



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**KARBON NANOTÜP TABANLI ÇİNKO OKSİT NANOTELLERİN BÜYÜTÜLMESİ
VE OPTOELEKTRONİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEHMET DURMAZ

DANIŞMAN: PROF. DR. BAYRAM KILIÇ

**YALOVA
TEMMUZ 2024**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

KARBON NANOTÜP TABANLI ÇİNKO OKSİT NANOTELLERİN BÜYÜTÜLMESİ VE
OPTOELEKTRONİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEHMET DURMAZ
228107009

DANIŞMAN: PROF. DR. BAYRAM KILIÇ

YALOVA
TEMMUZ 2024

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım “KARBON NANOTÜP TABANLI ÇİNKO OKSİT NANOTELLERİN BÜYÜTÜLMESİ VE OPTOELEKTRONİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Mehmet DURMAZ



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden yardımlarını esirgemeyen, akademik anlamda bana her zaman destek olan, doğru yolu gösteren ve bu süreçte değerli bilgileriyle bana kattıklarından dolayı sayın danışman hocam Prof. Dr. Bayram KILIÇ'a teşekkür ederim. Gerek maddi gerekse manevi olarak her zaman yanımda oldukları, benden desteklerini hiçbir zaman esirgemedikleri ve bana her zaman inandıkları için sevgili annem Gülten DURMAZ'a ve babam Ahmet DURMAZ'a teşekkür ederim.

Temmuz – 2024

Mehmet DURMAZ





İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
ABSTRACT	xvii
1. GİRİŞ	1
2. NANOTEKNOLOJİ.....	3
3. KARBON NANOTÜPLER (KNT'ler).....	7
3.1. Karbon Nanotüplerin Çeşitleri	8
3.1.1. Tek duvarlı karbon nanotüpler (TDKNT'ler)	8
3.1.2. Çok duvarlı karbon nanotüpler (ÇDKNT'ler)	9
3.2. Karbon Nanotüplerin Özellikleri	10
3.3. Karbon Nanotüpleri Sentezleme Yöntemleri	10
3.3.1. Ark boşalım yöntemi	11
3.3.2. Lazer buharlaştırma yöntemi	11
3.3.3. Kimyasal buhar biriktirme yöntemi (KBB)	12
3.4. Karbon Nanotüplerin Büyüme Mekanizması	13
4. ÇİNKO OKSİT (ZnO)	15
4.1. ZnO'nun Özellikleri	15
4.1.1. ZnO'nun optik özellikleri	15
4.1.2. ZnO'nun manyetik özellikleri.....	15
4.1.3. ZnO'nun elektriksel özellikleri.....	16
4.1.4. ZnO'nun kimyasal özellikleri	16
4.2. ZnO Sentezleme Yöntemleri	16
4.2.1. Hidrotermal yöntem.....	17
4.2.2. Sol-jel yöntemi.....	17
4.2.3. Kimyasal çöktürme yöntemi.....	17
5. MATERYAL VE YÖNTEM	19
5.1. ZnO'nun KNT Substratı Üzerine Hidrotermal Yöntemle Büyütülmesi.....	19
5.2. Karakterizasyon Teknikleri	19
5.2.1. X ışınları kırınımı yöntemi (XRD)	19



5.2.2. Termogravimetrik analiz (TGA).....	20
5.2.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	20
5.2.4. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR).....	20
5.2.5. Enerji dağılım x ışını spektrometresi (EDX)	21
5.2.6. Raman spektroskopisi	21
6. BULGULAR	23
6.1. KNT'lerin Karakterizasyonu	23
6.1.1. SEM analizi.....	23
6.1.2. TGA/DTG analizi	23
6.1.3. FTIR analizi	24
6.1.4. Raman spektroskopisi	25
6.2. KNT/ZnO Nanotellerin Karakterizasyonu	26
6.2.1. SEM analizi.....	26
6.2.2. EDX analizi.....	27
6.2.3. FTIR analizi	28
6.2.4. TGA/DTG analizi	29
6.2.5. XRD analizi	30
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	33
KAYNAKLAR.....	35
ÖZGEÇMİŞ	39



SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

%	: Yüzde
°C	: Santigrat derece
Å	: Angström
θ	: Teta
Zn	: Çinko
ZnO	: Çinko oksit
O	: Oksijen
Mn	: Manganez
Cu	: Bakır
Co	: Kobalt
Ni	: Nikel
Fe	: Demir
NH ₃	: Amonyak
L	: Litre
mbar	: Milibar
eV	: Elektronvolt
meV	: Milielektronvolt
mg	: Miligram
mm	: Milimetre
nm	: Nanometre
V _o	: Oksijen Boşlukları
Z _{ni}	: Çinko Arayer Atomu

KISALTMALAR

CB	: İletim Bandı
ÇDKNT	: Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
DMS	: Seyreltilmiş Manyetik Yarı İletken
DTG	: Diferansiyel Termogravimetri
EDX	: Enerji Dağılım X Işını Spektrometresi
FBB	: Fiziksel Buhar Biriktirme
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
JCPDS	: Toz Kırınım Standartları Ortak Komitesi
KBB	: Kimyasal Buhar Biriktirme
KNT	: Karbon Nanotüp
RE	: Nadir Toprak
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TDKNT	: Tek Duvarlı Karbon Nanotüp
TEM	: Geçirimli Elektron Mikroskobu
TGA	: Termogravimetrik Analiz
UV	: Ultraviyole
UVA	: Ultraviyole A
VB	: Valans Bandı
VOC	: Uçucu Organik Bileşikler
XRD	: X Işınları Kırınımı

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Nanoteknoloji uygulamaları (Akçin Önel, 2011)	4
--	---





ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Nanomalzemelerin sınıflandırılmasının akış diyagramı (Abid vd., 2022).....	3
Şekil 2.2. Nanoparçacıkların yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya yaklaşım yoluyla üretim yöntemleri (Ateş & Bahçeci, 2015)	6
Şekil 3.1. (a) Grafenin türevleri (b) Grafen levhası (c) Grafenin katlanarak karbon nanotüp hâline gelmesi (İbrahim, 2013).....	8
Şekil 3.2. Yapılarına göre farklı tipteki tek duvarlı karbon nanotüpler (Yuca, 2017)	9
Şekil 3.3. Çok duvarlı bir karbon nanotüpün yüzey ve iç görünümün birlikte gösterimi (Rathinavel vd., 2021)	10
Şekil 3.4. Ark boşalım yönteminin şematik sistem düzeneği (Harris, 1999).....	11
Şekil 3.5. Lazer buharlaştırma yönteminin şematik gösterimi (Szabó vd., 2010)	12
Şekil 3.6. Kimyasal buhar biriktirme yönteminin mekanizması (Popov, 2004).....	13
Şekil 3.7. KNT'ler için iki büyüme modeli diyagramı: (a) uç büyüme modeli ve (b) taban büyüme modeli (Wang, Vinodgopal, Dai, vd., 2019)	14
Şekil 6.1. KNT'lerin yan kesit ve üstten SEM görüntüleri	23
Şekil 6.2. KNT'lerin TGA/DTG analizi.....	24
Şekil 6.3. KNT'lerin FTIR analizi	25
Şekil 6.4. KNT'lerin raman spektrumu ve haritası	25
Şekil 6.5. Hidrotermal yöntem ile KNT substrat üzerine büyütülen nanotellerin SEM görüntüleri	26
Şekil 6.6. ZnO'nun EDX analizi	27
Şekil 6.7. KNT/ZnO'nun EDX analizi	27
Şekil 6.8. KNT/ZnO'nun FTIR analizi	28
Şekil 6.9. KNT/ZnO'nun TGA/DTG analizi	29
Şekil 6.10. KNT/ZnO'nun XRD analizi.....	31



KARBON NANOTÜP TABANLI ÇİNKO OKSİT NANOTELLERİN BÜYÜTÜLMESİ VE OPTOELEKTRONİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Karbon nanotüplerin (KNT'ler) çinko oksit (ZnO) ile entegrasyonu, çeşitli uygulamalar için malzemelerin verimliliğini artırmada önemli bir umut vaat etmiştir. Bu tez, hidrotermal yöntem kullanılarak ZnO'nun KNT üzerinde büyütülmesi ile KNT/ZnO nanotellerin sentezini ve karakterizasyonunu sunmaktadır. Üretilen nanoteller, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Enerji Dağılım X ışını spektrometresi (EDX), Fourier Dönüşümlü Kızılötesi spektroskopisi (FTIR), Termogravimetrik Analiz (TGA) ve X Işınları Kırınımı (XRD) kullanılarak analiz edilmiştir. SEM görüntüleri, nanotellerin uzun ve ince olduklarını ve yüksek en-boy oranına sahip yoğun nanotel yapıların büyütüldüğünü göstermektedir. SEM sonuçları, ZnO nanotellerin KNT substrat üzerinde başarılı bir şekilde homojen olarak büyütüldüklerini göstermektedir. Nanoteller ortalama 20-50 nm çapında, 5-10 µm uzunluğundadır. ZnO'nun EDX spektrumu, çinko (Zn) ve oksijene (O) karşılık gelen belirgin pikler göstererek ZnO'nun varlığını doğrulamaktadır. Saf ZnO ve KNT/ZnO spektrumları karşılaştırıldığında, ilave karbon pikleri ve Zn ve O pik yoğunluklarındaki olası değişiklikler başarılı nanoyapıların oluşumuna işaret etmektedir. FTIR spektroskopisi, numunelerde bulunan kimyasal bağlar ve fonksiyonel gruplar hakkında bilgi sağlamıştır. Alkin ($C\equiv C$) ve aromatik ($C=C$) titreşimlerin varlığı grafitik yapı ve KNT'deki olası kusurlar veya fonksiyonel gruplarla tutarlıdır. Ayrıca, $971,12\text{ cm}^{-1}$ ve $666,87\text{ cm}^{-1}$ 'deki pikler Zn-O bağ titreşimlerinin karakteristiği olduğundan ZnO'nun varlığını doğrulamaktadır. Termal kararlılığı değerlendirmek için TGA/DTG kullanılmıştır. Yüksek sıcaklıklardaki önemli ağırlık kaybı, KNT'lerin tamamen oksidasyonunu ve ZnO'daki potansiyel değişiklikleri göstermiştir. XRD verileri sentezlenen nanoyapıların kristal yapısını ve fazlarını doğrulamıştır. XRD analizi sonucunda ortalama kristal boyutunun 25-30 nm olduğu saptanmıştır. Kırınım piklerinin keskinliği ZnO'nun yüksek kalitede ve homojen olarak büyütüldüğünü ifade etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Karbon nanotüp, Çinko oksit, Nanotel, Hidrotermal yöntem



GROWTH OF CARBON NANOTUBE BASED ZINC OXIDE NANOWIRES AND INVESTIGATION OF THEIR OPTOELECTRONIC PROPERTIES

ABSTRACT

The integration of carbon nanotubes (CNTs) with zinc oxide (ZnO) has shown significant promise in improving the efficiency of materials for various applications. This thesis presents the synthesis and characterization of CNT/ZnO nanowires by growing ZnO on CNT using hydrothermal method. The fabricated nanowires were analyzed using Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive X-ray spectrometry (EDX), Fourier Transform Infrared spectroscopy (FTIR), Thermogravimetric Analysis (TGA) and X-Ray Diffraction (XRD). SEM images show that the nanowires are long and thin and dense nanowire structures with high aspect ratio are grown. SEM results show that ZnO nanowires were successfully grown homogeneously on the CNT substrate. The nanowires have an average diameter of 20-50 nm and a length of 5-10 μm . The EDX spectrum of ZnO confirms the presence of ZnO by showing prominent peaks corresponding to zinc (Zn) and oxygen (O). Comparing the spectra of pure ZnO and CNT/ZnO, additional carbon peaks and possible changes in Zn and O peak intensities indicate the successful formation of nanostructures. FTIR spectroscopy provided information on the chemical bonds and functional groups present in the samples. The presence of alkyne ($\text{C}\equiv\text{C}$) and aromatic ($\text{C}=\text{C}$) vibrations is consistent with the graphitic structure and possible defects or functional groups in the CNT. Moreover, the peaks at 971.12 cm^{-1} and 666.87 cm^{-1} are characteristic of Zn-O bond vibrations, confirming the presence of ZnO. TGA/DTG was used to evaluate the thermal stability. The significant weight loss at high temperatures indicated the complete oxidation of CNTs and potential changes in ZnO. XRD data confirmed the crystal structure and phases of the synthesized nanostructures. XRD analysis revealed that the average crystal size was 25-30 nm. The sharpness of the diffraction peaks indicates that ZnO was grown in high quality and homogeneously.

