dolayı farklı farklı maddelerle etkileşim girebilmektedir. TiO_2 yarıiletkeni, kendisinden daha dar bant boşluğuna sahip ve görünür ışığı absorplayabilen kadmiyum oksit yarıiletkeni ile birleştirilebilmektedir. Bu tekniğin temel prensibi dar bant boşluklu yarıiletkenin ışığı absorplamasıyla valans banttaki (VB) elektronun iletkenlik bandına (CB) uyarılmasına ve buradan da TiO_2 'in iletkenlik bandına geçmesine dayanmaktadır. Böylece elektronlar TiO_2 'in yüzeyine doğru hareket ederek aktif yükseltgenmiş türlerin oluşmasını sağlamaktadır. Literatürde bunun gibi birçok çalışma vardır. Örneğin, $\text{TiO}_2:\text{FeS}_2$, $\text{ZrO}_2:\text{TiO}_2$, $\text{SiO}_2:\text{TiO}_2$, $\text{TiO}_2:\text{CNSP}$ vs. gibi pek çok değişik katkılarının yapıldığı geniş bir çalışma alanı mevcuttur[6]. Kadmiyum oksit, 2,5 V'luk bir doğrudan bant aralığı ve 1.98 eV'lık bir dolaylı bant aralığı ile önemli bir n-tipi yarıiletkenidir. Lineer olmayan malzemeler, katalizörlerde ümit verici uygulamalara sahiptir. CdO nanopartiküllerinin oldukça reaktif olduğu bilinmektedir ve bunlar enerji depolama sistemi, elektrokromik ince filmler ve heterojen kataliz gibi süreçlerde kullanılmıştır. Nanobilim ve nanoteknoloji sentezinde önemli bir bileşen oluşturur. Kimyasal yöntemlerle üretilen nanomalzemeler, lazer ablasyon, ark deşarjı ve buharlaşma gibi fiziksel yöntemlerle üretilenlerden farklı boyutlar, şekiller ve fonksiyonallizasyon sağlamanın yanı sıra daha iyi kontrol sağlayarak daha etkili olduklarını kanıtlamıştır. Metal oksit nanopartikülleri, birlikte-çökeltme, sol-jel ve hidrotermal sentez gibi yumuşak kimyasal yöntemler ile üretilirler[7].

Bu tezin amacı, iyi bir yarıiletken olan titanyum dioksit (TiO_2)'e kadmiyum oksit (CdO) nanopartikülleri katkılarak, optiksel absorblayıcı ve elektriksel iletkenlik özelliklerinin iyileştirilmesini sağlamaktır. Bunun için hidrotermal metot ve kimyasal işlemlerle üretilen katkısız TiO_2 numunesinin ve iki farklı oranda CdO katkılı $\text{CdO}:\text{TiO}_2(10:90)$ ve $\text{CdO}:\text{TiO}_2(20:80)$ kompozit numunelerinin SEM, TG/DTA, FTIR, UV-Vis ve I-V ölçümleri üzerinden yapılan analizleri yoluyla karakterizasyonu yapılmıştır.

2. KOMPOZİT MALZEME



Şekil 2.1. Kompozit malzemelerin oluşumu [3].

Kullanım amaçlarına göre, belirli şartlar altında daha dayanıklı basma ve çekme kuvvetlerine karşı dirençli veya iyileştirilmiş kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olan kompozit malzemeler farklı iki veya daha fazla maddenin birbirine katılmasıyla oluşturulan malzemelerdir (Şekil 1). Kompozit malzemenin, kendisini oluşturan veya yapısına katılan malzemelerden herhangi birine göre daha farklı özelliklere sahip olması amaçlanmaktadır [3,8].

Genellikle kompozit ürünlerde dört ana şart aranır.

1. Doğa da bulunmaması insani bir yapının olması
2. İki'den fazla malzemenin bir araya gelerek kimyasal tepkime oluşturmaması
3. Katılan malzemelerin üç boyutunun olması
4. Katılan malzemelerin herhangi birisinin özelliği olmadığı özelliği taşıması

Kompozit malzemelerde özelliği arttırmak amacı ile kullanılan bir katkı elemanın çevresinde hacim boyutunda çoğunluğu oluşturan bir fiber (matris) malzeme vardır. Kompozit malzemelerde malzemeyi oluşturan yapılar (bileşenler) birbiri içinde çözünmezler (kimyasal olarak inert). Ancak özellikle metalik sistemlerde düşük oranlarda bile olsa, bir miktar çözünme bileşenler arasında kompozit özelliklerini etkileyebilen ara yüzey reaksiyonları görülebilir. Bu ara yüzey fazı yapının tüm özelliklerini etkileyebildiği için bu yüzeyi üçüncü bir faz olarak incelemek gerekir [15].

Daha dayanıklı ürünler elde ederken hangi maddelerin birbirine katılacağı nerde kullanılacağı ihtiyaca göre belirlenir. Kompozit malzeme belirlenirken malzemenin maliyet raporu hangi koşullara dayanıklı olduğu nasıl üretilmesi gerektiği kalite kontrolün yapılması gibi nicelikler birlikte raporlanır [3].

Artılarına, bütünlüğüne, hafif oluşuna, basma ve çekme kuvvetlerine dayanıklılığına, ömrünün uzun oluşu kompozit malzemelerinin kullanım alanlarını genişletir. Basma ve çekme etkisi altında kopma noktasına gelen cam elyafı normal maddeler gibi akma özelliği göstermez ve başlangıç formuna gelir. Bu özellik geçiş metallerine ve organik maddelere göre büyük ölçüde enerji, depolama ve bırakma özelliği sağlar. Bu durum ise basma çekme kuvvetlerine dayanıklılık, aşınmaya karşı direnç gösteren cihazlarda bu tip malzemelerin kullanılmasını sağlamaktadır[9].

Dolayısıyla kompozit malzemelerin üretiminin birkaç amacının olması gerekir ve bu amaçlar şöyle sıralanabilir. [2];

- i. Mekanik dayanım
- ii. Basınç
- iii. Çekme, eğilme
- iv. Çarpma dayanımı,
- v. Yorulma dayanımı, aşınma direnci,
- vi. Korozyon direnci,
- vii. Kırılma tokluğu,
- viii. Yüksek sıcaklığa dayanıklılık,
- ix. Isı iletkenliği veya ısı direnç,
- x. Elektrik iletkenliği veya elektriksel direnç,
- xi. Akustik iletkenlik, ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu,
- xii. Rijitlik
- xiii. Ağırlık,

Benzer özellikler sıralanabilir. Bu özelliklerin hepsini bir arada sağlamak imkansızdır. Kullanılacak alana göre birkaçı bir araya getirilerek yeni bir kompozit malzeme elde edilir. Bunun sonucunda kompozit malzemeler uygun olarak katkılı ve lifli özelliklerini taşıyacak şekilde üretilir.[10].

2.1. Kompozit Malzemelerin Gruplandırılması

2.1.1. Katkı Malzemesine Göre Gruplandırma

- **Metal katkıli kompozitler:**

Bu kompozitlerin en önemli özelliği ana fazı metal katkı oluşturur. Katkı sağlanırken herhangi bir sınır koyulmamaktadır.

- **Seramik katkıli kompozitler:**

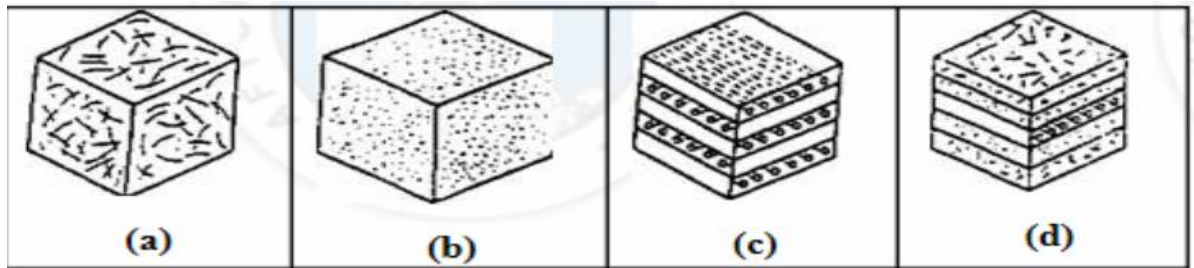
Seramik katkıli kompozitler seramiğin özelliğinden dolayı sert ve kırılgan bir yapıya sahiptirler. Yine seramik maddesinin özelliklerinden dolayı sıcaklığa dayanıklıdır. Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , B_4C , BN, TiC, TiB, TiN ve AlN gibi malzemeler ısı direnci ve ısı tokluğu düşük seramik malzemelerdir. Malzemelerin bir kaç tanesi bir araya gelerek seramik katkıli kompozit malzemeler yapılır. Seramik katkıli kompozitler genellikle askeri amaçla kullanılır. Zırhlar ve çeşitli askeri araçlarda, uzay araçlarında bu kompozit malzemeler kullanılarak yapılabilir.

- **Polimer katkıli kompozitler:**

Lif takviyeli kompozitler olarak da geçen polimer katkıli kompozitlerin termoset ve termoplastik olarak iki çeşidi bulunmaktadır. Polimer katkıli kompozitlerin en önemli olanları liflerle takviye edilmiş polyester maddeler ve epoksi reçine katkıli olanlarıdır. Polimer katkıli kompozitlerde katkı malzemesi olarak cam lif, kevlar lif, bor lif, ve karbon lifler sayılabilir.

2.1.2. Katkıli kompozitlerin şekil ve yerleşimine göre gruplandırılması

Şekil 2’de katkıli kompozitlerin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Katkıli kompozitler. a) Fiberli kompozitler b)Partiküllükompozitler c) Katmanlı kompozitler ve d) Hibrid kompozitler [9].

- **Elyaf (Fiber) ya da lif takviyeli kompozitler:**

Bu kompozitlere aynı zamanda tek katmanlı kompozitler de denilmektedir. Fiber katkılı kompozitler de ince bir elyaf katkısıyla ortaya çıkmıştır. Tek katmanlı kompozitlerin en önemli özelliği fiberin kompozit yapısının içindeki yerleşim şeklidir.

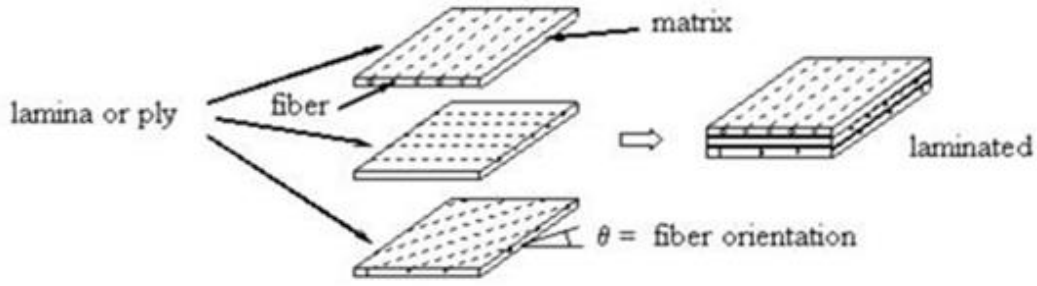
- **Partiküllü kompozitler:**

Katkılı bir malzemenin içine partiküllerin katkısıyla oluşan kompozit malzemelerdir. Tek katmanlı kompozitler de elde ettiğimiz gibi izotrop yapıya sahiptirler yani bütün özellikleri tüm noktalarında aynı karaktere sahiptir. Kompozit malzemenin basma ve çekme kuvvetlerine karşı direnci kompozit malzemenin sertliğine bağlıdır. Partiküllü kompozit malzemeler oluşturulurken katkı malzemesi ve partiküller birbirini çözmezler.

- **Katmanlı kompozitler:**

Kompozitlerin en eski yapıya sahip olanı ve en yaygın kullanılan kompozitlerdir. Katmanlar arasına katılan fiber bileşimi ile birlikte basma ve çekme kuvvetlerine gösterilen direnç maksimum seviye çıkabilmektedir. En çok tercih edildiği sistemler ise nem ve ısıya dayanıklı olmasından dolayı uçak yapımında çok yaygın olarak kullanılan kompozitler katmanlı kompozitlerdir. Katmanlı (tabakalı) fiber kompozitler uçak sanayisinde önemli bir yere sahiptir.

Sandviç yapıların kullanımında yapımında en yaygın kullanılan kompozit katmanlı kompozitlerdir. Sandviç yapılar, yük taşıması için yapılmaz, izolasyonu sağlamak için kullanılır. Yoğunluğu az yalıtım malzemelerinin üst üste gelerek oluşturduğu ve bunların üzerine ise basma ve çekme kuvvetlerine dayanıklı levhaların gelmesiyle oluşan şekle sandviç yapı denir. Katkılı malzemelerle oluşturulan malzemeye birleştirilir. Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Katmanlı kompozitlerin gösterimi [9].

- **Hibrid (karma) kompozitler:**

Fiber çeşidi iki yada daha fazla bir kompozit malzeme oluşturulursa bu tip kompozit malzemelere karma kompozitler denir. Yeni kompozit çeşitlerinin artması için uygun bir kompozit dalıdır. Karma kompozitleri yaparken fiberlerin özellikleri önemlidir, mesela grafit kırılğan bir yapıya sahiptir ancak basma özelliği çok daha yüksek ve pahalıdır. Buna karşın kevlar fiberi ise kırılğan yapısı daha kuvvetli ucuz ama basma eğilimi düşük olan bir fiberdir[9].

2.2. Kompozit Malzemelerin Metallere Göre Avantaj ve Dezavantajları

Kompozit malzemeler diğer dayanıklı malzemelere göre ya da diğer maddelere göre daha hafiftir, özgül ağırlıkları düşüktür. Bu özelliklerin yanı sıra aşınımına olan dayanıklılıkları ile ısı, ses ve elektrik yalıtımının iyi olması kompozit malzemelerin kullanılmasında büyük bir öneme sahiptir. Kompozit malzemelerin avantajları olduğu gibi dezavantajları da olacaktır. Bu dezavantajlar ortadan kalkarsa bütünüyle metallerin yerini kompozit malzemeler alacaktır.