Keywords: Carbon nanotube, Zinc oxide, Nanowire, Hydrothermal method



1. GİRİŞ

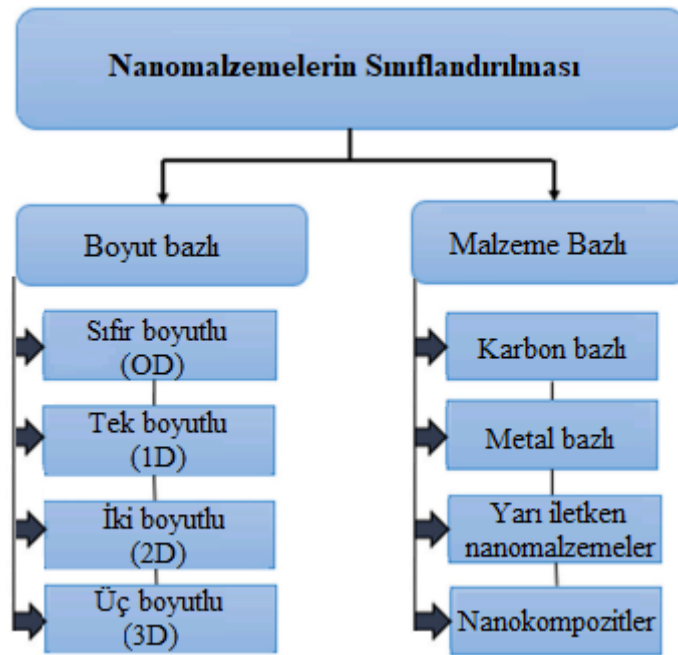
Son yıllarda nanoteknoloji alanı, çeşitli uygulamalar için nanomalzemelerin sentezi ve karakterizasyonunda önemli gelişmelere tanık olmuştur. Bu tür umut verici nanoyapılardan biri de KNT'lerin ZnO ile kombinasyonudur. KNT/ZnO nanoyapıları, benzersiz özellikleri ve sensörler, optoelektronik, enerji depolama ve kataliz gibi alanlardaki potansiyel uygulamaları nedeniyle büyük ilgi görmüştür. KNT'ler olağanüstü mekanik, elektriksel ve termal özelliklere sahip olduğundan çeşitli uygulamalar için ideal adaylar olarak kabul edilir. ZnO, geniş bant aralığına sahip, mükemmel optik, elektrik ve piezoelektrik özelliklere sahip bir yarıiletken materyaldir. KNT'ler ve ZnO'nun kombinasyonu nanoyapılarda sinerjik etkiler sunarak gelişmiş performans ve yeni işlevsellikler sağlar. KNT/ZnO nanoyapıları, tek başına bileşenlere kıyasla gelişmiş mekanik mukavemet, elektrik iletkenliği ve optik özelliklere sahiptir. KNT/ZnO nanoyapılarının benzersiz özellikleri, ultraviyole (UV) sensörleri, fotokataliz, enerji depolama cihazları ve fotoelektrokimyasal su ayrıştırma gibi çeşitli uygulamalar için uygun hale gelmesini sağlar. KNT/ZnO nanoyapılarına dayalı UV sensörleri, yüksek hassasiyet, hızlı tepki süresi ve geri kazanım süresi gibi özellikler göstererek çevresel izleme ve endüstriyel güvenlik uygulamaları için umut verici adaylar haline gelmiştir. Bu tezin amacı, KNT/ZnO nanoyapıların sentezini, karakterizasyonunu araştırmak ve optoelektronik özelliklerini incelemektir.

2. NANOTEKNOLOJİ

"Nano" kelimesi Yunanca kökenli olup "cüce" anlamına gelir ve kelime anlamı olarak fiziksel bir büyüklüğün milyarda biri anlamına gelen bir ön ektir. Nanoteknoloji ise tasarım, karakterizasyon, üretim ve uygulama süreçlerini kapsayan yapıların, cihazların ve sistemlerin nanometre ölçeğinde manipülasyonunu ve kontrolünü içerir.

Nanoteknoloji kavramı ilk defa Nobel ödüllü fizikçi Dr. Richard P. Feynman tarafından Amerikan Fizik Topluluğu'nun toplantısında yaptığı "Aşağıda Daha Çok Yer Var (There's Plenty of Room at the Bottom)" adlı konuşmasıyla 1959 yılında sunulmuştur (Feynman, 1959). Nanoteknoloji ifadesi ise ilk kez 1974 yılında Tokyo Üniversitesi'nden Norio Taniguchi tarafından ortaya atılmıştır. Taniguchi, nanoteknolojiyi materyallerin molekül veya atom düzeyinde ayrıştırılması, birleştirilmesi ve deformasyonu süreci olarak tanımlamıştır (Taniguchi, 1974).

1 ila 100 nanometre (nm) aralığında olan nanoparçacıklar bilimsel alanda büyük ilgi görmektedir. Bu tür parçacıklar nanomalzemeler olarak da bilinir. Nanomalzemeler, manyetik, katalitik, mekanik, optik ve elektronik özelliklerinden dolayı, tıp, kozmetik, ambalaj, nanofiber, biyosensör ve elektronik gibi çeşitli alanlarda geniş uygulama alanlarına sahiptir (Abid vd., 2022). Nanomalzemeler morfolojilerine, boyutlarına ve biçimlerine göre farklı gruplara ayrılır. Şekil 2.1'de nanomalzemelerin sınıflandırılması gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Nanomalzemelerin sınıflandırılmasının akış diyagramı (Abid vd., 2022)

Tablo 2.1’de nanoteknolojinin uygulamaları ve kullanıldığı alanlar gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Nanoteknoloji uygulamaları (Akçin Önel, 2011)

Kategori	Malzeme Örnekleri	Uygulama Örnekleri
Üç boyutlu nano malzemeler	Nanopartiküller	Katalizörler, su arıtımı, güneş kremleri, kozmetikler, tekstil ürünleri, kaplama ürünleri
	Nano kristal malzemeler	Manyetik rezonans görüntüleme, motorlar, mikro sensörler, ortopedik implantlar, yapay kalp valfleri
	Fullerenler	Elektronik kablolar, ilaç salınım araçları
	Dendrimerler (polimerik moleküller)	Kaplamalarda, mürekkeplerde, çevre teknolojilerinde, ilaç salınımında
İki boyutlu nano malzemeler	Karbon nanotüpler	Sensörler, nano elektronikler
	Anorganik nanotüpler	Kataliz, fotokataliz, enerji depolama
	Yarı iletken nanoteller	Yüksek yoğunluklu bilgi depolama, elektronik nano aletler, kuantum malzemeler
Tek boyutlu nano malzemeler	İnce film ve tabakalar	Nefes alabilir ve su geçirmez malzemeler, elektronik aletler, araçlar

Nano ölçek, malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri yüzey atomlarına bağlıdır, çünkü yüzey-hacim oranındaki artış tane boyutunu ve yüzey atomunun erime noktasını azaltır, bu da kimyasal ve fiziksel özellikleri etkiler. Her nanoparçacık oldukça yüksek bir yüzey alanı-hacim oranı sergiler. Bu oran parçacığın yarıçapı ile ters orantılıdır. Sonuç olarak, kimyasal

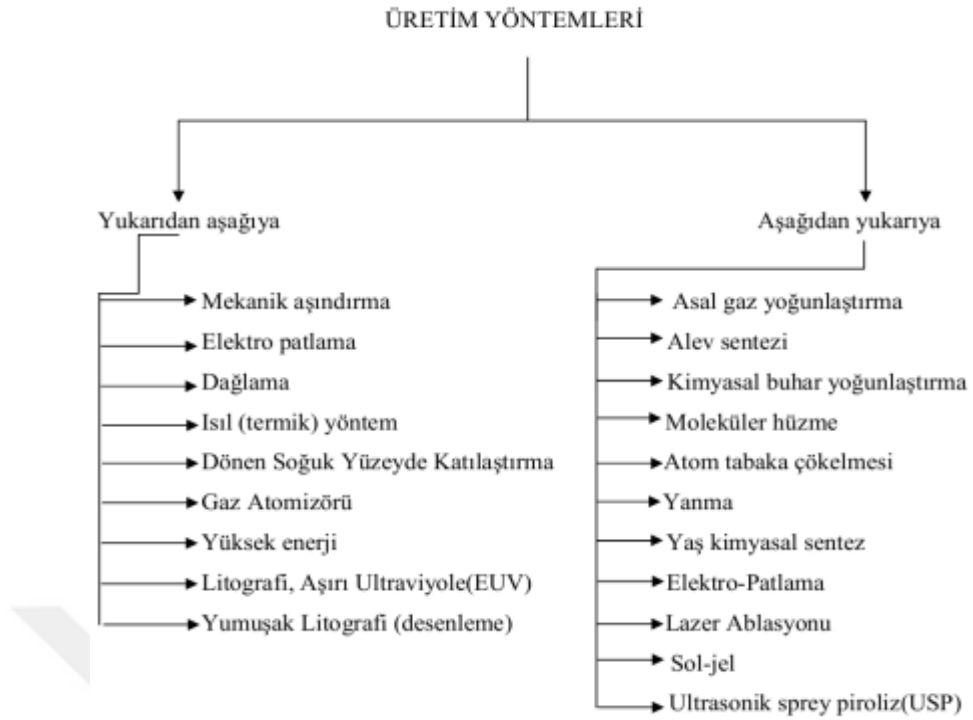
reaksiyonları katalize etmek için parçacık yüzeyinde bulunan atomların oranı da parçacığın yarıçapı ile ters bir ilişki izler. Örneğin, 5 nm çapındaki bir altın nanoparçacığının atomlarının %31'i yüzeyde bulunurken, 50 nm'de bu oran %3,4'e, 1 mikronda ise %0,2'ye düşer (Christian vd., 2008).

Nanofabrikasyon yöntemleri genel olarak yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya yaklaşımları olarak sınıflandırılır. Yukarıdan aşağıya yaklaşımı mekanik işleme, fiziksel buhar biriktirme (FBB), litografi ve termal buharlaştırma pirolizi gibi fiziksel yöntemleri içerir. Öte yandan, aşağıdan yukarıya yaklaşımı kimyasal ve biyolojik yöntemleri kapsar. Kimyasal yaklaşımlar arasında sol-jel, kimyasal buhar biriktirme (KBB), kimyasal çöktürme, mikroemülsiyonlar, hidrotermal yöntemler, sonokimyasal yöntemler ve mikrodalga yöntemleri yer almaktadır (Paramasivam vd., 2021).

Yukarıdan aşağıya yaklaşımı, nanopartiküller elde etmek için yığın malzemelerin boyutunun küçültülmesi sürecini ifade eder. Bu, hassas mühendislik ve litografi gibi gelişmiş yöntemlerin kullanılmasıyla gerçekleştirilebilir (Iqbal vd., 2012).

Yukarıdan aşağıya yaklaşımın aksine aşağıdan yukarıya yaklaşım, 1 nm ila 100 nm arasındaki nano ölçek aralığında fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanarak atomları ve molekülleri kontrollü bir şekilde bir araya getirerek nano yapıların kademeli olarak oluşturulmasını gerektirir. Bu parçacıkların kontrollü bir şekilde kendi kendine birleşmesi, bu yaklaşımda çok önemli bir rol oynamaktadır (Iqbal vd., 2012).

Şekil 2.2'de yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya yaklaşımları yoluyla nanoparçacıkların üretim yöntemleri gösterilmiştir.

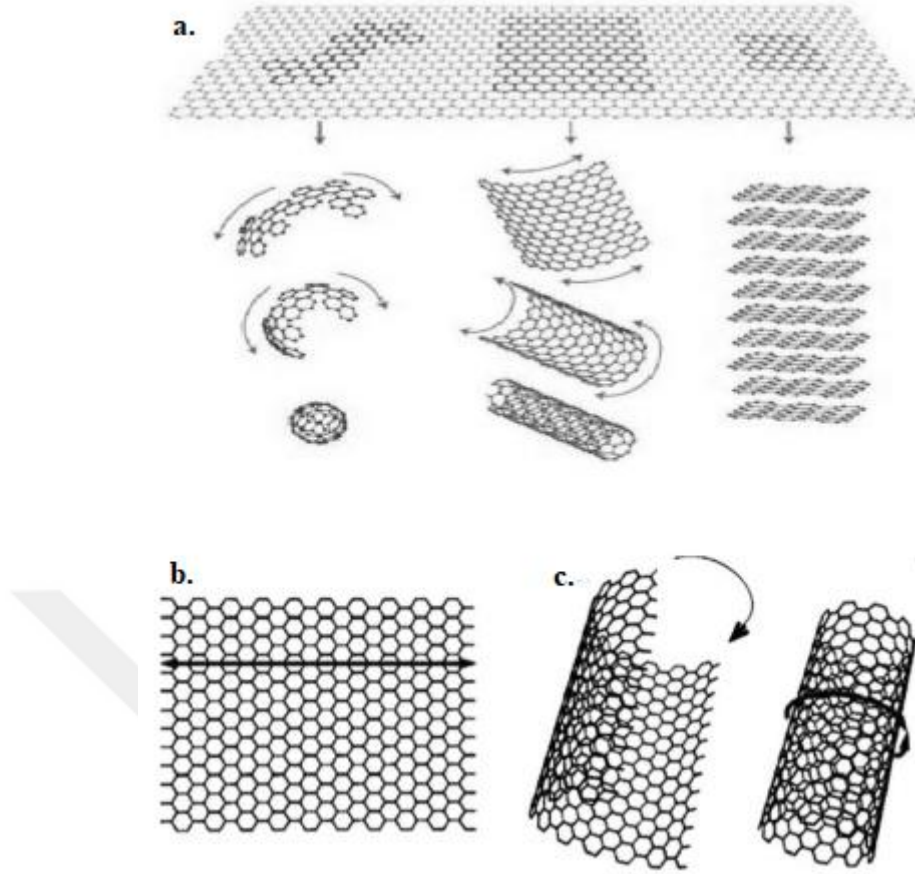


Şekil 2.2. Nanoparçacıkların yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya yaklaşım yoluyla üretim yöntemleri (Ateş & Bahçeci, 2015)

3. KARBON NANOTÜPLER (KNT'ler)

Karbon nanotüpler, ilk kez 1991 yılında Japonya'nın Tsukuba şehrindeki NEC Corporation araştırma laboratuvarında çalışırken Iijima Sumio tarafından keşfedilmiştir. Iijima, iki grafit elektrot arasındaki bir ark boşalımı sonucunda oluşan kalıntıyı incelemek için yüksek çözünürlüklü bir geçirimli elektron mikroskobu (TEM) kullandı ve bu sayede çok duvarlı karbon nanotüpleri (ÇDKNT'ler) keşfetti (Iijima, 1991). Daha sonra, 1993 yılında Iijima ve Ichihashi aynı yöntemi kullanarak çapı 1 nanometre olan tek duvarlı karbon nanotüpleri (TDKNT'ler) sentezledi (Iijima & Ichihashi, 1993).

KNT'ler, farklı özelliklere sahip silindirik karbon molekülleridir ve birçok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu uygulamalar nano-elektronik, optik ve malzeme bilimi gibi alanları kapsamaktadır. KNT'ler ayırt edici elektriksel, mekanik ve termal özelliklerinin yanı sıra dikkate değer bir güç sergilerler. İlk olarak 1985 yılında Kroto ve arkadaşları tarafından keşfedilen fulleren ailesinin bir parçasıdır (Kroto vd., 1985). Buckyball'lar küresel fullerenler iken, KNT'ler silindirik bir yapıya sahiptir ve tipik olarak bir ucu buckyball konfigürasyonuna benzeyen bir yarım küre ile kaplıdır. "KNT" terimi, bir nanotüpün çapı yalnızca birkaç nanometreyi ölçtüğü için boyutlarından kaynaklanmaktadır (İbrahim, 2013). Şekil 3.1, grafenden karbon nanotüp oluşum aşamasını göstermektedir.



Şekil 3.1. (a) Grafenin türevleri (b) Grafen levhası (c) Grafenin katlanarak karbon nanotüp hâline gelmesi (Ibrahim, 2013)

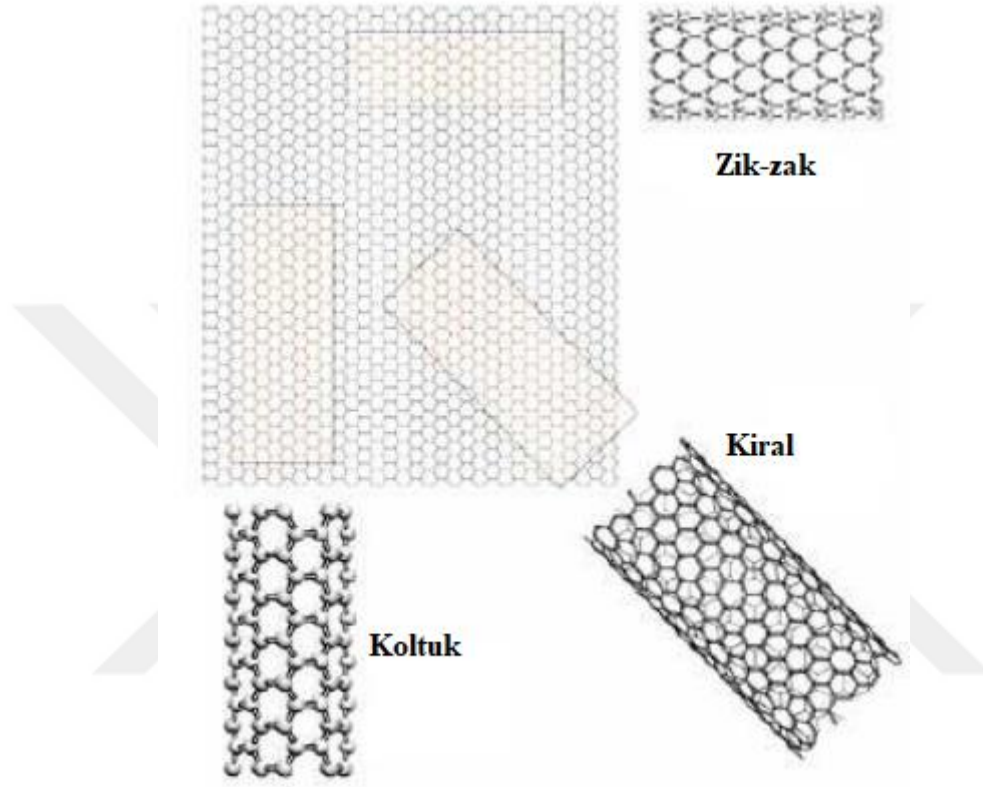
3.1. Karbon Nanotüplerin Çeşitleri

KNT'ler, genellikle tek duvarlı ve çok duvarlı olmak üzere iki temel kategoride sınıflandırılır. Tek duvarlı karbon nanotüpler, çok duvarlı karbon nanotüplere kıyasla nispeten daha küçük bir çapa sahiptir. TDKNT'lerin sentezi ve karakterizasyonu, istenen özellikleri elde etmek için genellikle deneysel parametrelerin dikkatli bir şekilde optimizasyonunu gerektirir. Öte yandan, ÇDKNT'ler çoklu katmanlardan oluşur ve daha büyük bir çapa sahiptir. TDKNT'lerin aksine, ÇDKNT'ler sentez ve karakterizasyon için aynı düzeyde parametre optimizasyonu gerektirmez.

3.1.1. Tek duvarlı karbon nanotüpler (TDKNT'ler)

TDKNT'ler tipik olarak yaklaşık 1 nm'lik bir yarıçapa sahipken, uzunlukları önemli ölçüde daha fazla olabilir. TDKNT'lerin yapısı, tek katmanlı bir grafit oluşturan silindirik bir grafen sargısı olarak tanımlanabilir. Spesifik sarma modeli, kiral vektörler (n, m) tarafından belirlenir; burada n ve m , grafenin kristal petek yapısı içinde iki yöndeki birim vektör sayısını temsil eder. $m=0$ olduğu durumda, ortaya çıkan nanotüpler, silindirik bir forma yuvarlandığında tüp

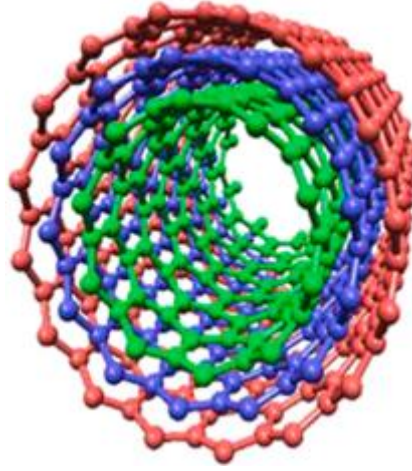
tarafından oluşturulan altıgen şekil nedeniyle "zik-zak" olarak adlandırılır. $n=m$ olduğunda, nanotüpler "koltuk" olarak sınıflandırılır ve siklohekzanın iki konformerinden birine benzerlik gösterir. m 'nin zikzak ve koltuk yapılarıyla ilişkili değerler arasında kaldığı nanotüpler için ise "kiral" olarak adlandırılırlar (Mintmire vd., 1992). Şekil 3.2'de bu yapılar görsel olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3.2. Yapılarına göre farklı tipteki tek duvarlı karbon nanotüpler (Yuca, 2017)

3.1.2. Çok duvarlı karbon nanotüpler (ÇDKNT'ler)

ÇDKNT'ler, çapları 2 ila 50 nm arasında değişen tüplere sarılmış çok sayıda grafen tabaka katmanından oluşur. Bu grafen tabakaların varlığı ÇDKNT'lerin isimlendirilmesine ve numaralandırılmasına da katkıda bulunur. Tüpün iç tabakası yaklaşık 0,34 nm yarıçapa sahipken, dış tabaka 2 nm'den 20-30 nm'ye kadar değişebilir. ÇDKNT'ler, Russian Doll ve Parchment olmak üzere iki yapısal modelde sınıflandırılabilir. Russian Doll modelinde, grafen tabakalar eş merkezli olarak düzenlenir ve bebeklerin iç içe geçmesini andırır. Parchment modeli ise, tek bir grafen tabakasının bir kağıt tomarına benzer şekilde birden çok kez sarılmasını içerir (Rathinavel vd., 2021). Şekil 3.3'te bir ÇDKNT'nin yüzey ve iç görünümü verilmiştir.



Şekil 3.3. Çok duvarlı bir karbon nanotüpün yüzey ve iç görünümünün birlikte gösterimi (Rathinavel vd., 2021)

3.2. Karbon Nanotüplerin Özellikleri

KNT'ler, tekli karbon atomları arasındaki güçlü sp^2 bağlarının varlığı nedeniyle dikkate değer mekanik özellikler sergiler. Bu bağlar, karbon nanotüplerde çelik ve güçlü, ısıya dayanıklı sentetik elyaf olan kevlar gibi malzemelere kıyasla daha yüksek bir gerilme mukavemetine katkıda bulunur. KNT'lerdeki sp^2 bağı, elmasa bulunan sp^3 bağından bile daha güçlüdür. Teorik olarak, tek duvarlı karbon nanotüplerin çelikten yüzlerce kat daha fazla gerilme mukavemetine sahip olabileceği bilinmektedir (Eatemadi vd., 2014).