Kompozit malzemelerin avantajları şöyledir:

- Yüksek dayanıklılık
- Kolay şekil değişikliği
- Elektriksel iletkenlik özellikleri
- Isı ve sıcaklığa karşı dayanıklılık
- Titreşim yok etme
- Aşınımına karşı dayanıklılık

- Kalıcı renk özelliği

Kompozit malzemelerin avantajlarına oranla dezavantajları çok azdır. Buna rağmen çelik ve alüminyuma göre çok çok avantajlı bir maddedir.

Kompozit malzemelerin dezavantajları şöyle sıralanabilir:

- Hammadde maliyeti,
- Yüksek direncin getirdiği zorluklar,
- Kullanılan malzeme
- Kırılgan yapısı
- Kompozit malzemelerin saklanması[9].

Görülüyor ki kompozit malzemeler farklı farklı sektörlerde kullanılmakta ve sürekli gelişim gösteren kullanım alanları günden güne artmaktadır. Kompozit malzemelere yönelik ar-ge faaliyetleri sıkça yapılmaktadır. Bu faaliyetlerde kompozit malzemeleri geliştirme alternatifleri mümkün olabilmektedir. Bu sebeple, mühendislerin, izotropik (metal,seramik vb.) malzemeler için yapabildiği tasarım, analiz, teorik hesaplamalar, deneysel ölçümler, geliştirmeler, imalat gibi faaliyetleri kompozit malzemeler için de yapabilmeleri onlar için önemli bir ayrıcalık ve tercih edilme sebebidir. Bu ise ancak kompozit malzeme mekaniği konusunda iyi bir temel bilgi birikimi ile mümkündür[10].

Bir kompozit ürünün özelliklerini belirleyen unsurlar:

- Takviye elemanının (fiber) özellikleri
- Matris malzemenin özellikleri
- Fiber-matris ara yüzeyindeki yapışma kabiliyeti
- Fiber/matris oranı (Hacimsel Yoğunluk, Fiber Volume Fraction)
- Takviye elemanının geometrisi ve matris içindeki yönelmesi (oryantasyonu)[11, 12].

3. HİDROTHERMAL METOT

Solvothermal ve hidrotermal birbirine benzeyen iki deneysel süreçtir. Hidrotermal yöntem, maddenin sulu çözeltisi kullanılarak yüksek sıcaklıkta ve yüksek buhar basıncında bir maddenin kristalleştirilmesi işlemidir[13]. Genel olarak (100 °C) ve basınçta (<1 atm) çözünmeyen maddelerden kristal sentezi veya kristal büyümesi olarak tasvir edilir. İşlem, kontrollü sıcaklık ve basınç altında otoklavlarda gerçekleştirilir. Su/organik çözelti kaynama noktasının üzerindeki sıcaklıkların kullanılmasına izin verir. Hidrotermal sentez, çözünabilir kırılma noktasının üzerindeki sıcaklıklarda ve basınçlarda çözünabilir bir maddede meydana gelen bir karışım tepkisi olarak karakterize edilir[14].

Bu metotta giriş ürünleri ve çözücü özelliği olan maddeler kapalı bir kap içerisine yerleştirilerek hedeflenen sıcaklık değerine kadar ısıtılır. Çözgen özelliği olan madde su olursa hidrotermal metot, bir organik çözücü olursa solvothermal metot olarak isimlendirilir. Bu yöntemde maddelerin çözgen madde içerisinde tamamıyla çözünmesi istenir eğer çözünmezse sıcaklık, pH gibi değerlerin kontrolü ile çözünmesi sağlanabilir.

Hidrotermal metodun artıları aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- a) Kimyasal yönü kontrol altına alınabilir,
- b) Homojenlik sağlanır,
- c) Düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilebilir,
- d) Yeni özellikli maddeler elde edilebilir.

Herhangi bir mekanik işleme gerek duymadığı için son zamanlarda bilim çalışması yapanların dikkatini çekmiştir. Hidrotermal metodu sol-jel yöntemi ile kıyaslırsak, sol-jel yöntemi hidrotermal yöntemine göre daha pahalı bir sistemdir. Ayrıca sol-jel yöntemi daha karışık bir sistem ve büyük basınçlı sistem gereksinim duyulur. Sol-jel yönteminin ayrı bir dezavantajı ise çözücüleri tekrar kullanamamaktır. Bu yöntemde nano boyuttaki parçacıkların tamamen kapalı ortamda üretilmektedir. Tablo 1’de hidrotermal yöntemin uygulama alanları verilmiştir[15].

Tablo 3.1. Hidrotermal yöntemin uygulama alanları [15]

Kullanım Alanı	Madde	Uygulama
Piezoelektrik	Pb(Zr, Ti)O ₃ , α -SiO ₂	Sensörler, güç çeviriciler
Yarı iletken	BaTiO ₃ , ZnO- B ₂ O ₃ geçiş metal oksitleri	Termistörler ve varyastörler
Kimyasal	ZnO, Fe ₂ O ₃ , ZrO ₂ , TiO ₂ zeolitler	Kimyasal sensör, katalizör, desikant, gaz adsorpsiyon/depolama
Yapısal	ZrO ₂ (TZP), Al ₂ TiO ₅	Otomotiv, ısıtma değiştiriciler, metal filtreler
Biyolojik	Hidroksiapatit	Yapay kemik

4. TİTANYUM DİOKSİT (TiO₂)

Titanyum dioksit, uygun kimyasal özellikleri, seri üretim kolaylığı ve nispeten düşük maliyeti nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir maddedir. Madde kimyasal olarak inerttir yani kendi kimyasal bileşimini veya çevredeki ortamın kimyasal yapısını değiştirebilecek bir reaksiyona girmesi için diğer kimyasal maddelerle nadiren etkileşime girer. Bu, biyolojik yüzeyler ve ortamlar için de geçerlidir, dolayısıyla gıda katkı maddeleri, kozmetik ürünler ve güneş koruyucu ürünlerinde güvenli kullanımını sağlar [3]. Kompozit malzemelerin korozyona karşı dirençli olması beklenir. Korozyon, metallerin veya alaşımların yüzeyinin belirli bir çevrede dağıldığı fiziksel niceliklerdir. Bazı metallerin diğerlerine göre yüksek korozyon direnci, kimyasal bileşenleri, elektrokimyasal reaksiyonlar gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir. Metallerin korozyon direnci büyük ölçüde tepkimedeki bileşenlerin çalışma ömrünü belirler[16]. TiO₂, tüm kristal formları için çok yüksek kırılma indislerine sahip yarıiletken bir malzemedir[17]. Dünyada en çok kullanılan beyaz pigment TiO₂'dir. Titanyum dioksit maddesinin kırıcılığı çok fazladır, elmaştan sonraki en iyi kırıcılık özelliğine sahiptir. Bundan dolayı titanyum dioksitin madde içerisindeki ışığın kırılma (eğilim) özelliği incelenmektedir. Bu sayede donukluk ve örtme kabiliyeti sağlanır. Bu özelliği ile titanyum dioksit yüzey kaplama için beyaz ürün olarak, ürünleri katmanlarına ayırmak için ve dış beyazlatmada kullanılır. Işığın madde üzerindeki etkisi yani foto etki kullanılarak çevredeki kirliliği son vermeye çalışılmaktadır. Uygun malzeme ve ışık bir araya geldiğinde temizleme işlemi kendiliğinden başlamaktadır[18]. TiO₂, yüksek kırılma indeksi vasıtası ile UV-ışınlarının büyük bir bölümünü yansıtarak veya yarıiletken özelliği nedeni ile UV-ışınlarını emerek iyi bir UV koruması sağlar[19].

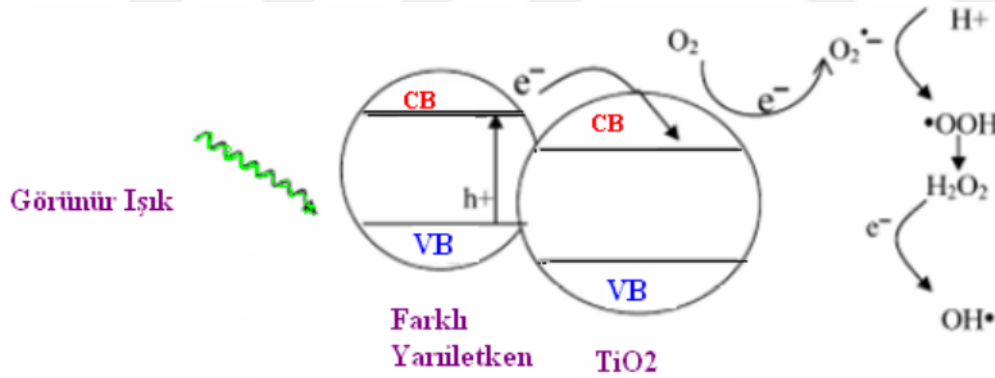
Güneşten gelen ultraviyole ışınları santimetre kareye bir miliWatt gibi bir değerle düşmektedir. Evlerde kullanılan ışıktaki ise bu payda binde birine düşer. Evde bile oluşan bu ultraviyole ışınları titanyum dioksit ile birleştiğinde temizleme işi başlamaktadır. Titanyum dioksit fotokatalizör etkisi ışıqla bir araya geldiğinde organik maddelerin parçalanması görülmektedir. Bilinen en güçlü ve ucuz fotokataliz titanyum dioksittir. Titanyum dioksitin yarıiletken bir metal olması bu fonksiyonu sağlar. Çevremizde gördüğümüz hemen hemen tüm beyaz renkli objelerde titanyum dioksit farklı bir yapıda bulunur. Ne kimyasal olarak ne de biyolojik olarak aktiftir. Reaksiyona girmemesi onun sürekli ortamda kalarak

temizleme prosesini gerçekleştirmesine neden olur. Işık ile çok aktif olmasına rağmen ışık onu parçalayamaz[18].

Geçmiş yıllarda TiO_2 nanopartikülleri kendine teknoloji piyasasında yer buldu. İyi termal stabilitesi, erişilebilirliği ve katalitik olması nedeniyle dikkat çeken özellikleridir. Genellikle boya, kaplama, plastik, kağıt, mürekkep, ilaç, gıda ürünleri, kozmetik, implant, diş macunu, güneş enerjisi dönüşümü, fotokataliz, UV tespiti, ultrasonik algılama gibi çok çeşitli uygulama alanında kullanılmakta olup oldukça umut vaat eden bir malzeme olduğu düşünülmektedir. Çevresel uyumluluğu, toksisitesi ve düşük fiyatı avantajlarından bazılarıdır[20].

4.1. TiO_2 ve CdO 'nun Yapısı

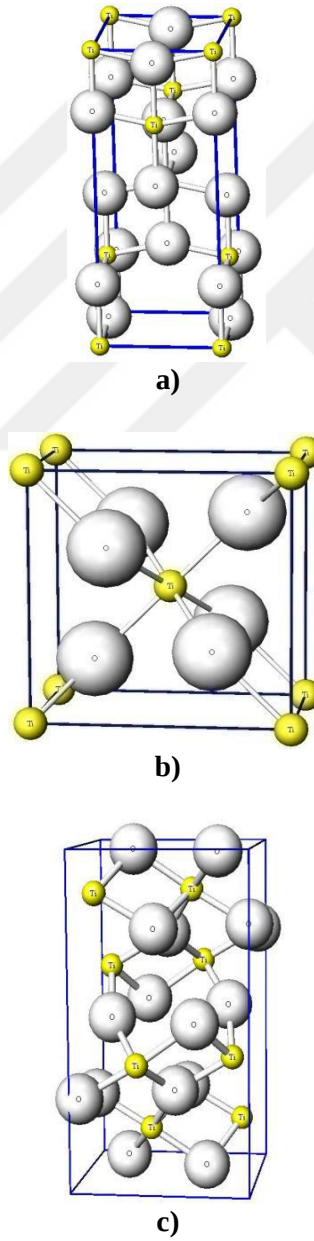
TiO_2 yarıiletkeninin molekül ağırlığı 79.87 gr/mol'dür. Titanyum ile oksijen iki bağ yapmıştır ($\text{O}=\text{Ti}=\text{O}$). Titanyum dioksitin erime sıcaklığı ise 350 °C civarındadır ve oda sıcaklığında (25 °C'de) yoğunluğu 4.26 g/ml'dir. Oda sıcaklığında sıvı fazdadır. Titanyum dioksit katılanan kadmiyum oksitin ($\text{Cd}=\text{O}$) molekül ağırlığı ise 128.41 g/mol'dür. Kadmiyum oksitin 25 °C'deki yoğunluğu 8.15 g/ml'dir ve katı formdadır.



Şekil 4.1. Farklı bir yarıiletken ile birleştirilmiş TiO_2 'nin fotokatalitik durumu [18].

Titanyum dioksit önemli olan iki çeşidi vardır biri amorf biri kristaldir. Yapısında mineral özelliği olan üç farklı madde vardır; anatase, rutil ve brokittir. Bununla birlikte, diğer yapılar da mevcuttur, örneğin kotunit TiO_2 yüksek basınç altında sentezlenmiştir ve bilinen en sert polikristal malzemelerden biri olarak kabul edilmektedir[21]. Bu minerallerden olan rutil ve anatase, brokit mineraline göre daha çok rastlanılır. Aynı zamanda anatase ve rutil mineralleri geniş bir kullanım ağına sahiptir buna karşılık brokitin kullanım alanları daha kısıtlıdır. Anatase ve rutil fotokatalizör özelliği brokite göre çok

gelişmiştir hatta brokit fotokatalizör olarak işlem görmemektedir. Bu iki fazdan ise titanyum dioksitin yapısında bulunan anatasın fotokatalizör etkisi rutile göre çok gelişmiştir. Titanyum oktahedralin kristal özelliğine bakıldığında rutil ve anatasın yapısını açıklayabiliriz. Rutil ve anatasın kristal yapısı her bir sekizyüzlü yapının deformasyonu ve oktahedral zincirde toplanan örnekleriyle birbirinden ayrılırlar. Hepsisi oktahedral TiO_6 yapısını içermektedir, fakat bağ bağlanmaları farklıdır ve bu da fazların farklılığını göstermektedir. Şekil 4.1 a, b ve c’de sırası ile anatas, rutile, brokit yapıları görülmektedir[18].



Şekil 4.2. a) Anatas, b) Rutil ve c) Brokit yapıları [19].

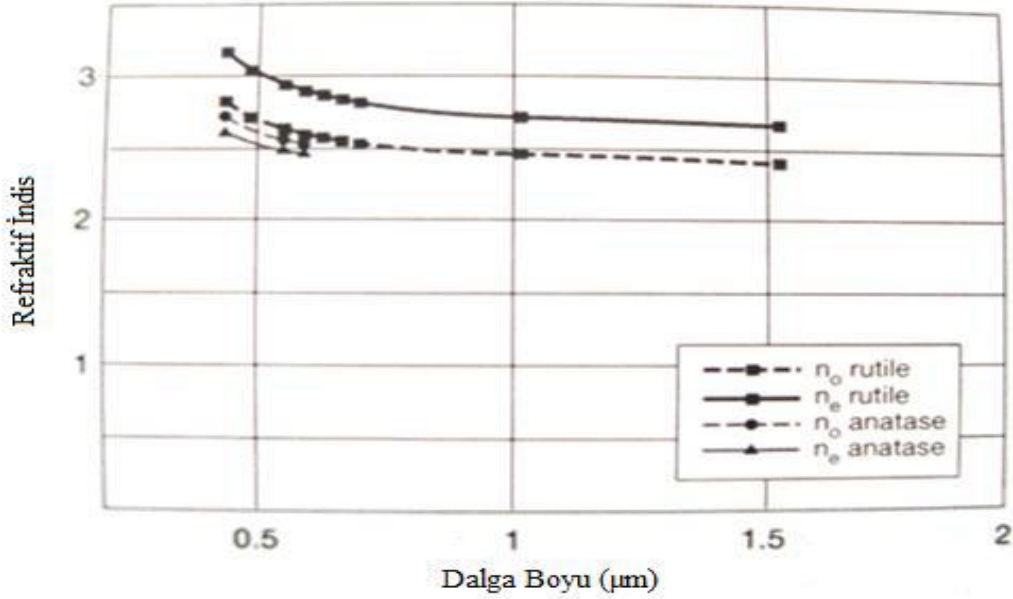
Titanyum dioksit fazlarından olan rutilin yapısı incelendiğinde oktahedral yapısının bozuk bir yapıda olduğu görülmektedir. Anatastaki oktahedral yapı ortorombik şekilden daha az olan bir simetride önemli oranda bozulmuştur. Anatas formundaki Ti-Ti arasındaki bağ uzunluğu (3.79 Å ve 3.04 Å) rutil formundakinden (3.57 Å ve 2.96 Å) daha büyükken, Ti-O arasındaki bağ uzunluğu ise (1.934 Å ve 1.980 Å) rutil ile kıyaslandığında (1.949 Å ve 1.980 Å) daha kısadır. Titanyum dioksitin bu iki formu bant yapıları ve yoğunluklarının farklı olmasına neden olmuştur. Bu da bize titanyum dioksit formu olan anatasın rutil forma göre daha aktif olmasının sebeplerinden biri olarak gösterilebilir. Isı ve sıcaklık değerlerine dayanan kalorimetrik veriler tüm sıcaklıklarda ve 60 kbar basınca rutil formunun kristal yapısının anatas kristal yapısına göre daha kararlı olduğunu göstermektedir. Kristalin yüzey enerji etkilerinden dolayı kristal formların kararlılıkları kristal boyutlarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Çünkü kristallerin yüzey serbest enerjileri ve yüzey gerginlikleri tanecik boyutlarına bağlıdır. Böyle olmasının sonucunda titanyum dioksitin bu formu renk oluşumunda ve kişisel bakım ürünlerinde çok tercih edilmektedir. Bu iki form birbirine dönüşebilmektedir. Örneğin, titanyum dioksit formu olan anatasın sıcaklığı düşürüldüğünde anatas formu rutil forma dönüşmektedir. Rutil ve anatasın kristal yapısı incelendiğinde anatas formunun kafes boyu rutile göre daha uzundur ve daha dardır. Bu yüzden spesifik çekimi anatas fazından daha büyüktür. Rutilin sertliği de yine bu kristal örgüsüyle açıklanabilir.

Kadmiyum oksit (CdO), fotovoltaik güneş pili ve optoelektronik cihazlar gibi çeşitli uygulamaları ve sıvı kristal ekranlar, güneş pili, lazer ve fotodetektör veya ışık yayan diyotlar gibi tasarımcılar için pencere malzemesi olarak cazip adayı olduğu için büyük ilgi görmüştür. CdO'nun düşük elektriksel dirençli bir bant genişliği (2,15 eV-2,7 eV) vardır[22, 23]. CdO'nun elektronik özellikleri ve yaygın endüstriyel kullanımı, vakumlu buharlaştırma[24], sprey pirolizi[25], kimyasal banyo çökeltme (CBD) gibi çeşitli doping yöntemleri[26] kullanılarak geliştirilebilir.

4.1.1. TiO₂'nin kırılma indisi

TiO₂'nin sahip olduğu yüksek kırılma indisi, 380 nm-700 nm dalgaboyu arasında görünür bölgedeki absorpsiyon (soğurma) ilişkisiyle ölçülebilir. Rutil ve anatasın her ikisi için de olağan (n_0) ve olağanüstü (n_e) ışınların kırılma indisleri dalga boyu bağımlıdır. Resimde görüldüğü gibi kırılma indeksleri absorpsiyon çizgileri boyunca yükselme

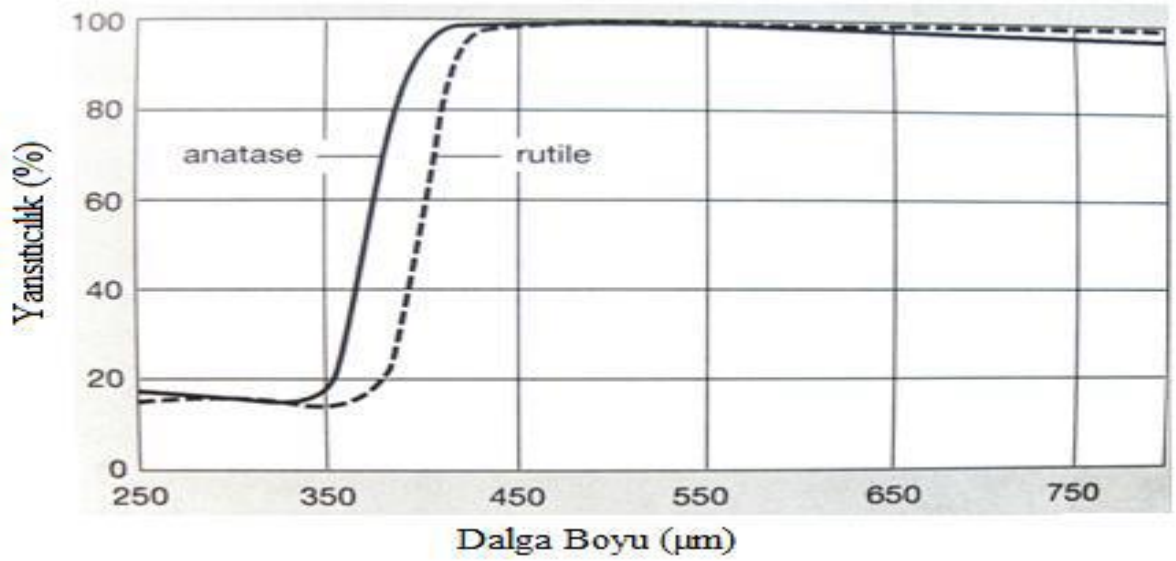
gösterir. Bu titanyum dioksit gibi dielektrik bir malzeme için oldukça normal bir davranıştır. Rutil ‘pozitif kristal’ ($n_o < n_e$) olarak adlandırılırken anatase ise ‘negatif kristal’ ($n_o > n_e$) olarak adlandırılır. Anatasın kırılma indisi rutilin kırılma indisinden daha azdır. Rutil ve anatasın normal yüksek kırılma indislerinin dalgaboyu bağımlılığı Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.3. Rutil ve anatase formuna sahip kompozit malzemelerin kırılma indisi-dalga boyu eğrileri [18].

Bu noktada rutil veya anatasın partikül boyutları her ne kadar $0.2\ \mu\text{m}$ ile $0.3\ \mu\text{m}$ arasında olsa da olağan ve olağanüstü ışınları ayırt etmek mümkün değildir. Normalde görünür bölge spektrumunda rutil için kırılma indisi 2.7’dir ve anatase için kırılma indisi 2.55’tir.

4.2. TiO₂'nin Soğurma Spektrumu



Şekil 4.4. Pelet haline getirilmiş anatas ve rutil fazın ultraviyole spektrumu[18].

Yansıma eğrilerinin diferansiyelinden kırılma eğrileri ve absorpsiyon bantlarının net yeri bulunabilir. Rutilin dalga boyu $\lambda = 397$ nm ve anatasın dalga boyu 377 nm olarak grafikten bulunabilir. Şekil 4.4 üzerinden sayısal olarak aşağıdaki eşitlik kullanılarak belirtilen dalga boyları elde edilir;

$$E = hc / \lambda \quad (1)$$

λ = Dalga boyu

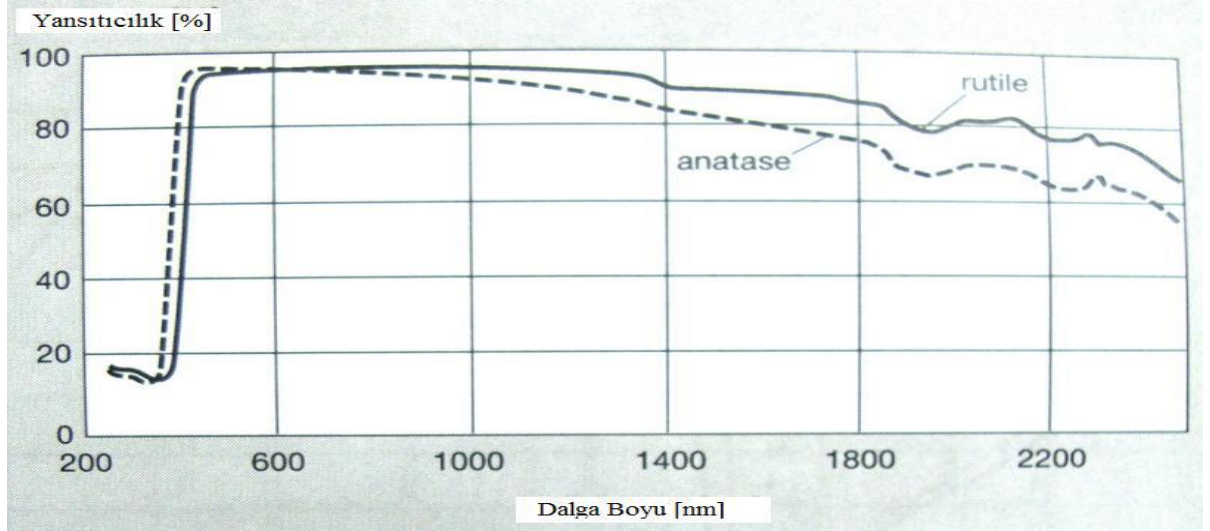
h = Planck sabiti (6.626×10^{-34} Js)

c = Işık hızı (2.99793×10^8 ms⁻¹)

Denkliğe göre rutil için E absorpsiyon prosesinin enerjisi 50×10^{-20} Joule olarak hesaplanır. Anatas için bu değer 52.7×10^{-20} Joule olarak hesaplanır. Bu enerji değeri istenirse elektron volt olarak hesaplanabilir. Bu durumda, $1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$ alınırsa rutil için bant aralığı 3.127 eV ve anatas için 3.289 eV olarak bulunur. Genel olarak bir çok kaynakta rutil için bant aralığı 3.03 eV ve anatas için bant aralığı 3.15 eV olarak verilmektedir.

4.3. TiO₂'nin Yansımaya Özelliği

Şekil 4.4'te anatas ve rutilin 700 nm ile 2500 nm arasındaki UV-Vis/NIR eğrisi görülmektedir. Yakın infrared rejiminde anatas ile rutil kıyaslandığında genişlemiş bir pik göstermektedir.



Şekil 4.5. Pelet haline getirilmiş anatas ve rutil fazın ultraviyole ve görünür bölge spektrası [18].

Rutil 1300 nm'yi aşınca absorplama özelliği göstermektedir. Ne anatas ne de rutil NIR spektrasında karakteristik absorpsiyon bantları göstermezler[18].

5. DENEYSEL İŞLEMLER

Bu bölümde, elde edilen numunelerin; optiksel, elektriksel ve ısı-sıcaklık özellikleri tanımlanmıştır. Elde edilen numunelerin analiz edilmesi için kullanılan cihazlar ve yöntemler hakkında bilgi verilmektedir. Tez çalışmasında kimyasal sentez ile kompozitler üretilmiş ve bilinen yarıiletkenlerin yapısal, kimyasal ve fiziksel özellikleri değiştirilerek yeni ve farklı bir yarıiletken haline getirilmiştir.

5.1. CdO:TiO₂ Kompozit Malzemelerinin Sentezlenmesi

TiO₂'in sentezlenme aşamaları; öncelikle bir beherin içinde titanyum izopropoksit (Ti(OC₃H₇)₄)'e etil alkol (etanol (CH₃CH₂OH)) eklendi. Diğer taraftan ayrı bir beherde hidroklorik asit (HCl) ile etanol birbirine katıldı. Bu karışımlar bir saat süre ile manyetik karıştırıcıda karıştırıldı. Oluşan iki karışımı birbirine katıldı. Meydana gelen yeni numune ise yarım saat süreyle manyetik karıştırıcıda tekrar karıştırıldı. Oluşturulan çözelti TiO₂ olarak belirlendi devamındaki süreçte aynı deneysel işlemler yapılarak hazırlanan çözeltiye molar olarak hesaplanan % 10 ve % 20 oranlarında kadmiyum oksit (CdO) eklenerek iki farklı katkılanmış numune daha elde edildi. Böylelikle numunelerimiz; TiO₂, CdO:TiO₂(10:90), CdO:TiO₂(20:80) olmak üzere üç adet üretilmiştir. Oluşturulan bu karışımlar literatüre uygun bir şekilde sırasıyla hidrotermal yöntem, kurutma ve tavlama işlemlerinden geçirildi. Bu adımların sonucunda da ise üç adet toz numune elde edildi.