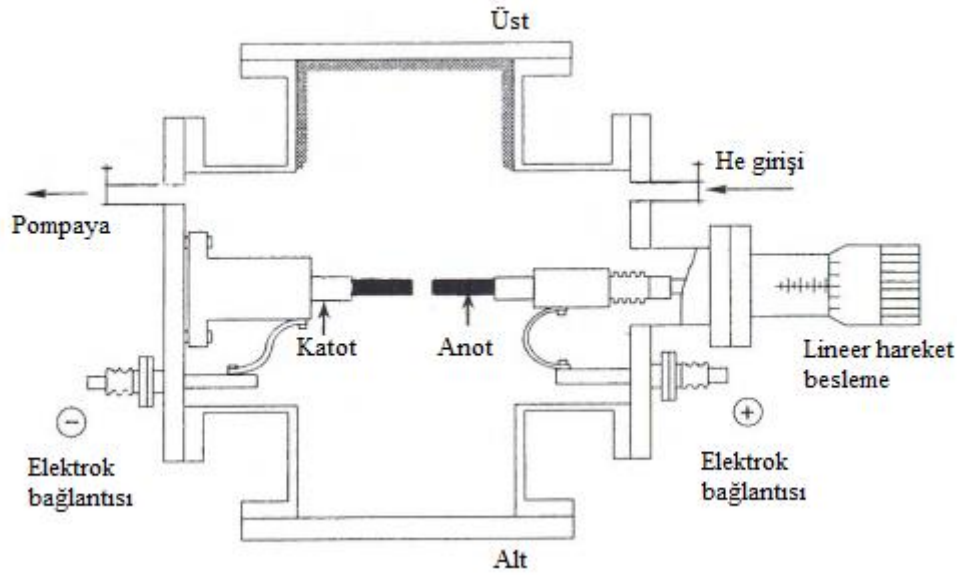
KNT'lerin bir başka büyüleyici özelliği de esneklikleridir. Sıkıştırma veya bükme gibi önemli kuvvetlere maruz kaldıklarında, KNT'ler hasar görmeden deformasyona uğrayabilir. Aşırı eksenel basınç kuvvetleri altında eğilebilir, çevrilebilir, kıvrılabilir ve hatta bükülebilirler, ancak daha sonra orijinal yapılarına geri dönebilirler. Bununla birlikte, nanotüplerin esnekliğinin sınırsız olmadığını kabul etmek önemlidir. Aşırı güçlü kuvvetler altında nanotüpler geçici deformasyon yaşayabilir. Ayrıca, atomik boşluklar veya karbon bağlarının yeniden düzenlenmesi gibi nanotüp yapısındaki kusurlar, nanotüpün genel gücünü zayıflatma potansiyeline sahiptir (Eatemadi vd., 2014).

3.3. Karbon Nanotüpleri Sentezleme Yöntemleri

Karbon nanotüp sentezlemek için kullanılan en yaygın 3 yöntem; Ark boşalım yöntemi, Lazer buharlaştırma yöntemi ve Kimyasal buhar biriktirme (KBB) yöntemidir. İlk iki yöntem yüksek sıcaklık gerektiren yöntemlerken, kimyasal buhar biriktirme yöntemi ise daha düşük sıcaklıkta çalışır.

3.3.1. Ark boşalım yöntemi

Ark boşalım yöntemi, 50 ila 700 mbar arasında değişen düşük basınçlarda helyum veya argon gazı ile doldurulmuş bir ortamda 1 mm mesafe ile birbirine yakın yerleştirilmiş iki karbon elektrot arasında bir elektrik arkı oluşturulmasını içerir. Arkı başlatmak için, yaklaşık 30 voltluk bir potansiyelle 50 ila 120 amperlik bir doğru akım uygulanır. Bu, grafit elektrotlar arasındaki boşlukta 3000°C'yi aşan yüksek sıcaklıkta bir plazma oluşturur. Sonuç olarak, grafit elektrotlar yavaş yavaş buharlaşır ve hızla yoğunlaşarak diğer karbonlu yan ürünlerin yanı sıra karbon nanotüplerin büyümesine yol açar. Plazma bölgesindeki aşırı yüksek sıcaklık nedeniyle, karbon malzeme buharlaşarak elektrotun aşınmasına ve tüketilmesine neden olur. Bundan dolayı, iki karbon elektrot arasında tutarlı bir mesafeyi korumak için anodu sürekli olarak hareket ettirmek gerekli hale gelir. Voltajı 30 ila 35 volt aralığında dikkatlice kontrol ederek ve iki elektrot arasındaki mesafeyi ayarlayarak plazmadaki dalgalanmaları azaltmak mümkündür. Ayrıca, saf grafit veya metal ile karıştırılmış grafitin buharlaştırılması bu süreçte uygun yaklaşımlar olarak kullanılabilir (Chen vd., 2021). Ark boşalım yönteminin sistem düzeneği Şekil 3.4'de verilmiştir.



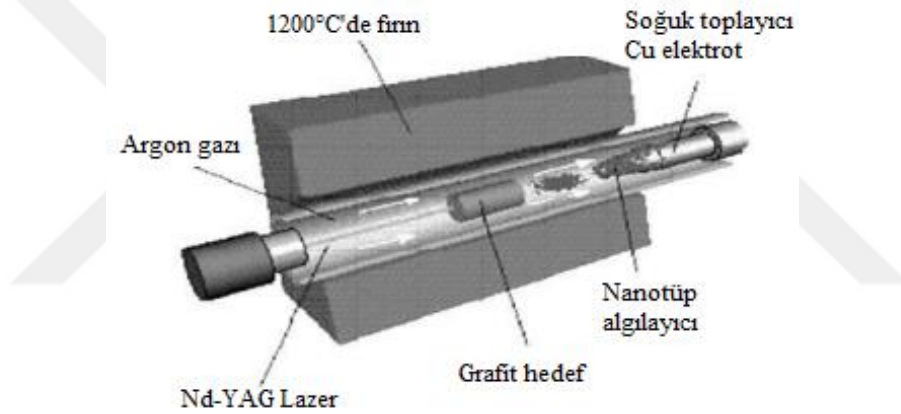
Şekil 3.4. Ark boşalım yönteminin şematik sistem düzeneği (Harris, 1999)

3.3.2. Lazer buharlaştırma yöntemi

Tek duvarlı karbon nanotüplerin üretimi için darbeli lazer buharlaştırma işlemi Rice Üniversitesi'nde Guo ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir (Guo vd., 1995). Lazer buharlaştırma yöntemi, KNT'leri üretmek için kullanılan bir tür FBB tekniğidir. Bu yöntemde, bir grafit hedef bir lazer kaynağı kullanılarak buharlaştırılır. İşlem, grafit hedefin 1200°C

sıcaklıkta tutulan argon gazı ile dolu bir kuvars odasının merkezine yerleştirilmesini içerir. Grafit hedef daha sonra sürekli bir lazer kaynağı veya darbeli bir lazer kaynağı kullanılarak buharlaştırılır. Grafit hedeften buharlaştırılan karbon atomları argon gazı akışıyla soğutulmuş bir bakır toplayıcıya doğru yönlendirilir. Toplayıcıya ulaştıktan sonra karbon atomları birikir ve KNT'ler olarak büyür (Kumar Jagadeesan vd., 2020).

Lazer buharlaştırma yoluyla üretilen nanotüpler, yaklaşık %90'a varan düzeylerle daha yüksek bir saflık derecesi sergiler. Ayrıca, yapıları ark işlemiyle üretilenlere kıyasla daha fazla grafitleşmiştir. Bununla birlikte, bu yöntemin bir dezavantajı, ürettiği nispeten az miktarda karbon birikintisidir. Lazer buharlaştırma yöntemi özellikle TDKNT'lerin büyümesi için uygundur. Öte yandan, bu yöntem kullanılarak ÇDKNT'lerin üretilmesi özel reaksiyon koşulları gerektirir (Szabó vd., 2010). Lazer buharlaştırma yönteminin çalışma mekanizması Şekil 3.5'de verilmiştir.



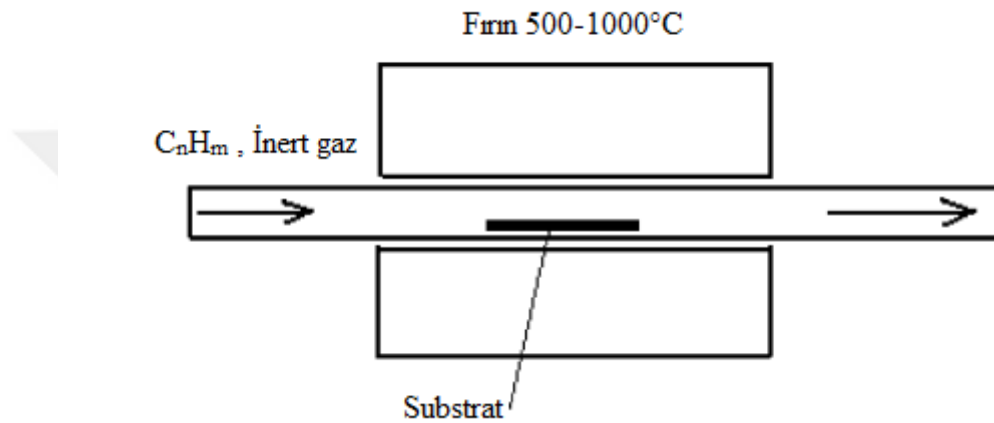
Şekil 3.5. Lazer buharlaştırma yönteminin şematik gösterimi (Szabó vd., 2010)

3.3.3. Kimyasal buhar biriktirme yöntemi (KBB)

Karbon nanotüplerin sentezi için yaygın olarak KBB yöntemi kullanılmaktadır. Bu teknik, hidrokarbonlar veya alkol gibi bir karbon öncüsünün Co, Ni veya Fe gibi nano yapılı bir geçiş metali katalizörü üzerinde katalitik olarak ayrıştırılmasını içerir. KBB'de kullanılan sıcaklıklar tipik olarak 600 ila 1000°C arasında değişmektedir. Sentezin başarısı büyük ölçüde katalizörün yapılandırılmasına ve kullanılan spesifik reaksiyon koşullarına bağlıdır. KBB yoluyla büyütülen KNT'lerin, diğer yöntemlerle elde edilenlere kıyasla daha uzun olduğu bilinmektedir (Brukh & Mitra, 2006).

KBB ile KNT sentezinde, katalizör substrat üzerinde biriktirilir ve daha sonra katalizörün çekirdeklenmesi kimyasal aşındırma veya ısıtma yoluyla gerçekleştirilir. Önceden hazırlanmış destekli malzeme daha sonra büyütme işlemi için tablalı bir reaktöre yerleştirilir.

Reaktör/fırın yeterli reaksiyon sıcaklığına (600-1200 °C) ısıtıldıktan sonra, bir hidrokarbon gazı (etilen, metan, asetilen vb.) ve bir proses gazı (azot, hidrojen, argon) karışımı bir reaksiyon odasında metal katalizörlerin yüzeyi üzerinde belirli bir süre (genellikle 15-60 dakika) reaksiyona sokulur ve karbon öncülünün ayrışması gerçekleştiğinde, sistem oda sıcaklığına soğutulduktan sonra reaktör duvarlarından ve destek yüzeylerinden toplanan reaktördeki katalizör parçacığı üzerinde KNT'ler büyür. Katalizör parçacığı büyüyen karbon nanotüpün altında veya üstünde kalabilir (Shah & Tali, 2016). Şekil 3.6, KBB ile KNT sentezini göstermektedir.



Şekil 3.6. Kimyasal buhar biriktirme yönteminin mekanizması (Popov, 2004)

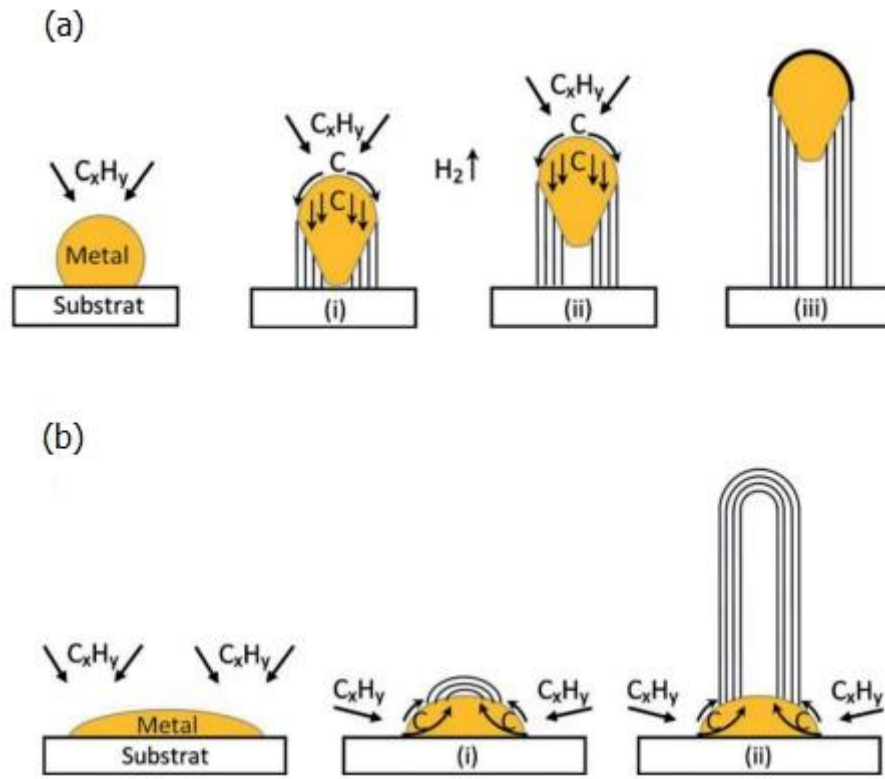
3.4. Karbon Nanotüplerin Büyüme Mekanizması

KNT büyümesinin kesin mekanizması, keşfinden bu yana tartışma konusu olmuştur. Çeşitli gruplar, reaksiyon koşullarına ve biriktirme sonrası ürün analizlerine dayanarak farklı olasılıklar önermiş ve genellikle çelişkili bulgulara yol açmıştır. Sonuç olarak, bugüne kadar iyi bilinen tek bir KNT büyüme mekanizması mevcut değildir. Bununla birlikte, yaygın olarak kabul edilen ve genel bir mekanizma aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Bir hidrokarbon buharı sıcak metal nanoparçacıklarla temas ettiğinde, karbon ve hidrojen türlerine ayrılarak ayrışmaya uğrar. Hidrojen daha sonra dağılırken, karbon metal içinde çözünür. Karbon, verilen sıcaklıkta metaldeki çözünürlük sınırına ulaştığında çöker ve kristalleşir, sarkan bağları olmayan silindirik bir ağ yapısı oluşturur, böylece enerjik kararlılık elde edilir. Hidrokarbon ayrışma süreci ekzotermiktir ve metalin açıkta kalan bölgesine ısı yayar. Tersine, karbon kristalleşme süreci endotermiktir ve metalin çökme bölgesinden ısı emer. Metal parçacık içindeki bu hassas termal gradyan sürecin devam etmesini sağlar (Kumar, 2011).

Katalizör ve substrat arasında zayıf bir etkileşim olduğunda, hidrokarbondan ayrılan karbon metal katalizörden katalizörün alt bölgesine yayılır ve substrat ile katalizör arasında birikir. Bu birikim, metal katalizör nanopartiküllerinin bir bütün olarak büyümesini kolaylaştırır. Bununla birlikte, metal parçacık aşırı miktarda karbonla tamamen kaplandığında, büyüme süreci durur. Bu durum uç büyüme olarak adlandırılır (Baker vd., 1972).

Katalizör ve substrat arasında güçlü bir etkileşim olduğunda, karbon metal partiküllerinin yükselmesine neden olmadan doğrudan çökler. Sonuç olarak, karbon metal katalizörün üstünden çökmeye zorlanır ve bu durum da taban büyüme olarak adlandırılır (Baker & Waite, 1975). Şekil 3.7, uç büyüme ve taban büyüme modellerinin şematığını vermektedir.



Şekil 3.7. KNT'ler için iki büyüme modeli diyagramı: (a) uç büyüme modeli ve (b) taban büyüme modeli (Wang, Vinodgopal, Dai, vd., 2019)

4. ÇİNKO OKSİT (ZnO)

ZnO, 3,37 eV'lik doğrudan bant boşluğu ve 60 meV'lik etkileyici derecede büyük eksiton bağlanma enerjisi ile olağanüstü bir yarı iletkenidir. Bu özellikler onu çok çeşitli uygulamalar için son derece uygun hale getirmektedir (Özgür vd., 2005).

ZnO'nun dikkat çekici özellikleri, onu çok sayıda optoelektronik cihazın geliştirilmesi için oldukça cazip kılar. ZnO'nun benzersiz özellikleri kısmen, periyodik tablonun altıncı grubundaki tüm elementler arasında oksijenin en yüksek iyonlaşma enerjisine sahip olmasına bağlanabilir. Bu durum Zn (3d) ve O (2p) orbitalleri arasında güçlü bir etkileşime yol açarak ZnO'nun ayırt edici özelliklerini daha da artırmaktadır (Ellmer vd., 2007).

ZnO, periyodik tabloda II-VI grubuna ait ikili bir bileşik yarı iletkenidir. Tipik olarak üç farklı biçimde kristalleşir: altıgen würtzite, kübik zincblende ve kübik rocksalt. ZnO'nun zincblende yapısı yalnızca kübik substratlar üzerinde büyütülerek stabilize edilebilirken, rocksalt veya Rochelle tuzu yapısı nispeten yüksek basınçlar altında gözlemlenebilir (Morkoç & Özgür, 2009). Nano ölçekte, ZnO ağırlıklı olarak würtzite kristal yapısını benimser ve bu aynı zamanda ortam koşulları altında en yaygın formdur. Özellikle, ZnO'nun würtzite yapısı santrosimetrik değildir ve ters simetrisinden yoksundur. Sonuç olarak, ZnO kristalleri piezoelektrik ve piroelektrik özelliklere sahiptir (Panwar, 2009).

4.1. ZnO'nun Özellikleri

4.1.1. ZnO'nun optik özellikleri

Malzemelerde optik özelliklerin incelenmesi, ışıkla etkileşimlerinin incelenmesini içerir. Yarı iletken malzemeler, elektronik ve titreşim durumlarının yanı sıra kusurların ve safsızlıkların varlığına bağlı olarak, davranışlarının çeşitli yönleri hakkında değerli bilgiler sağlamıştır. Yarı iletkenler hem asal hem de katkılı özellikler sergiler. Asal özellikler, valans bandındaki (VB) delikler ile iletim bandındaki (CB) elektronlar arasındaki etkileşimin yanı sıra Coulomb etkileşimlerinden kaynaklanan uyarıcı etkilerle belirlenir. Öte yandan, katkılı optik özellikler, VB ve CB arasında ayrık elektronik durumlara yol açan yarı iletkene eklenen katkılayıcıların veya kusurların varlığına bağlıdır (Gao vd., 2007).

4.1.2. ZnO'nun manyetik özellikleri

Fiziksel özelliklerini değiştirmek için asal bir yarı iletkene kasıtlı olarak safsızlık eklenmesi katkılama olarak bilinir. Yığın halindeki seyreltilmiş manyetik yarı iletkenler (DMS) üzerine

çok sayıda araştırma çalışması yayınlanmıştır. Ayrıca yarı iletken nanokristallerin katkılanmasına yönelik girişimler de rapor edilmiştir. Şu anda spintronik uygulamaları için çeşitli nanoyapılarda DMS'nin temel özelliklerini keşfetmeye yönelik artan bir ilgi vardır. Bu malzemeler, geçiş veya nadir toprak (RE) iyonlarının yarı iletkenlere katkılanmasıyla oluşturulur. Katkı elementleri, sırasıyla geçiş veya RE iyonlarının kısmen dolu d ve f kabukları nedeniyle eşleşmemiş elektronlara sahiptir. Mn, Cu, Co ve Ni gibi geçiş metalleri ya tam olarak doldurulmamış ya da yarı doldurulmuş (spinleri aşağı ya da yukarı dönük) bir banda sahiptir. Genel olarak, geçiş metal iyonları ana yarı iletkenlerin katyonlarının yerini alır (Sharma vd., 2022).

4.1.3. ZnO'nun elektriksel özellikleri

Oda sıcaklığında, çinko oksit (ZnO) 3,37 eV'lik geniş bir bant boşluğu ve 60 meV'lik yüksek bir eksiton bağlanma enerjisi sergiler. UVA aralığındaki (315-400 nm) önemli ışık Emilimi nedeniyle, ZnO çeşitli uygulamalar için çok uygundur. Metal katyonları şeklinde safsızlıklar ekleyerek, ZnO'nun yapısal, optik ve elektriksel özelliklerini önemli ölçüde değiştirmek mümkün hale gelir. Bu prosedür, ışık yayan diyotlar da dahil olmak üzere çeşitli elektrikli ve elektronik cihazların üretiminde büyük değer taşımaktadır. Yük taşıyıcılarının ve ZnO'nun elektriksel özelliklerinin hassas kontrolü, oksijen boşlukları (V_o) ve çinko arayer atomu (Z_{ni}) gibi doğal nokta kusurlarının manipülasyonu yoluyla elde edilebilir (You, 2015).

4.1.4. ZnO'nun kimyasal özellikleri

Çinko iki oksidasyon durumunda bulunabilir: +1 ve +2, ikincisi daha yaygındır. Bununla birlikte, bulk çinko oksitte üçüncü bir oksidasyon durumu olan +3'ün potansiyel varlığına ilişkin tartışmalar devam etmektedir. Bulk halindeki çinko oksit, nötr koşullar altında suda orta derecede çözünür ve çözünürlüğü yaklaşık -5 mg L^{-1} 'dir. Öte yandan, çinko oksit nanopartiküllerinin nötr pH seviyelerinde suda çözünürlüğünün arttığı tespit edilmiştir. Boyut, kristal yapı ve şekil gibi çeşitli faktörler çinko oksit nanopartiküllerinin çözünme oranlarını etkileyebilir. Çalışmalar, çinko oksit nanopartiküllerinin pH 7.3'te saf suda 718 ila 740 mg L^{-1} arasında değişen çözünürlük değerlerine sahip olabileceğini göstermiştir. Ayrıca, çinko oksitin çözünürlüğü 150 ila 350°C arasında değişen sıcaklıklarda doğrulanmıştır (Reed vd., 2012).

4.2. ZnO Sentezleme Yöntemleri

ZnO nanoyapıların sentez yöntemleri temel olarak buhar fazı ve çözelti fazı sentezi olarak sınıflandırılabilir. ZnO nanoyapıları üretmek için kimyasal buhar biriktirme, hidrotermal

yöntem, radyo frekansı püskürtme, sol-jel yöntemi, buhar yoğunlaştırma yöntemi, sprey piroliz, termokimyasal teknikler, darbeli lazer biriktirme ve diğer teknolojiler dahil olmak üzere çeşitli teknikler kullanılmıştır (Polsongkram vd., 2008).

4.2.1. Hidrotermal yöntem

Hidrotermal yöntem, basit ve çevre dostu bir teknik olmasını sağlayan çeşitli avantajlar sunar. Organik çözücülerin kullanımını veya öğütme ve kalsinasyon gibi ek işlem adımlarını gerektirmez. Sentez, substrat karışımının kademeli olarak 100-300°C sıcaklığa kadar ısıtıldığı ve birkaç saat süreyle bırakıldığı bir otoklav içinde gerçekleşir. Bu ısıtma ve ardından soğutma işlemi sayesinde kristal çekirdekleri oluşur ve bunlar daha sonra büyümeye başlar. Bu yöntem, düşük sıcaklıklarda sentez yapabilme, başlangıç karışımının bileşimine, sıcaklığa ve basınca bağlı olarak farklı şekil ve boyutlarda kristaller üretme, nihai üründe yüksek derecede kristallik elde etme ve yüksek malzeme saflığına ulaşma gibi çok sayıda avantaja sahiptir (Djurisic vd., 2012).

4.2.2. Sol-jel yöntemi

Sol-jel yöntemi, basitliği, maliyet etkinliği, güvenilirliği, tekrarlanabilirliği ve nispeten hafif sentez koşulları altında çalışabilmesi nedeniyle ZnO nano toz üretimi için önemli bir ilgi görmüştür. Bu elverişli özellikler, çinko oksidin belirli organik bileşiklerle yüzey modifikasyonunu mümkün kılarak özelliklerinde değişikliklere yol açmakta ve potansiyel uygulamalarını genişletmektedir (Mahato vd., 2009)

4.2.3. Kimyasal çöktürme yöntemi

Kimyasal çöktürme, tutarlı ve tekrarlanabilir özelliklere sahip çinko oksit elde etmek için sıklıkla kullanılan bir tekniktir. Bu yöntem, oluşan partiküllerin boyutunu kontrol etmek için uygun bir indirgeyici madde kullanılarak bir çinko tuzu çözeltisinin indirgenmesini içerir. Daha sonra, ZnO öncüsü çözeltiden çöktürülür, ardından safsızlıkları gidermek için ısıl işlem ve öğütme yapılır. Sıcaklık, pH ve çöktürme süresi gibi faktörler, çökeltme derecesinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar (Kołodziejczak-Radzimska & Jesionowski, 2014).