Elde edilen üç toz numunenin çeşitli fiziksel ve kimyasal yapı karakteristik özellikleri FTIR, SEM, UV-VIS, TG/DTA ve I-V analizleri yapılmıştır.

5.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Gözlemleri

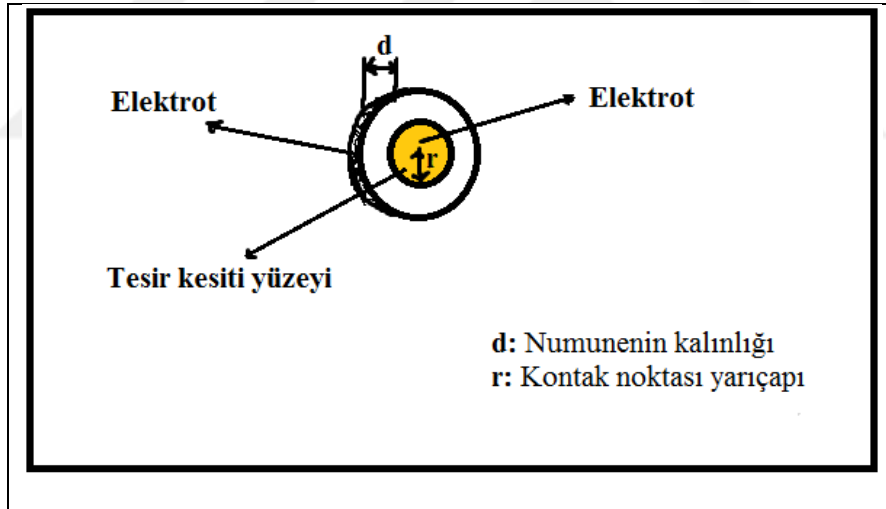
Numunelerin SEM analizleri, İnönü Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Leo evo 40 taramalı elektron mikroskobu ile yapıldı. Numuneler için farklı büyütme oranlarında görüntüler alındı ve malzemelerin yüzey morfolojisi analiz edildi.

5.3. Optik Analiz Ölçümleri

Bu tez çalışmasında numunelerin optik ölçümleri için yansıma spektroskopisi kullanıldı. Bu tekniğin kullanılmasının sebebi ise düşük absorbsiyon seviyesine sahip malzemeler için son derece hassas ve doğruluğu yüksek bir metottur. Numunelerin yasak enerji aralıklarını belirlemek için bilgisayar kontrollü Shimadzu 3600 UV/VIS spektrometresi kullanıldı. Ölçümler 5 nm tarama hızında yapıldı. Numuneler pelet halinde hazırlanarak ölçümleri alındı. Hazırlanan numunelerin reflektans spektrumları ölçüldü.

5.4. Elektriksel İletkenlik Ölçümleri

Numunelerin akım voltaj karakteristikleri FytronixFY-7000 elektronik aygıt karakterizasyon cihazı ile ölçüldü. Elde edilen I-V eğrilerinden numunelerin elektriksel iletkenlikleri hesaplandı. Numunelerin iletkenlik özelliklerini belirleyebilmek için, termoelektrik güç, doğrultma ölçümlerine dayalı Fytronix FY-20 iletkenlik tipi belirleme cihazı kullanıldı. Malzemelerin elektriksel iletkenlikleri 2'li prob metoduyla bulundu.



Şekil 5.1. İki nokta uç elektriksel iletkenlik ölçüm probunun gösterimi.

5.5. Termal Analiz Ölçümleri

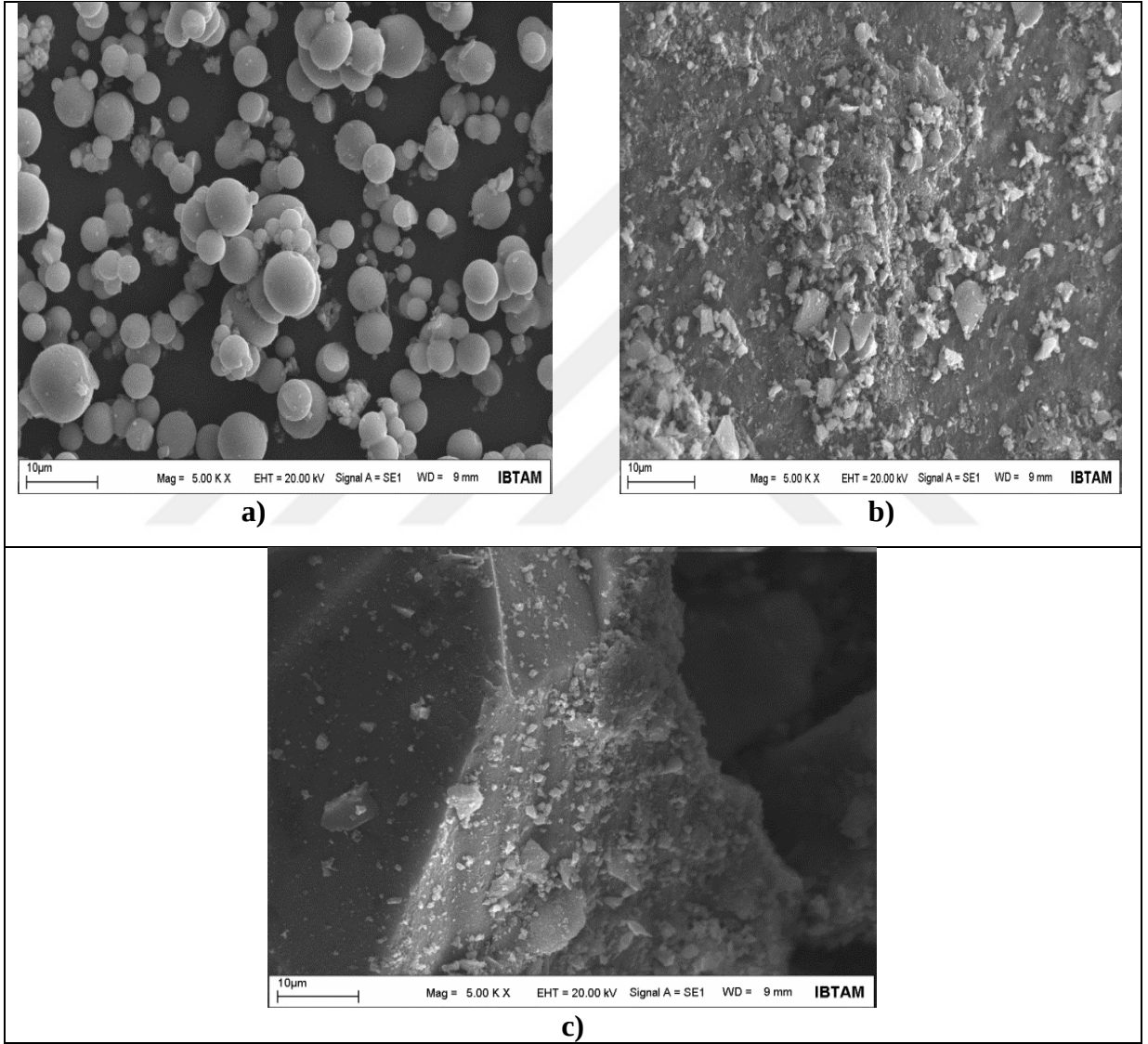
Hazırlanan malzemelerin termal özellikleri TG/DTA ölçümleri ile araştırıldı. Bunun için numunelerin TG/DTA analizleri Shimadzu 60 AH marka TG/DTA cihazı ile 25 °C/dakika ısıtma hızı ile oda sıcaklığından 950°C ye kadar diferansiyel termal analiz yöntemi ile yapıldı.



6. ÖLÇÜM SONUÇLARI

6.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Sonuçları

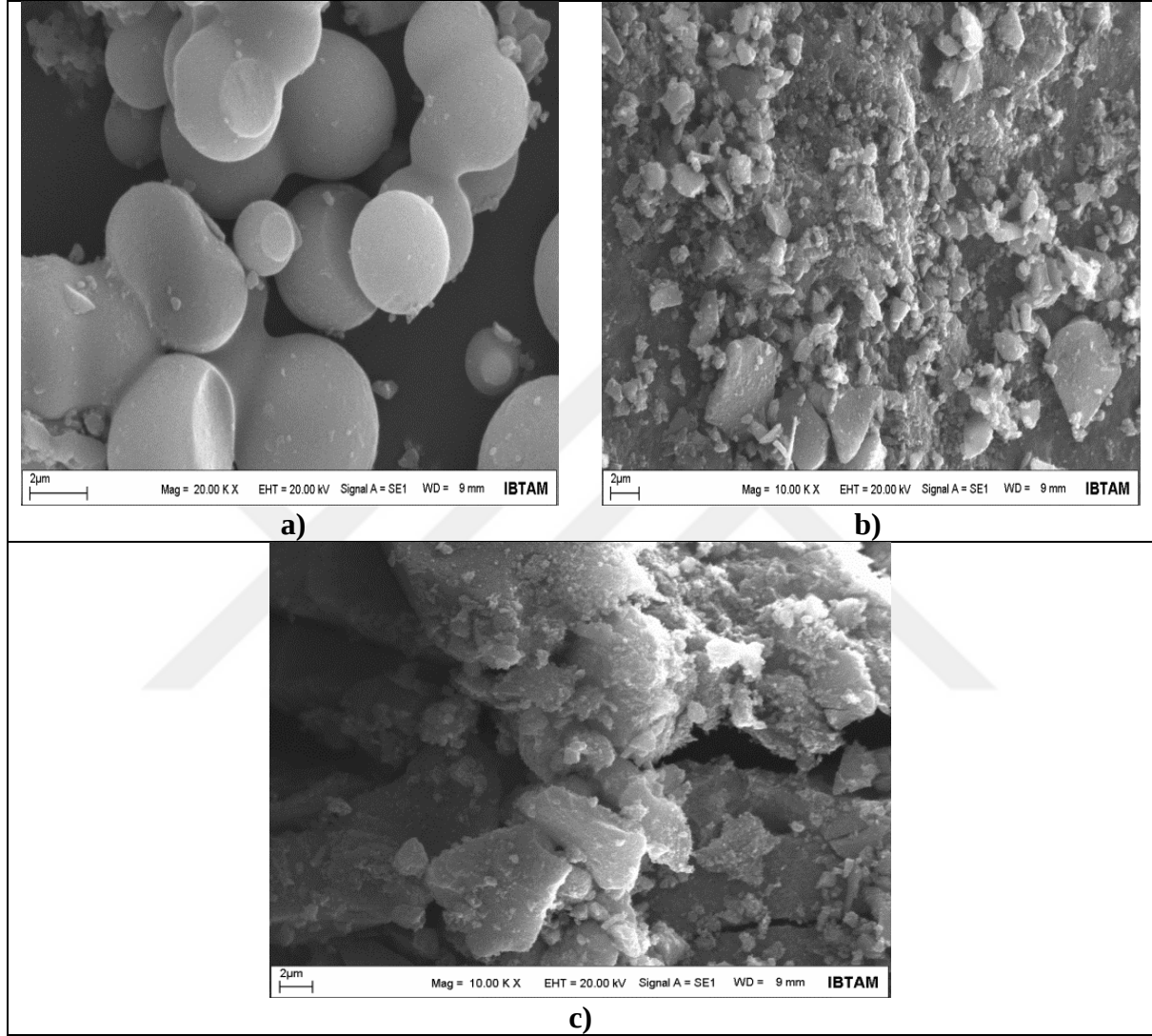
Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de sırasıyla saf TiO_2 ile katkılı $\text{CdO}:\text{TiO}_2(10:90)$ ve $\text{CdO}:\text{TiO}_2(20:80)$ numunelerinin farklı büyütme oranlarıyla büyütülmüş SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6.1. Numunelerin SEM görüntüleri; a) TiO_2 , b) $\text{CdO}:\text{TiO}_2(10:90)$, c) $\text{CdO}:\text{TiO}_2(20:80)$.

Numunelerin SEM görüntülerine bakıldığında saf numunenin düzgün küresel yapılardan oluştuğu görüldü. $\text{CdO}:\text{TiO}_2$ kompozitlerinde ise bu küresel yapıların var olmadığı görüldü. Kompozit numunelerde CdO etkisiyle bu küresel yapılar dağılıp

bozulmuş olup yerlerine geometrik olarak düzgün olmayan, şekilsiz ve irili ufaklı boyutlardaki rasgele partikül yapılar oluşmuştur.



Şekil 6.2. Numunelerin farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri; a) Saf TiO₂, b) CdO:TiO₂(10:90), c) CdO:TiO₂(20:80).

Şekil 6.2’de TiO₂ numunesi ve CdO:TiO₂(10:90), CdO:TiO₂(20:80) kompozitlerin SEM görüntülerinde CdO oranı arttıkça oluşan taneciklerin daha büyük karmaşık şekillerdeki parçacıklar halinde oluştuğu görülmüştür. [27-29]. Bu bulgulara dayanarak numunelerin yapısal özelliklerinin, numune kompozisyon oranına bağlı olarak değiştiği anlaşılmıştır.

6.2. Optik Analiz Sonuçları

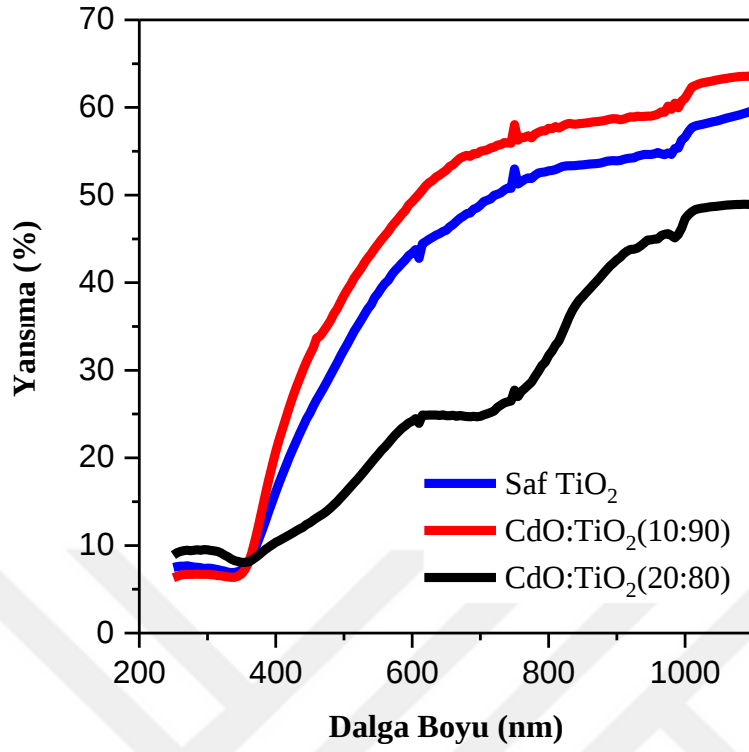
Numunelerin optik özelliklerini belirlemek için saf TiO_2 , $\text{CdO}:\text{TiO}_2(10:90)$ ve $\text{CdO}:\text{TiO}_2(20:80)$ numunelerinin optik band aralıkları araştırıldı. Numuneler pelet haline getirildi ve optik ölçümleri alındı. Numuneler ışığı geçirmediğinden dolayı transmittans metodu kullanılmadı. Bunun yerine difüz reflektans metodu kullanıldı. Bu metoda göre numunelerin reflektans ölçümleri alınır ve optik band aralıkları hesaplanır. Bunun için geliştirilen Kubelka-Munk fonksiyonu[30] aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$F(R) = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (2)$$

Burada $F(R)$, Kubelka-Munk fonksiyonudur ve absorbansa karşılık gelir, R ise reflektans yani yansımadır. Kubelka-Munk fonksiyonunun en önemli özelliği zayıf absorbans katsayısına sahip numunelerin ölçülen reflektans değerlerini, absorbans değerlerine dönüştürmesidir. Kubelka-Munk fonksiyonunda reflektans değerleri absorbansa dönüştürüldükten sonra, numunelerin optik band aralıkları optik soğurma yöntemi ile bulunur. Absorbans ile optik band arasındaki ilişki aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir.

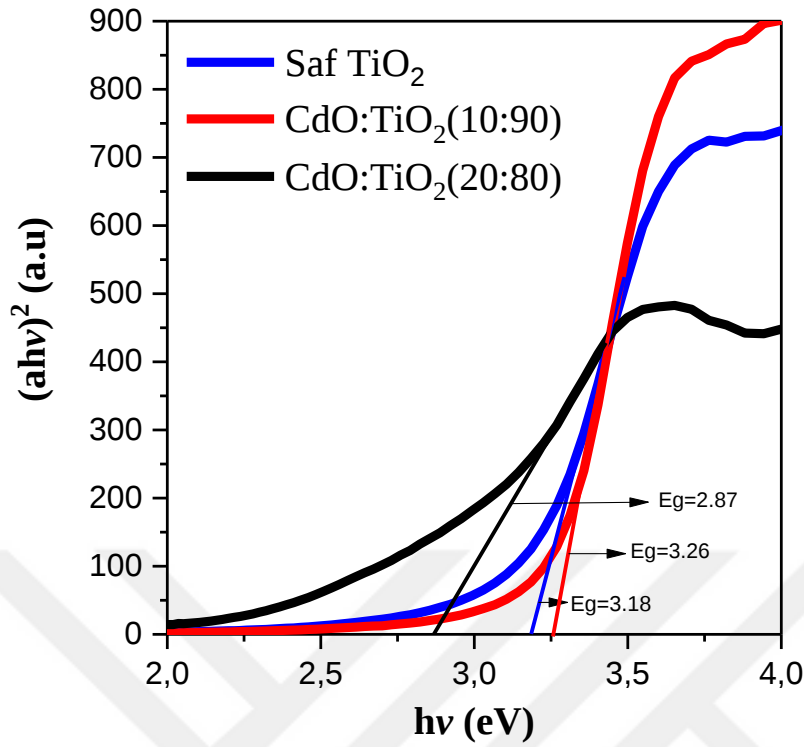
$$\alpha h\nu = A (h\nu - E_g)^n \quad (3)$$

Bu denklemdeki α değeri $F(R)/d$ değerine denk gelmektedir (d = numune kalınlığı). A bir sabit, E_g yasak enerji (optik band) aralığı, n ise bir sabit olup optik geçişin tipini belirler. Optik geçişler dolaylı ise n değeri tamsayı ($n=1,2,3...$) değerleri alır. Doğrudan bir geçişe sahip ise n değeri kesirli değerler alır ($n=1/2,3/2,5/2...$). Numunelerin yasak enerji aralıkları $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ grafiğinden hesaplanır[31].



Şekil 6.3. Numunelerin yansıtma spektrumları.

Saf TiO₂, CdO:TiO₂(10:90) ve CdO:TiO₂(20:80) numunelerinin yansıtma spektrumları Şekil 6.3'te verilmiştir. Şekilde yansıtma spektrumlarının dalga boyu ile değişimleri verilmiştir. Üç numuneye de bakıldığında 400 nm civarı yansıtma sınırı olarak görülmektedir. Yansıtma artan dalga boyu ile artmaktadır. Üç numunenin yansıtma özelliklerine bakıldığında benzer davranışları ortaya koyduğu görülmektedir. Şekil 6.3'te görüldüğü gibi katkılama oranı arttıkça numunenin yansıtma yüzdesi orana göre önce artıp daha sonra azaldığı görülmüştür[32-34].

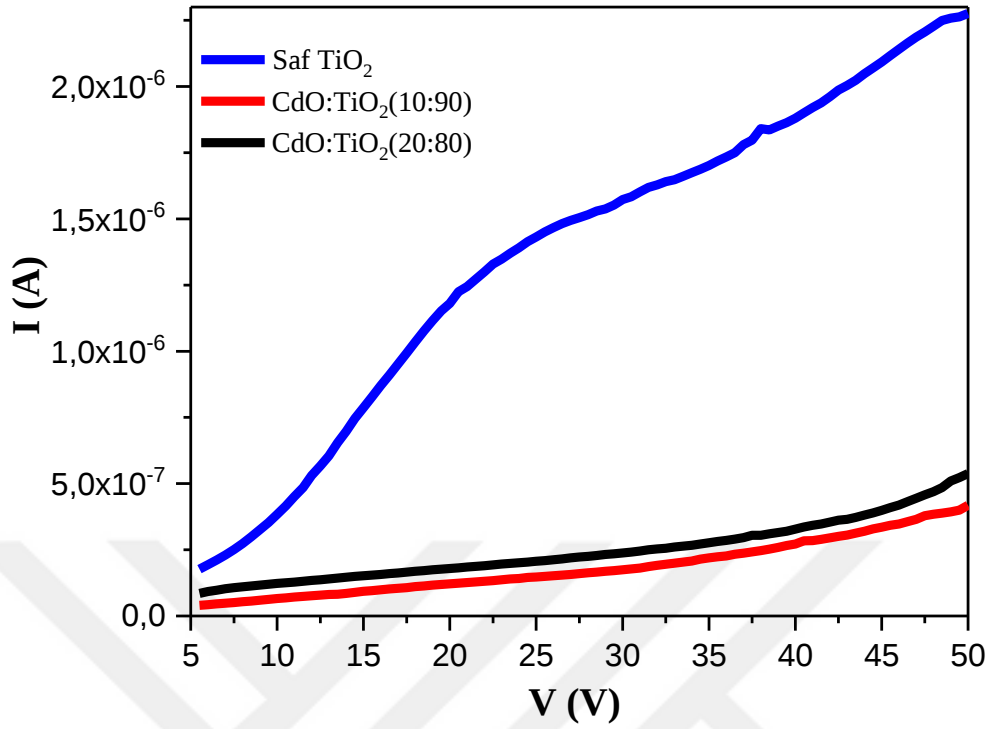


Şekil 6.4. Numunelerin $(\alpha hv)^2-hv$ spektrumu

Elde edilen numunelerin yasak enerji aralığını hesaplamak için $(\alpha hv)^2-hv$ spektrumları çizildi ve şekil 6.4’de verilmiştir. E_g değerleri $(\alpha hv)^2-hv$ spektrumlarının lineer kısımlarından elde edildi. E_g değerleri saf TiO_2 numunesi için 3,18 eV, $CdO:TiO_2(10:90)$ numunesi için 3,26 eV ve son olarak $CdO:TiO_2(20:80)$ numunesi için 2,87 eV olarak hesaplandı[35-40]. Üretilen kompozit malzemelerin optik band aralığı malzemenin kompozit oranına bağlı olarak değişmiştir.

6.3. Elektriksel İletkenlik Sonuçları

Hazırlanan numunelerin elektriksel karakteristiklerini belirlemek için elektriksel iletkenlikleri 2-prob yöntemi ile ölçülerek I-V grafikleri çizildi. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.5’te verilmiştir. Şekil 6.5’e göre kompozit numuneler saf TiO_2 ’den farklı bir elektriksel iletkenlik davranışı göstermişlerdir.



Şekil 6.5. Numunelerin I-V eğrisi

Numunelerin elektriksel iletkenliklerini hesaplamak için aşağıda verilen;

$$\sigma = \frac{I}{V} \cdot \frac{d}{A} \quad (4)$$

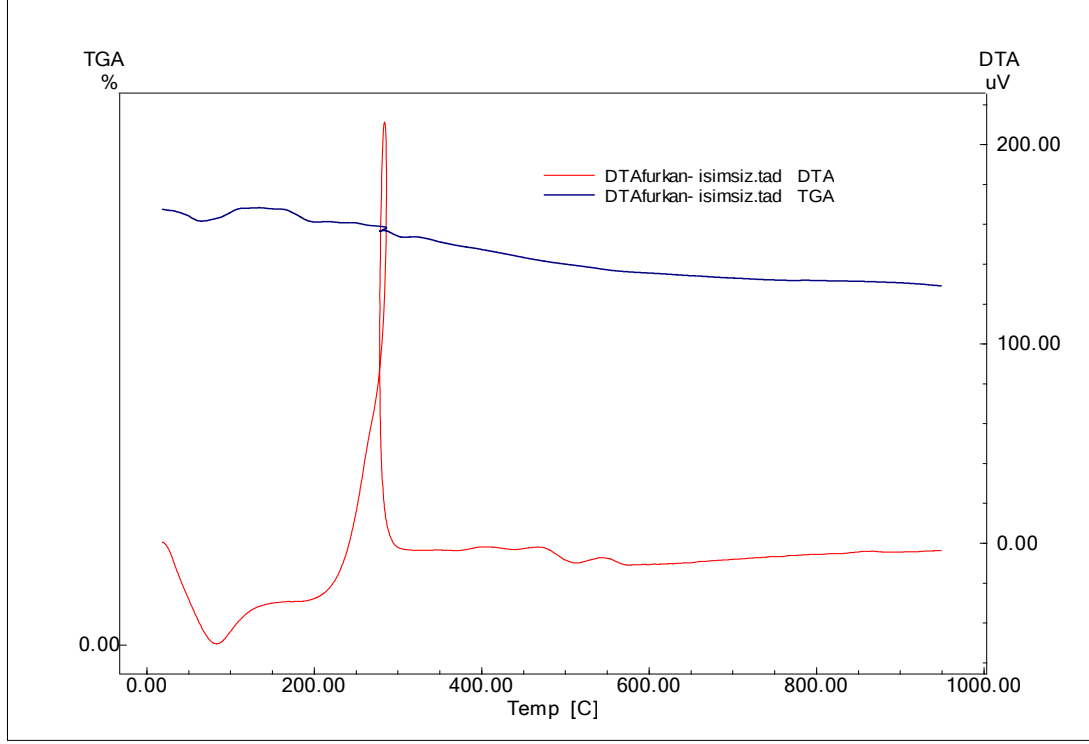
eşitliği kullanıldı[41]. Burada σ elektriksel iletkenlik, I akım, V potansiyel fark, d numunenin kalınlığı ve A ise numunenin kesit alanı ($A = \pi r^2$ olup, r kontak noktası yarıçapı)'dır.

Numunelerin hesaplanan elektriksel iletkenlikleri saf TiO₂ numunesi için $6,08 \times 10^{-7} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$, CdO:TiO₂(10:90) numunesi için $1,29 \times 10^{-7} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ ve CdO:TiO₂(20:80) numunesi için ise $1,58 \times 10^{-7} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ olarak bulundu. Buna göre numunelerin elektriksel iletkenliklerinin kompozit oranına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar daha önce yapılmış olan çalışmalardaki sonuçlarla benzerlik taşımaktadır[42-44].