5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. ZnO'nun KNT Substratı Üzerine Hidrotermal Yöntemle Büyütülmesi

Bu kısımda, deney aşamaları ve parametreleri ve karakterizasyon teknikleri ile ilgili bilgi verilecektir.

Başka bir çalışma grubundan alınan KNT substratın üzerine ZnO'nun hidrotermal yöntemle büyütülmesinin deney aşamalarına aşağıda yer verilmiştir;

- KNT substratı cımbız yardımıyla teflon kabın içerisine dikkatli bir şekilde yerleştirildi.
- $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ (çinko nitrat tetrahidrat) 0,6 g olacak şekilde hassas tartıda ölçüldü ve beherin içine konuldu.
- 50 ml deiyonize su behere ilave edildi.
- %20 NH_3 çözeltisi kullanılarak çözeltinin pH değeri yaklaşık 7,5'e ayarlandı.
- Beherin içindeki çözelti dikkatli bir biçimde teflon kabın içerisine döküldü ve teflon kabın kapağı kapatıldı.
- Teflon kap otoklavın içine yerleştirildi.
- Otoklav 150°C 'deki etüve 24 saatliğine bırakıldı.
- 24 saat sonunda otoklav etüvden çıkarılıp kendi kendine soğumaya bırakıldı.
- Otoklav soğuduktan sonra çeker ocakta teflon kabın içinde atık sıvı atık bölümüne alındı.
- KNT/ZnO cımbızla dikkatli bir şekilde teflon kabın içerisinden çıkarıldı ve kurutuldu.

5.2. Karakterizasyon Teknikleri

5.2.1. X ışınları kırınımı yöntemi (XRD)

Elektromanyetik radyasyonun bir formu olan X ışınları, görünür ışıkla aynı temel doğayı paylaşır, ancak önemli ölçüde daha kısa dalga boylarına sahiptir. X ışını bölgesinde ölçü birimi angströmdür (Å). Kırınım deneylerinde kullanılan X ışınları tipik olarak 0,5 ila 2,5 Å arasında değişen dalga boylarına sahipken, görünür ışık 6000 Å mertebesinde bir dalga boyuna sahiptir. X ışınlarının oluşumu, yeterli kinetik enerjiye sahip yüklü bir parçacık hızlı bir yavaşlamaya maruz kaldığında gerçekleşir (Cullity & Stock, 2001).

Kırınım, özünde, gelen radyasyonun çeşitli yönlerde emildiği ve yeniden yayıldığı bir saçılma olgusudur. Saçılma, dalgalar kabaca dalga boyuna eşdeğer bir tekrarlamaya mesafesine sahip düzenli bir yapıyla karşılaştığında meydana gelir. Saçılan dalgalar daha sonra birbirleriyle etkileşime girer. Dalgalar aynı fazda ise yapıcı girişim gerçekleşirken, dalgalar 180° faz dışı olduğunda yıkıcı girişim meydana gelir. Sonuç olarak, x ışınlarının dalga boyu bir kristaldeki atomik düzlemler arasındaki aralıkla karşılaştırılabilirse, x ışınları kristal tarafından kolayca kırılabilir. Bu, kristallerdeki atomların düzenine ilişkin değerli bilgilerin elde edilmesini sağlar (Suryanarayana & Norton, 1998).

5.2.2. Termogravimetrik analiz (TGA)

Termal gravimetrik analiz, bir numunenin ağırlığının veya kütlesinin numune sıcaklığı veya zamanının bir fonksiyonu olarak ölçüldüğü deneysel bir tekniktir. Diferansiyel Termogravimetri (DTG), TGA eğrisinin türevidir ve ağırlık kaybı oranını gösterir. Bu yöntem öncelikle malzemelerin termal kararlılığını ve bileşimsel özelliklerini değerlendirmek için kullanılır. TGA deneylerinde gözlemlenen ağırlık değişimleri, yüksek sıcaklıklarda farklı kimyasal ve fiziksel bağların oluşmasına veya ayrılmasına bağlanır. TGA cihazı, tipik olarak ısıtma sırasında gözlemlenen su kaybı, çözücü buharlaşması, plastikleştirici giderimi, dekarboksilasyon, piroliz, oksidasyon ve ayrışma gibi çeşitli olayları ölçebilir (ancak bazı deneyler soğutma sırasında da bilgi sağlayabilir). ZnO nanopartiküllerini analiz etme ve değerli bilgiler sağlama kabiliyeti nedeniyle TGA bu alanda önemli bir yere sahiptir (Gabbott, 2008).

5.2.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Taramalı Elektron Mikroskobu, numunelerin mikroyapısal morfolojisini ve kimyasal bileşimini nanometre ölçeğinde incelemek için çok sayıda endüstri ve laboratuvarında kullanılan oldukça yaygın bir tekniktir. SEM, yüksek enerjili elektronlardan oluşan odaklanmış bir ışın demeti kullanarak katı numunelerin yüzeyinde bir dizi sinyal üretir. Elektronlar ve numune arasındaki etkileşimlerden kaynaklanan bu sinyaller, numunenin dış morfolojisi, kimyasal bileşimi, kristal yapısı ve bileşen malzemelerinin oryantasyonu hakkında değerli bilgiler sağlar (Zhou & Wang, 2007).

5.2.4. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi, diğer uygulamaların yanı sıra çeşitli nanomalzemelerde bulunan fonksiyonel grupları ayırt etmek için kullanılan değerli bir tekniktir. Moleküllerin ve kristal yapıların titreşim frekansları da dahil olmak üzere yapısal

özelliklerin karakterize edilmesini sağlar. FTIR, kızılötesi ışığın moleküllerle nasıl etkileşime girdiğinin analizini içerir. İşlem sırasında, numune tarafından emilen kızılötesi ışığın dalga boyu ve yoğunluğu ölçülür. Frekansın bir fonksiyonu olarak kaydedilen sonuçtaki emilim, numunede bulunan titreşimler hakkında değerli bilgiler sağlar (Baraton, 2001).

5.2.5. Enerji dağılım x ışını spektrometresi (EDX)

Enerji dağılım x ışını spektrometresi, malzemelerin kimyasal karakterizasyonu ve element analizi amacıyla kullanılan güçlü bir analitik tekniktir. Bu teknikte nanopartiküller, genellikle SEM'de bulunan bir enerji dağılım x ışını spektrofotometresi kullanılarak aktivasyon yoluyla analiz edilir. Tek tek ayrılan nanopartiküller, nanopartiküllerin karakterizasyonuna engel olmayan uygun bir substrat üzerinde biriktirilir. EDX'in temel prensibi, elektron ışını aracılığıyla bir numuneden X ışınlarının üretilmesidir. X ışınları, numunede bulunan elementlerin özelliklerine ve doğasına göre üretilir. Dolayısıyla, bu teknik yayılan X ışınlarının enerjisini ölçmek için de kullanılabilir (Raval vd., 2019).

5.2.6. Raman spektroskopisi

Raman spektroskopisi, moleküler titreşimlerin ölçülmesi için kullanılan bir spektroskopi yöntemidir. Raman saçılması, bir numune üzerine gelen fotonların numune içindeki titreşen moleküllerle etkileşime girdikten sonra rastlantısal olmayan bir şekilde saçıldığı bir olgudur (Shipp vd., 2017). Raman haritaları, numunenin ayrı noktalarında kaydedilen spektrumlardan oluşturulan görüntülerdir. Analiz noktasının bir fonksiyonu olarak herhangi bir uygun parametrenin (bir bandın yoğunluğu, genişliği veya konumu gibi) değişimini gösterirler (Gouadec & Colombari, 2007).

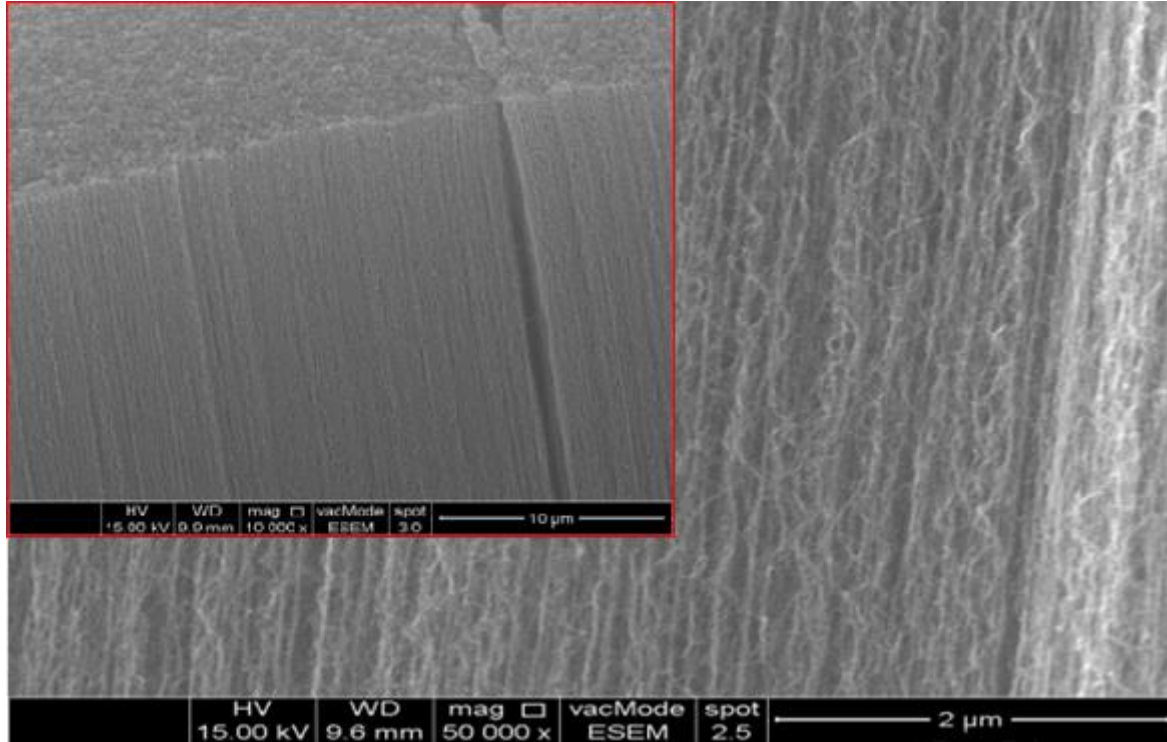


6. BULGULAR

Bu kısımda, KNT'lerin ve hidrotermal işlem sonucunda elde edilen KNT/ZnO nanotellerin morfolojik ve optoelektronik özelliklerine değinilecektir.

6.1. KNT'lerin Karakterizasyonu

6.1.1. SEM analizi

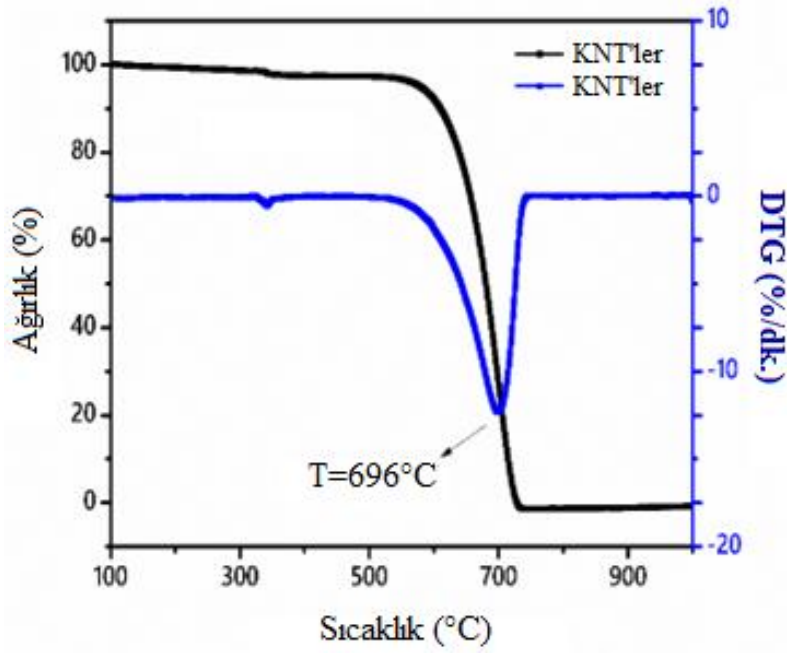


Şekil 6.1. KNT'lerin yan kesit ve üstten SEM görüntüleri

Şekil 6.1'de KNT'lerin SEM görüntüleri verilmiştir. Görüntülerden KNT'lerin dikey olarak düzgün bir şekilde hizalandıkları görülmektedir. KNT yüzeylerinin görüntüsü, çapta homojenliği ve tutarlılığı göstermektedir.