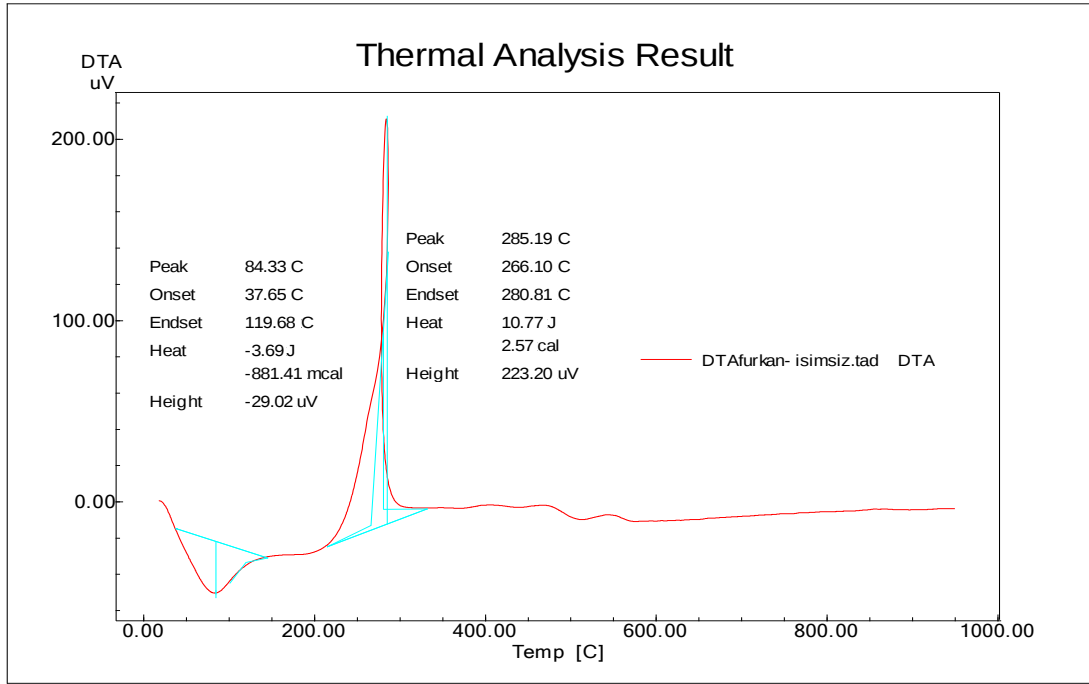
6.4. Termal Analiz Sonuçları

Hidrotermal metot ile üretilen saf TiO₂ ve CdO katkılı TiO₂ numunelerinin sıcaklığa karşı termal kararlılıklarını belirlemek için TG/DTA ölçümleri yapıldı. Ölçümler oda sıcaklığından 950 °C ye kadar 25 °C/dakika ısıtma hızı ile yapıldı. Şekil 6.6'da saf

TiO₂ numunesinin TG/DTA eğrileri görülmektedir. TG ve DTA eğrileri incelendiğinde TG eğrisinde sıcaklığa bağlı olarak kütle kayıpları veya bozunmalarını, DTA eğrisinde ise sıcaklığa bağlı olarak bu kütle bozunmalarına karşılık gelen değişimleri gözlemlenebilmektedir[45].

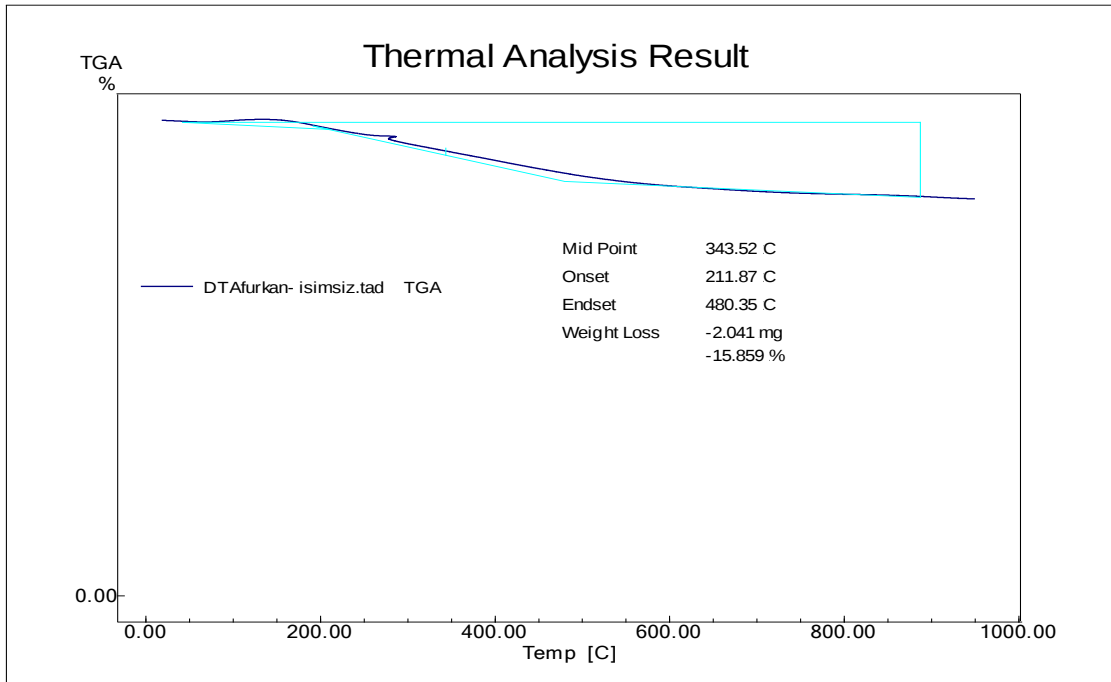


Şekil 6.6. TiO₂ numunesine ait TG/DTA eğrisi



Şekil 6.7. TiO₂ numunesine ait DTA eğrisi.

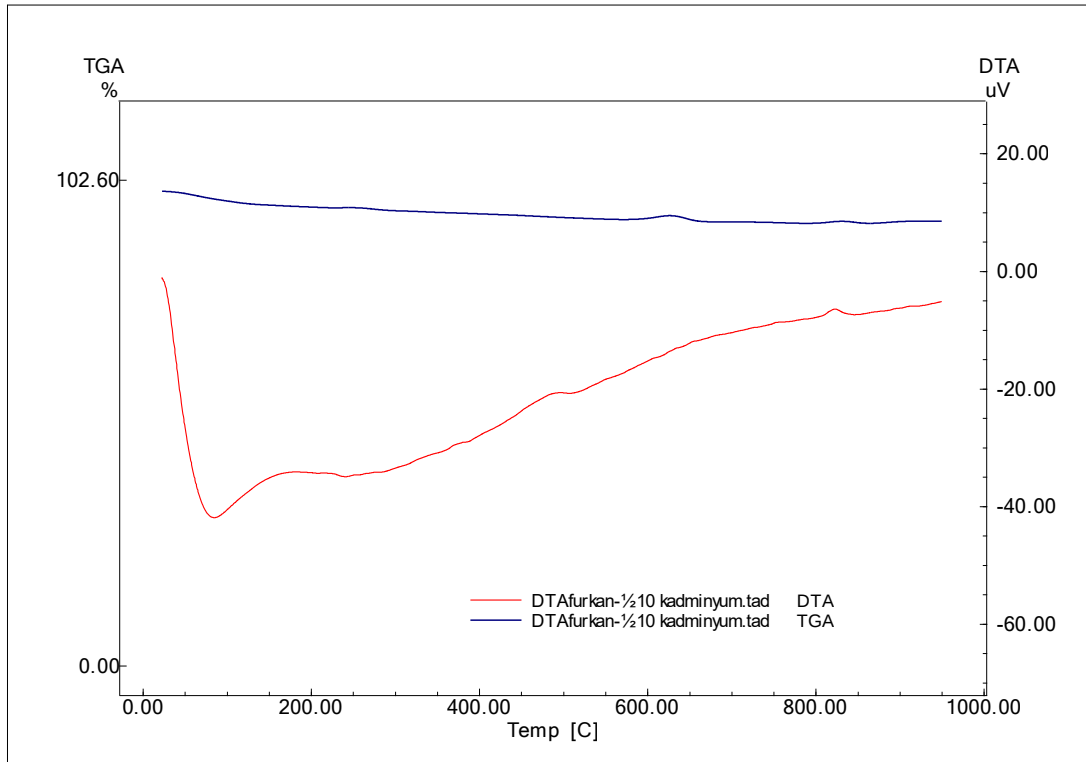
Saf TiO₂ numunesinin Şekil 6.7’de verilmiş olan DTA eğrisinde ekzotermik pik mevcut olup bunlar kütle bozunmalarına karşılık gelmektedirler.



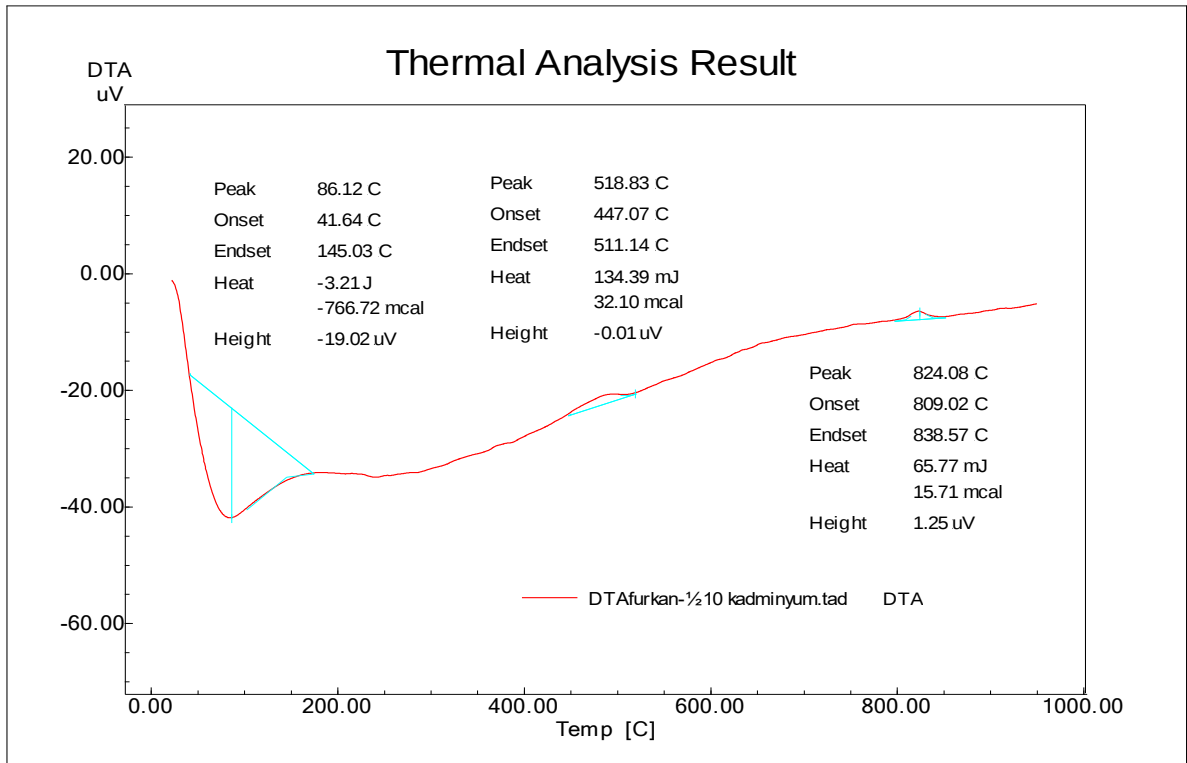
Şekil 6.8. TiO₂ numunesine ait TG eğrisi.

Şekil 6.8’de saf TiO_2 numunesinin TG eğrisinde numunenin sıcaklığa bağlı olarak kütle bozunmasının değişimi verilmiştir. Saf TiO_2 numunesinin kütle bozunması $200\text{ }^\circ\text{C}$ ’de başlamış ve $950\text{ }^\circ\text{C}$ ’ye kadar devam etmiştir ve toplam kütle kaybı %15 olarak bulunmuştur[46]. Kütle kaybının olmasının sebebi ise numunede meydana gelen kimyasal tepkimeler sonucu oluşan bozunmalardan kaynaklanmıştır. Malzemelerin termal kararlılığı $100\text{ }^\circ\text{C}$ civarındadır

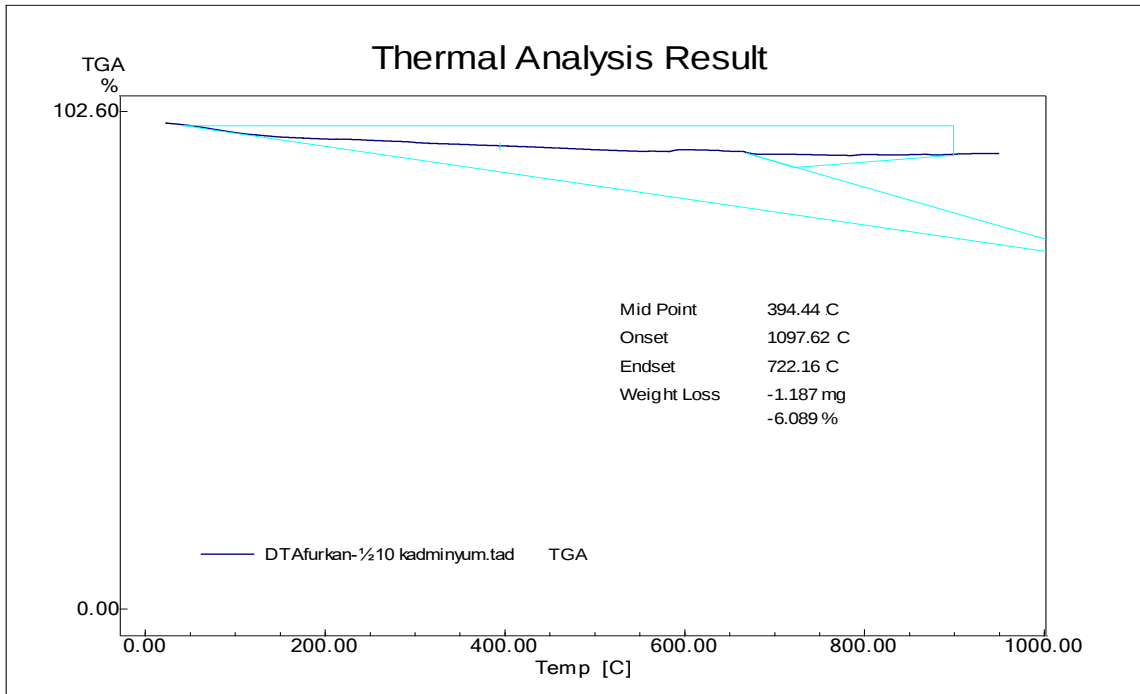
Şekil 6.9’da $\text{CdO}:\text{TiO}_2(10:90)$ numunesine ait TG/DTA eğrileri verilmiş olup DTA eğrisinde (Şekil 6.10) belirgin bir ekzotermik pik görülmemiştir. Şekil 6.11’de verilmiş olan TG eğrisinde ise başlangıçtan $950\text{ }^\circ\text{C}$ ’ye kadar hafifçe seyreden kütle bozunması küçük bir oranda (yaklaşık %10 civarında) olmuştur. $\text{CdO}:\text{TiO}_2(10:90)$ numunesinin termal kararlılığı $30\text{ }^\circ\text{C}$ civarındadır. Numunelerin termal kararlılığı kompozit oranına göre değiştiği görülmektedir.[47].



Şekil 6.9. $\text{CdO}:\text{TiO}_2(10:90)$ numunesinin TG/DTA eğrisi.

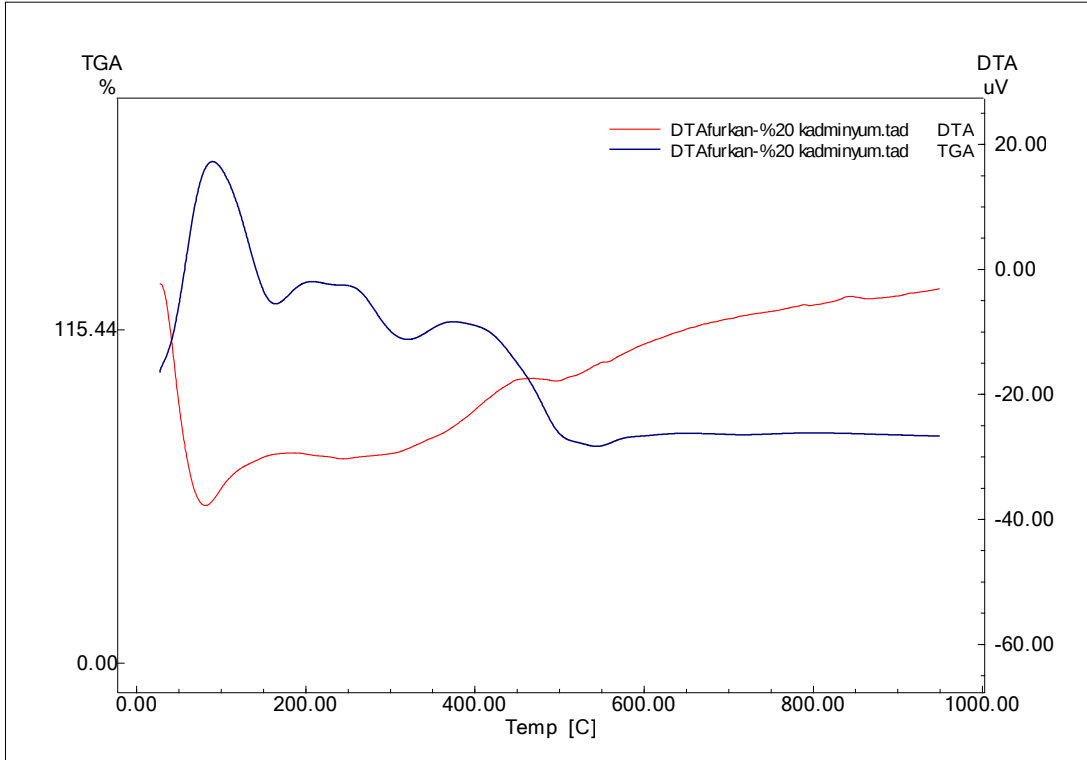


Şekil 6.10. CdO:TiO₂(10:90) numunesinin DTA eğrisi.

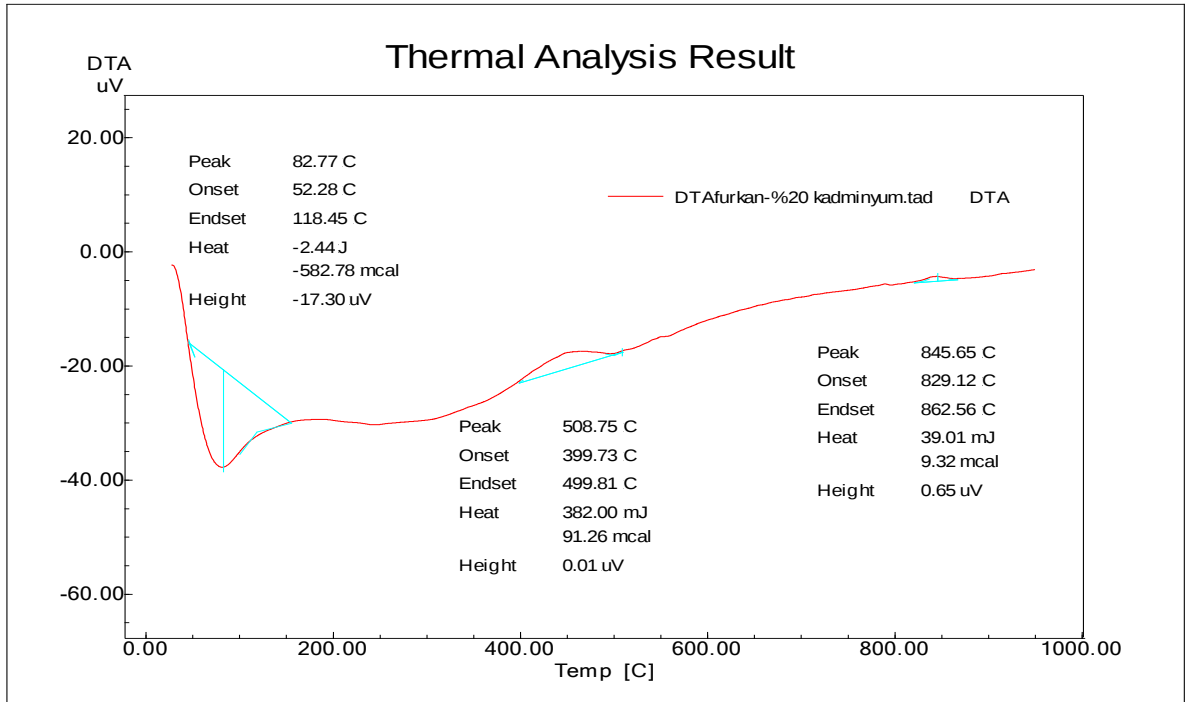


Şekil 6.11. CdO:TiO₂(10:90) numunesinin TG eğrisi.

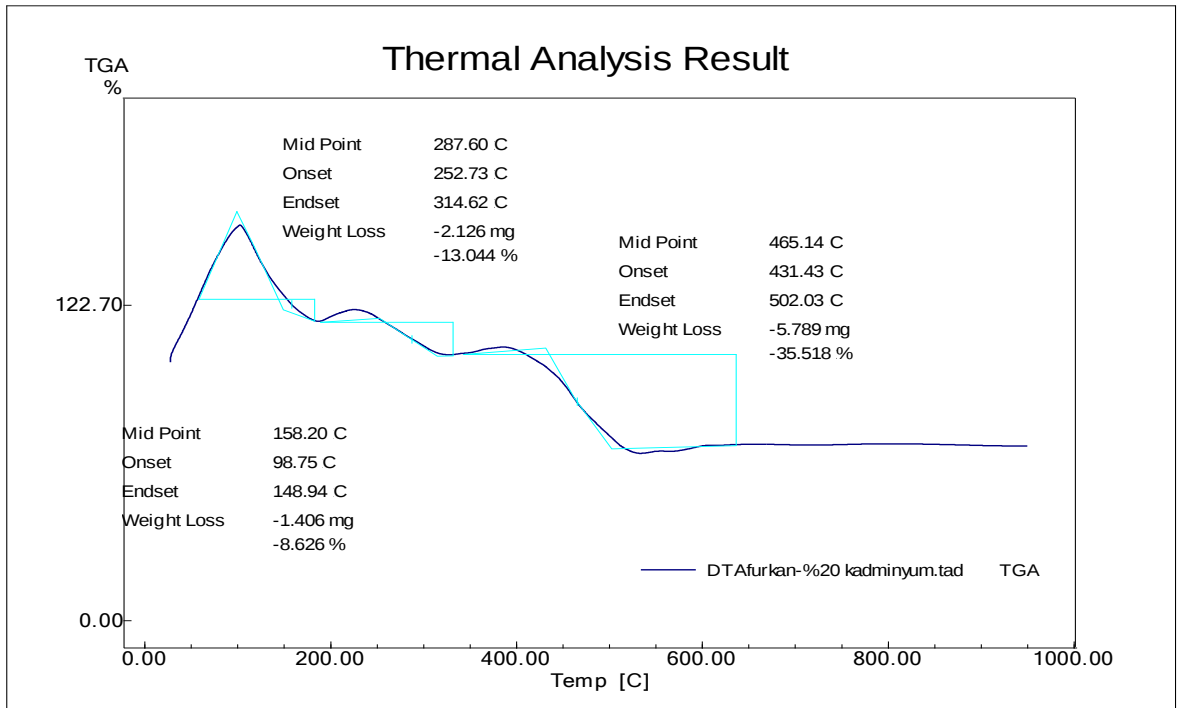
Şekil 6.12’de CdO:TiO₂(20:80) numunesine ait TG/DTA eğrileri verilmiş ve Şekil 6.13’teki DTA eğrisinde de 400 °C ve 830 °C’de iki adet küçük ekzotermik pik mevcut olup bu pikler numune içerisinde kütle bozunmalarının meydana geldiğini ifade etmektedir. Şekil 6.14’de verilen TG eğrisinde ise bozunmalar mevcut olup toplam kütle kaybı yaklaşık olarak %50 civarında olmuştur[46].



Şekil 6.12. CdO:TiO₂(20:80) numunesinin TG/DTA eğrisi.



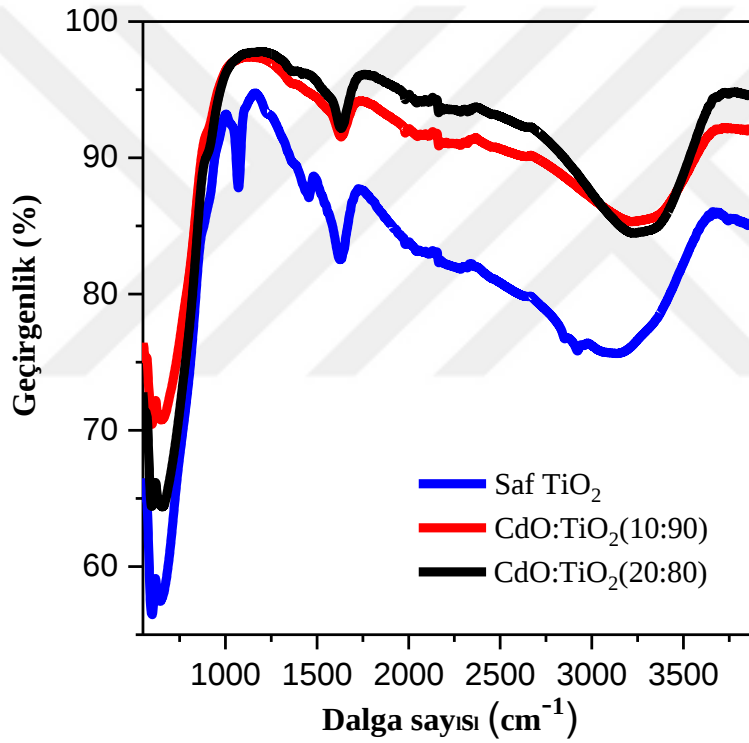
Şekil 6.13. CdO:TiO₂(20:80) numunesinin DTA eğrisi.



Şekil 6.14. CdO:TiO₂(20:80) numunesinin TG eğrisi.

6.5. Numunelerin FTIR Sonuçları

Numunelerin kimyasal yapı analizleri için FTIR spektrumlarının dalga sayısı ile değişimleri Şekil 6.15'te verilmiştir. TiO_2 'nin FTIR spektrumunda 1200 cm^{-1} ve 1700 cm^{-1} 'de karakteristik titreşim bantları görülmüştür. Bu bantların varlığı titanyum dioksitin kimyasal yapısını doğrular bir yapıda olmuştur. Pik şiddetlerindeki değişim kadmiyum oksitin varlığını işaret etmekle birlikte iyi bir şekilde katkılındığını da göstermiştir.



Şekil 6.15. Numunelerin FTIR spektrumları.

Şekil 6.15'teki eğrilere bakıldığında $900\text{--}1300 \text{ cm}^{-1}$ aralığında geçirgenliğin maksimum olduğu gözlenmiştir. Bu artışın TiO_2 'e ait tipik bantlar olduğu söylenilebilir ve literatürde de benzer sonuçlara rastlanılabilir[38, 39, 49]. Şekilde yine $500\text{--}700 \text{ cm}^{-1}$ aralığında gözlemlenen geniş titreşim bantları ise TiO_2 örgüsündeki Ti-O-Ti bağlarındaki titreşimlerden kaynaklanmıştır. 598 cm^{-1} Ti-O titreşim bandına ve 1638 cm^{-1} de Ti-O-Ti gerilme bandına karşılık gelmişlerdir[48-52].

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında yarıiletken malzemeler olarak kadmiyum oksit (CdO) katkılı titanyum dioksit (TiO₂) kompozitleri ve katkısız titanyum dioksit (TiO₂) üretilmiştir. Üretilen numuneler; katkısız titanyum dioksit (TiO₂) ile CdO:TiO₂(10:90) ve CdO:TiO₂(20:80) kompozit malzemeleridir. Elde edilen üç numunenin yapısal, kimyasal, optiksel, elektriksel ve termal özellikleri SEM, FTIR, UV-VİS, I-V ve TG/DTA ölçümleri ile analiz edilmiştir.

Kompozit malzemelerin SEM görüntüleri değerlendirildiğinde; saf TiO₂ numunesinin yapısı küresel tanecikler şeklinde gözlemlenmiş ve bu küresel yapıların düzgün bir şekilde olduğu belirlenmiştir. Kompozit numunelerde ise küresel yapılar kaybolarak yerine farklı boyutlardaki partiküller CdO katkı oranına bağlı değişen büyüklüklerde oluşmuşlardır.