6.1.2. TGA/DTG analizi

Şekil 6.2'de, KNT'lerin TGA ve DTG eğrileri gösterilmektedir.



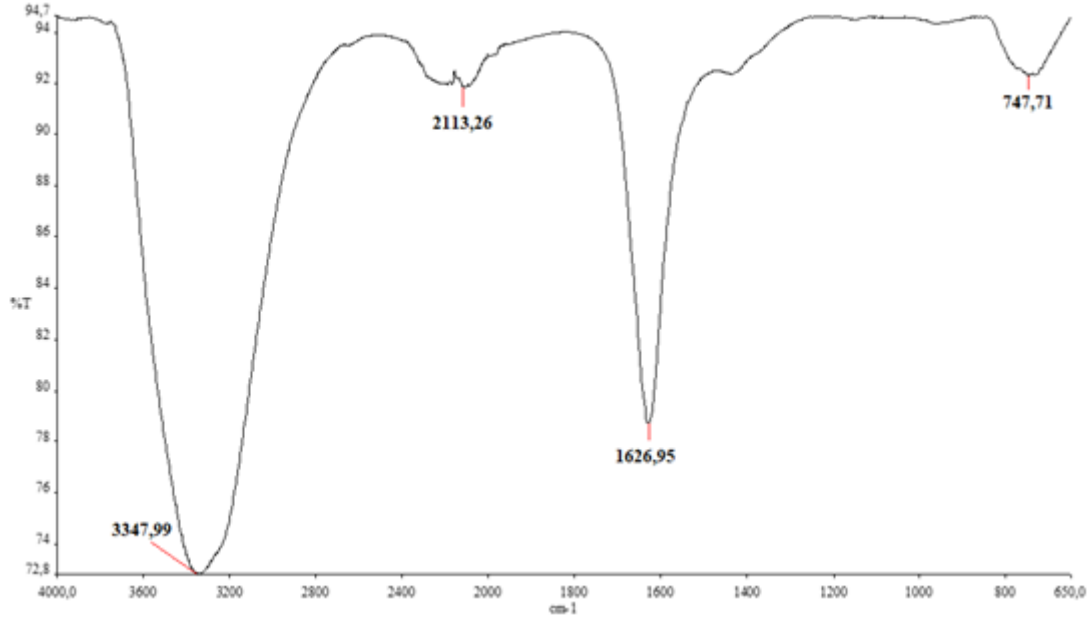
Şekil 6.2. KNT'lerin TGA/DTG analizi

Düzgün hizalanmış KNT'ler göz ardı edilebilir ağırlık kaybı ile yaklaşık 500°C'ye kadar termal kararlılık göstermektedir. Termal ayrışmanın başlangıcını gösteren 696°C civarında önemli bir ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Bu sıcaklık, TGA eğrisinde keskin bir düşüş ve DTG eğrisinde buna karşılık gelen bir pik noktası ile belirlenmiştir. 800°C'ye gelindiğinde ağırlık neredeyse sıfıra düşmüştür, bu da KNT'lerin neredeyse tamamen ayrıştığını göstermektedir.

6.1.3. FTIR analizi

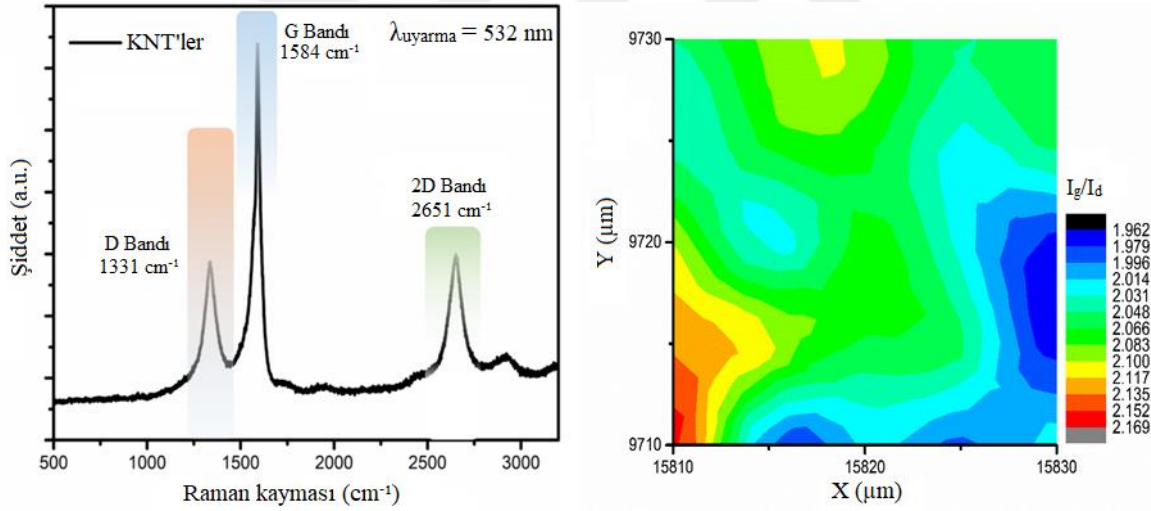
Şekil 6.3'de verilen KNT'nin FTIR sonucuna göre;

- 3347,99 cm^{-1} piki tipik olarak O-H gerilme titreşimi ile ilişkilidir. KNT'lerin yüzeyinde hidroksil gruplarının veya adsorbe edilmiş su moleküllerinin varlığına işaret eder (Stuart, 2005).
- 2113,26 cm^{-1} piki, $\text{C}\equiv\text{C}$ gerilme titreşimlerinin varlığını gösterebilir. KNT'ler bağlamında, sentez veya işleme sırasında ortaya çıkan kusurlar veya fonksiyonel gruplarla ilgili olabilir (Stuart, 2005).
- 1626,95 cm^{-1} piki, genellikle KNT'lerin grafitik yapısının göstergesi olan aromatik halkalardaki $\text{C}=\text{C}$ gerilme titreşimlerine dayandırılır (Stuart, 2005).
- 747,71 cm^{-1} piki, KNT yapısındaki aromatik halkaların varlığıyla da tutarlı olan aromatik C-H bağlarının düzlem dışı eğilme kipine karşılık gelebilir (Stuart, 2005).



Şekil 6.3. KNT'lerin FTIR analizi

6.1.4. Raman spektroskopisi



Şekil 6.4. KNT'lerin raman spektrumu ve haritası

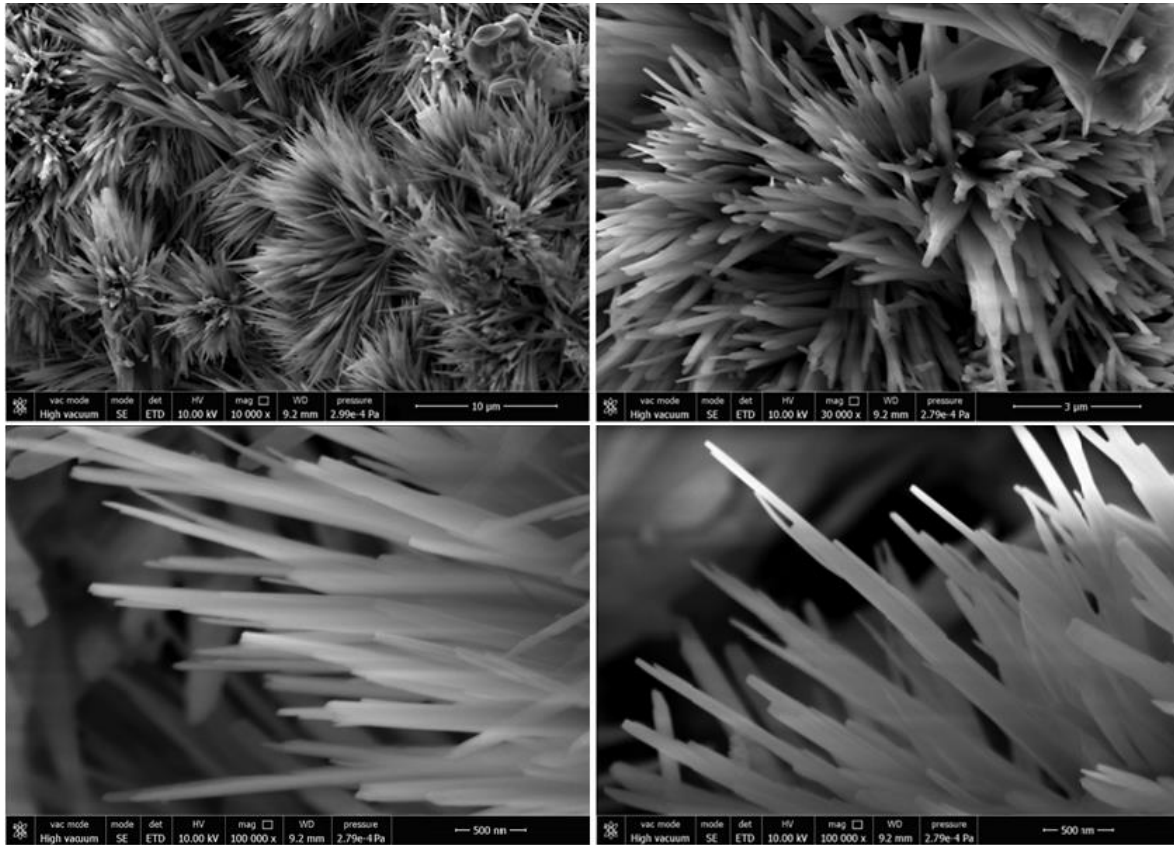
Şekil 6.4'e göre;

- KNT'lerin Raman spektrumu incelendiğinde, 1331 cm⁻¹'de D bandı, 1584 cm⁻¹'de G bandı ve 2651 cm⁻¹'de 2D bandı olmak üzere üç belirgin pik sergilendiği görülmektedir.
- G bandı piki, sp²-bağlı karbon atomlarının varlığını gösterirken, D bandı piki karbon kafesindeki kusurların varlığına işaret eder.
- 2D bandı piki, KNT'ler içindeki grafen katmanlarının yığılma düzeni hakkında bilgi sağlar.

- Raman spektrumunun haritalama görüntüsü, ~1,962 ila ~2,169 arasında değişen değerlerle I_G/I_D oranının uzamsal dağılımını gösterir.
- Daha yüksek I_G/I_D oranlarına sahip bölgeler (mavi/yeşil alanlar) daha yüksek kristal kalitesine ve daha az kusura sahip olduğunu göstermektedir.
- Daha düşük I_G/I_D oranlarına sahip bölgeler (kırmızı alanlar) daha yüksek kusur yoğunluğuna karşılık gelmektedir.