Numunelerin yapısal özelliklerini incelemek için FTIR analizleri yapılmış ve numunelerin ortalama karakteristik bandı 1300 cm⁻¹ civarında görülmüştür. Birbiriyle uyumlu olan FTIR eğrisi literatürdeki eğrilerle benzerlik göstermiştir. Numunelerin yasak enerji aralıkları absorbanans spektrumundan hesaplanmıştır. Saf TiO₂ numunesi için 3,18 eV, CdO:TiO₂(10:90) numunesi için 3,26 eV ve son olarak CdO:TiO₂(20:80) numunesi için ise 2,87 eV olarak bulunmuştur. Numunelerin yasak enerji aralıkları daha önce yapılan diğer araştırmalardaki sonuçlarla uyum içinde olmuştur.

Elde ettiğimiz numunelerin termal özellikleri TG ve DTA ölçümleri ile analiz edilmiştir. Saf TiO₂ numunesi ile CdO:TiO₂(10:90) numunesinin sıcaklık artışıyla kütle kaybı küçük oranlarda (%15 ve 10 civarında) olmuş ancak CdO:TiO₂(20:80) numunesinin kütle kaybı ise daha büyük oranda (%50 civarında) olmuştur. Bu durumda CdO:TiO₂(20:80) numunesinin sıcaklığa karşı daha kararsız olduğu gözlemlenmiştir. Numunelerin DTA analizleri incelendiğinde ise saf TiO₂ numunesinin şiddetli bir ekzotermik reaksiyon göstermesine karşın CdO:TiO₂(10:90) numunesi ve CdO:TiO₂(20:80) numunesinde nispeten saf numuneye göre daha yüksek sıcaklıklarda farklı ve düşük şiddetlerde iki ekzotermik reaksiyon meydana gelmiştir. Malzemelerin termal kararlılığı kompozit oranına göre değişmiştir.

TiO₂'e CdO katkılanarak dielektrik özelliği arttırılmıştır. Numunelerin elektriksel ölçümleri ile çizilen akım-voltaj grafiklerinden elektriksel iletkenlikleri hesaplandı. Buna göre elektriksel iletkenlikler saf TiO₂ numunesi için $6,08 \times 10^{-7} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$, CdO:TiO₂(10:90) numunesi için $1,29 \times 10^{-7} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ ve CdO:TiO₂(20:80) numunesi için ise $1,58 \times 10^{-7} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ olarak bulunmuştur.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde bu çalışmada üretilen CdO katkılı TiO₂ kompozit malzemelerinin yarıiletken aygıt, güneş pili, havacılık vb. gibi pek çok optoelektronik uygulamada kullanılabilirliği ortaya konarak literatüre katkı sağlanmıştır.

.



KAYNAKÇA

- [1]. **Kinsinger N.**, vd.,, 2011, Photocatalytic Titanium Dioxide Composite, *Journal of Nano science and Nanotechnology*, 11(8):7015-21.
- [2]. **Kara Y. , Akbulut H. ,** 2017, Karbon elyaf takviyeli karbon nanotüp katkılı epoksi kompozit helisel yayların mekanik davranışları, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, v32 n2.
- [3]. **Bora AKSOYLU**, 2007, Kompozit Malzemelerde Elyaf Burkulmalarının Sayısal Olarak İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Mühendisliği, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.
- [4]. **Kaijian Zhang**, vd., 2017, Effect of dop ant concentration on photocatalytic activity of TiO₂ film doped by Mn non-uniformly, *Central European Journal of Chemistry*, 4(2):234-245.
- [5]. **Wenzhang Fang, Mingyang Xing, Jinlong Zhang**, 2017, Modifications on reduced titanium dioxi de photo catalysts, *Journal of Photochemistry and Photobiology C Photochemistry Reviews*, 32.
- [6]. **Jamshaid Rashid**, vd., 2018, Stabilized fabrication of anatase-TiO₂/FeS₂ (pyrite) semiconductor composite nano crystals for enhanced solar light-mediated photo catalytic degradation of methylene blue, *RSC Advances*, 8(22):11935 - 11945.
- [7]. **Funda SAYILKAN**, vd., 2017, Hydrothermal Synthesis, Characterization and Photocatalytic Activity of Nanosized TiO₂ Based Catalysts for Rhodamine B Degradation, *Turkish Journal of Chemistry*, 31(2):211-221.
- [8]. **Ferro R, Rodriguez JA, Vigil O, Morales-Acevedo A, Contreras-Puente G**, 2000 F doped CdO thin films deposited by spray pyrolysis. *Phys Stat Sol, A* 177:477.
- [9]. **Reis KP, Ramanan A, Whittingham MS**, 1990. Hydrothermal Synthesis of Sodium Tungstates, *Chemistry of Materials*, 2(3).
- [10]. **Adem ONAT**, 2015, *Kompozit Malzemeler Ders Notu*, Sakarya Meslek Yüksekokulu, Sakarya.

- [11]. **Mehmet ZOR**, 2018, *Kompozit Malzeme Mekaniği*, Ders Notları.
- [12]. **Korcan FIRAT**, *Kompozit malzemeler*, sunumu.
- [13]. **Akın ATAŞ**, *Kompozit Malzemeler ve Mekaniği*, Balıkesir Üniversitesi.
- [14]. **A Review Pardon Nyamukamba, Omobola Okoh**, 2018, Synthetic Methods for Titanium Dioxide Nanoparticles, 10.5772/intechopen.75425.
- [15]. **Burak AY**, 2011, Dikarbosilik Asit Grupları İçeren Geçiş Metal Komplekslerinin Hidrotermal Sentezi, UV Etkileşimlerinin Ve Katalitik Aktivitelerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [16]. **K. Sripathi**, vd., 2018, Elektro active Polyamide/CuO Composite For Anticorrosive applications, Department of Metallurgical and Materials Engineering Visvesvaraya National Institute of Technology, *PhD Thesis*, India.
- [17]. **Skocaj M, Filipic M, Petkovic J, Novak**, 2011, Titanium Dioxide in Sunscreen World's largest Science, *Technology&Medicine Open Access book*, Publisher.
- [18]. **Jale ACER**, 2012, Medikal Atıklardan TiO₂ Üretimi, Modifikasyonu Ve Uygulama Alanlarının Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [19]. **Erdem N. , Halis Erdoğan Ü., Aysun Akşit**, 2010, Structural and Ultraviolet-Protective Properties of Nano-TiO₂-Doped Polypropylene Filaments, *Journal of Applied Polymer Science*, 115(1):152 – 157.
- [20]. **Hybrids Mariana Sato de S. B. Monteiro, Maria Inês Bruno Tavares**, 2018, The Development and Characterization of Polycaprolactone and Titanium Dioxide Hybrids, *Advances in Nanoparticles*, 07(01):11-27.
- [21]. **Tarek A.** vd., 2012, Titanium Dioxide Nanoparticles and Nanostructures *Current Inorganic Chemistry*, 2(2):94-114.
- [22]. **Zhang SB, Wei SH, ZungerA** , 2001, Intrinsic n-type versus p-type doping asymmetry and the effect physics of ZnO, *PhysRev, B* 63:075205.
- [23]. **Hadaate Ullah, Ridoanur Rahaman, Shahin Mahmud**, 2017, Optical Properties of Cadmium Oxide (CdO) Thin Films, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, pp. 81 ~ 84.

- [24]. **Yükselici M. H, Aşıkoğlu Bozkurt A, Ömür BC**, 2013, A detailed examination of the growth of CdS ehtin films through structuralan doptical characterization. *Mater ResBull*, 48:2442– 2449.
- [25]. **Pathinettam Padiyan D, Marikani A, Murali KR**, 2003, Influence of thickness and substrate temperature on electrical and photo electrical properties of vacuum deposited CdS ehtin films. *Mater ChemPhys*, 78:51–58.
- [26]. **He Z et al**, 2009 Tuningelectricalandphotoelectricalproperties of CdS en ano wires via indium doping,*Small*, 5:345–350.
- [27]. **Sikdar Sudipta, Basu Somnath, Ganguly Suvankar**, 2011, Investigation of electrical conductivity of titanium dioxide nanofluids, *International Journal of Nanoparticles* 4(4):336 – 349.
- [28]. **Wypych Aleksandra Wypych Izabela, Bobowska Milena**, 2014, Dielectric Properties and Characterisation of Titanium Dioxide Obtained by Different Chemistry Methods, *Journal of Nanomaterials*, (5).
- [29]. **Pusit Pookmanee**, vd.,, 2010, Titanium Dioxide Powder Prepared by a Low Temperature Hydrothermal Method *Advanced Materials Research*93-94:627-630.
- [30]. **Escobedo Morales, E. Sanchez Mora, and U. Pal**, 2016, Use of diffuse reflectance spectroscopy for optical characterization of un-supported nanostructures, Instituto de Fisica, Benemerita Universidad Auti onoma de Puebla, *Apartado Postal* J-48, 72570.
- [31]. **Lebukhova, N.V.** vd., 2017, Synthesis and optic properties of titanium dioxide nanostructures doped with alkali metals, *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 51(5):820-824.
- [32]. **Sun L**, vd., 2009, Ultrasound Aided Photochemical Synthesis of Ag Loaded TiO₂ Nanotube Arrays to Enhance Photocatalytic Activity, *Journal of hazardous materials*, 171(1-3):1045-1050.
- [33]. **He J, Ichinose I, Kunitake T, Nakao A**, 2002, In Situ Synthesis of Noble Metal Nanoparticles in Ultrathin TiO₂–Gel Films by a Combination of Ion-Exchange and Reduction Processes,*Langmuir* 18(25).

- [34]. **Wojcieszak, D.** vd., 2015. Mechanical and structural properties of titanium dioxide deposited by innovative magnetron sputtering process, *Materials Science –Poland*, 33(3):660-668.
- [35]. **Ahmed M. Kamil,** vd., 2011, Synthesis, Characterization and Photocatalytic Activity of Carbon Nanotube/Titanium Dioxide Nanocomposites, *Arabian Journal for Science and Engineering*, v43 n1: 199-210.
- [36]. **Firas H. Abdulrazzakaand, Falah H. Hussein** 2018Photocatalytic Hydrogen Production on Nanocomposite of Carbon Nanotubes and TiO₂, *Journal of Physics Conference Series*,1032(1):012056.
- [37]. **Saravanamoorthy, S.A. ChandraBose and S. Velmat,** 2017, Enhanced Optical and Electrical Properties of P25 Titanium Dioxide Incorporated Polycaprolactone Nanocomposites, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 17(7):4677-4686.
- [38]. **Gayvoronsky, V.** vd., 2002, Optical Properties of PorousTitaniumDioxide, *Proc SPIE*, 4938:59-66.
- [39]. **Kadhim A.,** vd.,, 2016, The effect of the concentration ratio of Cadmium oxide on the optical properties for Titanium dioxide films, *Journal of Applied Physics*, 08(05):46-49.
- [40]. **Fakher Laatar,** vd., 2017, CdS enanorod / TiO₂ nanoparticle heteroj unctions with enhanced solar- andvisible-light photocatalytic activity, *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 8(1):2741-2752.
- [41]. **Ayodele Abeeb Daniyan, Lasisi Ejibunu Umoru,** 2013, Electrical Properties of Nano-TiO₂ Thin Film Using Spin Coating Method, *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 2, 15-20.
- [42]. **Raudah Abu Bakar Nur** vd., 2017, Modified hyperbolic sine model for titanium dioxide-based memristive thin films, Malaysia.
- [43]. **Kazuki Nagashima,** 2012, Switching Properties of Titanium Dioxide Nanowire Memristor, *Japanese Journal of Applied Physics* 51(11S):11PE09.
- [44]. **M.K. Ahmadi,** vd., **2010**, Study Of Cobalt Doping On The Elektrical And Optical Properties Of Titanyum Dioksit Thin Film Prepared By Sol-Gel Method,

M.RusOpII Faculty of Electrical Engineering, University Technology MARA, 40450 Shah Alam.

- [45]. **Cihan Habibe**, 2017, Kurt Dolomit Cevherin Kalsinasyon Karakteristiklerinin Belirlenmesi Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü *Yüksek Lisans Tezi*, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- [46]. **Gyrdasova, O.I.** vd., 2013, Synthesis, Optical Properties, and Defective Structure of Carbon Doped Titanium Dioxide Received, *Doklady Chemistry*, 452(1):211-214
- [47]. **João Victor Marques Zoccal** vd., 2010, Synthesis and Characterization of TiO₂ Nanoparticles by the Method Pechini, Aedermannsdorf, Switzerland, 660,385.
- [48]. **Kostrikin R.V. Kuznetsova O.V, Kosenkova**, 2007, Irspectra of hydrous titanium dioxide, January.
- [49]. **Yelda YALÇIN GÜRKAN**, 2010, Yeni Ametal Katkılandırılmış TiO₂ Fotokatalizörlerin Tasarımı, Sentezi Ve Fotokatalitik Aktiviteleri, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [50]. **Nithya, K. Rakesh and K. Jothivenkatachalam**, 2013, Biosynthesis, Characterization and Application of Titanium Dioxide Nanoparticles, *An International Open Free Access, Peer Reviewed Research Journal*, 2319-7633.
- [51]. **M. Mashkoura, M.Rahimnejada, S.M. Pouralia, H. Ezojia**, 2017, Catalytic performance of nano-hybrid graphene and titanium dioxide modified cathodes fabricated with facile and green technique in microbial fuel cell, *Progress in Natural Science*, 27(6):247-251.
- [52]. **Muhamed Shajudheen, Anitha Rani, Saravana Kumar S.** , 2016, Structural and Optical Properties of Rutile Titanium Dioxide Nanoparticles Synthesized Using Titanium Tetra Isopropoxide as a Precursor, *International Journal of Advanced Information Science and Technology*, 2319:2682.

ÖZGEÇMİŞ

Furkan Özbey

Kişisel Bilgiler

Doğum Yeri.....: Malatya

Doğum Tarihi...: 31.03.1989

Uyruğu.....: T.C.

Medeni Hali.....: Evli

Eğitim

İlköğretim.....: İnönü İlköğretim Okulu, Malatya

Ortaöğretim.....: Turgut Özal Lisesi, Malatya

Lisans.....: İnönü Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Malatya