6.2. KNT/ZnO Nanotellerin Karakterizasyonu

6.2.1. SEM analizi

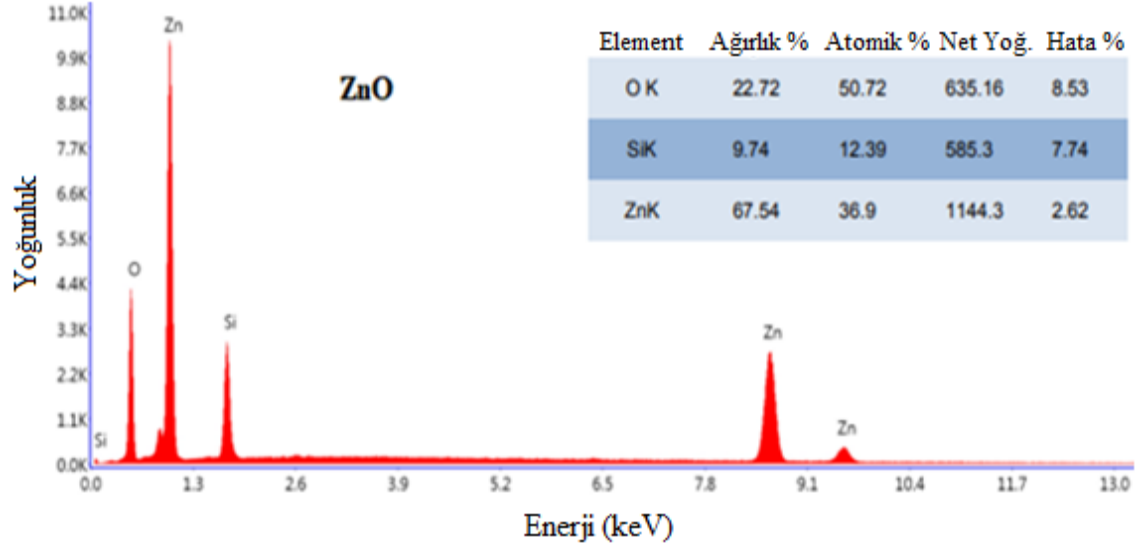


Şekil 6.5. Hidrotermal yöntem ile KNT substrat üzerine büyütülen nanotellerin SEM görüntüleri

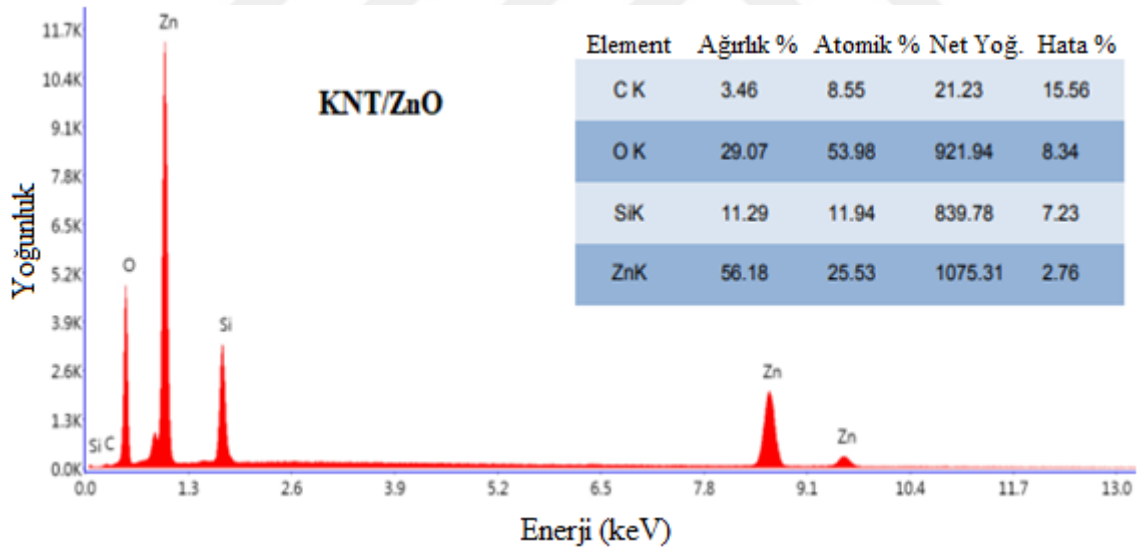
Şekil 6.5’de KNT substrat üzerine hidrotermal yöntemle büyütülen ZnO nanotellerin SEM görüntüleri verilmiştir. Bu görüntülerden de anlaşılacağı üzere, nanoteller düzgün bir şekilde dağılmış ve iyi hizalanmıştır. Nanoteller iğne benzeri, keskin uçlu ve sivri bir yapıya sahiptir. Nanoteller yoğun bir şekilde bir aradadır, bu da yüksek yüzey alanına ihtiyaç duyulan uygulamalar için çok uygundur. Yapılar boyut olarak tutarlı görünmektedir. Nanotellerin

yaklaşık 20-50 nm çapında, 5-10 µm uzunluğunda olduğu saptanmıştır. SEM sonuçları, ZnO nanotellerin KNT substrat üzerinde başarılı bir şekilde büyütüldüklerini göstermektedir.

6.2.2. EDX analizi



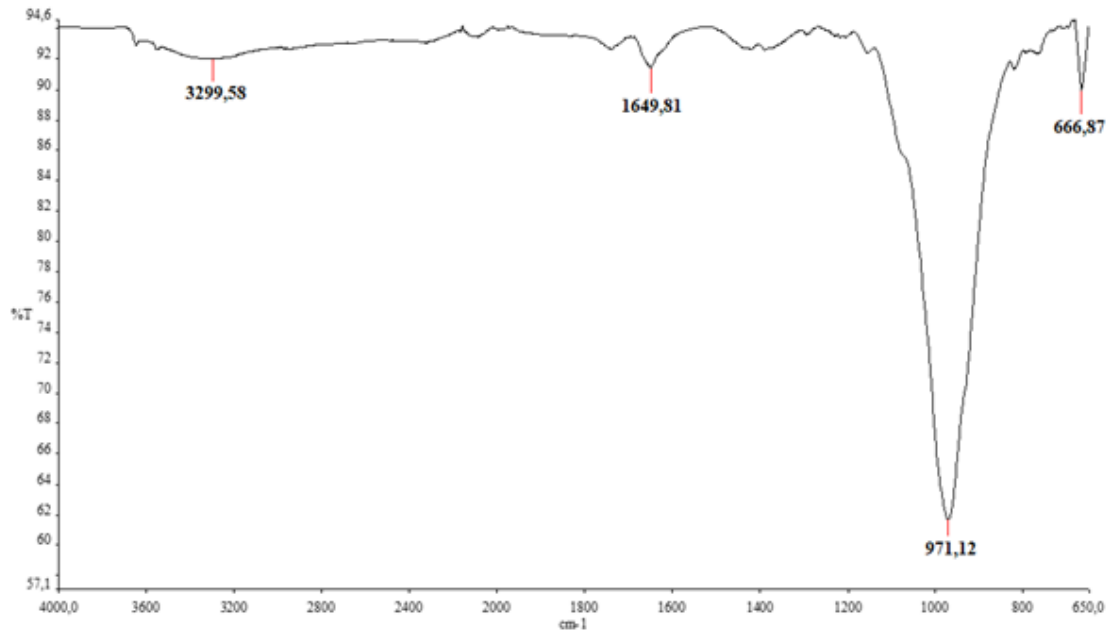
Şekil 6.6. ZnO'nun EDX analizi



Şekil 6.7. KNT/ZnO'nun EDX analizi

Şekil 6.6'da ZnO'nun, Şekil 6.7'de ise KNT/ZnO'nun EDX sonuçları verilmiştir. ZnO'nun EDX spektrumu, çinko (Zn) ve oksijene (O) karşılık gelen belirgin pikler göstererek ZnO'nun varlığını doğrulamaktadır. KNT/ZnO'nun EDX spektrumu karbon (C), çinko (Zn) ve oksijen (O) için pikler göstermektedir. Saf ZnO ve KNT/ZnO spektrumları karşılaştırıldığında, ilave karbon pikleri ve Zn ve O pik yoğunluklarındaki olası değişiklikler başarılı bir birleşmeye işaret etmektedir.

6.2.3. FTIR analizi



Şekil 6.8. KNT/ZnO'nun FTIR analizi

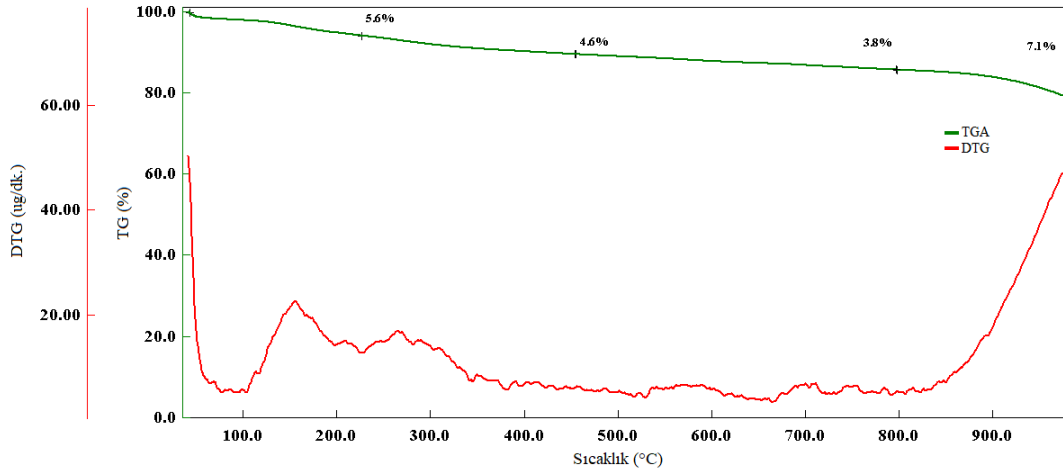
Şekil 6.8'de verilen KNT/ZnO'nun FTIR sonucuna göre;

- 3299,58 cm⁻¹ piki, KNT'deki 3347,99 cm⁻¹ pikine benzer, bu pik O-H gerilme titreşimlerini göstermektedir. Hafif kayma hidroksil grupları ve ZnO partikülleri arasındaki etkileşimlerden kaynaklanıyor olabilir (Stuart, 2005).
- 1649,81 cm⁻¹ piki, karboksil gruplarının varlığını gösterebilecek C=O gerilme titreşimleri ile ilişkilidir. Ayrıca, ZnO'nun hidrofilik yapısı dikkate alındığında, adsorbe edilmiş su molekülleriyle de ilişkili olabilir (Stuart, 2005).
- 971,12 cm⁻¹ piki, ZnO nanopartiküllerinin varlığına işaret eden Zn-O bağlarının karakteristik titreşimlerine bağlanabilir (Stuart, 2005).
- 666,87 cm⁻¹ piki Zn-O bükülme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. ZnO'nun KNT substratı üzerinde büyütüldüğünün göstergesi, KNT örneğinde bulunmayan bu karakteristik pikler ile doğrulanmaktadır (Stuart, 2005).

Her iki numunedeki O-H gerilme pikleri hidroksil gruplarının varlığına işaret etmektedir, ancak ZnO ile etkileşimleri nedeniyle KNT/ZnO'da hafifçe kaymışlardır. Alkin (C≡C) ve aromatik (C=C) titreşimlerin varlığı grafitik yapı ve KNT'deki olası kusurlar veya fonksiyonel gruplarla tutarlıdır. Ek olarak 971,12 cm⁻¹ ve 666,87 cm⁻¹'deki pikler Zn-O bağ titreşimlerinin karakteristiği olduğundan ZnO'nun varlığını doğrulamaktadır.

6.2.4. TGA/DTG analizi

Kontrollü bir sıcaklık programı altında, bir maddenin sıcaklığının ağırlığına bağlı olarak ölçülmesine dayanan bir tekniktir. Bu termal özellikler, KNT/ZnO nanoyapıların yüksek sıcaklık ortamlarındaki kararlılığını ve potansiyel uygulamalarını anlamak için çok önemlidir. Şekil 6.9, KNT/ZnO nanoyapılarının TGA ve DTG eğrilerini göstermektedir.



Şekil 6.9. KNT/ZnO'nun TGA/DTG analizi

TGA analizine göre;

- (~0 - 100°C) civarında yaklaşık %5,6'lık önemli bir ağırlık kaybı gözlemlenmiştir. Bu ilk ağırlık kaybı, adsorbe edilen suyun ve muhtemelen KNT/ZnO nanoyapıların yüzeyindeki uçucu organik bileşiklerin (VOC) buharlaşmasına bağlanabilir (Brown, 1988).
- (~100 - 400°C) aralığında yaklaşık %4,6'lık kademeli bir ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Bu aşama, daha sıkı bağlı su moleküllerinin uzaklaştırılmasına ve KNT'lere bağlı organik fonksiyonel grupların olası ayrışmasına karşılık gelmektedir (Brown, 1988).
- (~400 - 800°C) civarında yaklaşık %3,8'lik bir ağırlık kaybı görülmüştür. Bu bölge, daha kararlı karbonlu malzemelerin veya herhangi bir kalıntı organik maddenin ayrışmasını içerebilir. Ayrıca KNT'lerin oksidasyonunu da gösterebilir (Brown, 1988).
- (~800 - 1000°C) aralığında nihai ağırlık kaybı yaklaşık %7,1'dir. KNT'lerin tamamen oksidasyonu nedeniyle yüksek sıcaklıklarda önemli bozulma meydana gelir. Bu yüksek sıcaklık bölgesi aynı zamanda ZnO'nun diğer formlara dönüşmesini veya buharlaşmasını da içerebilir (Brown, 1988).

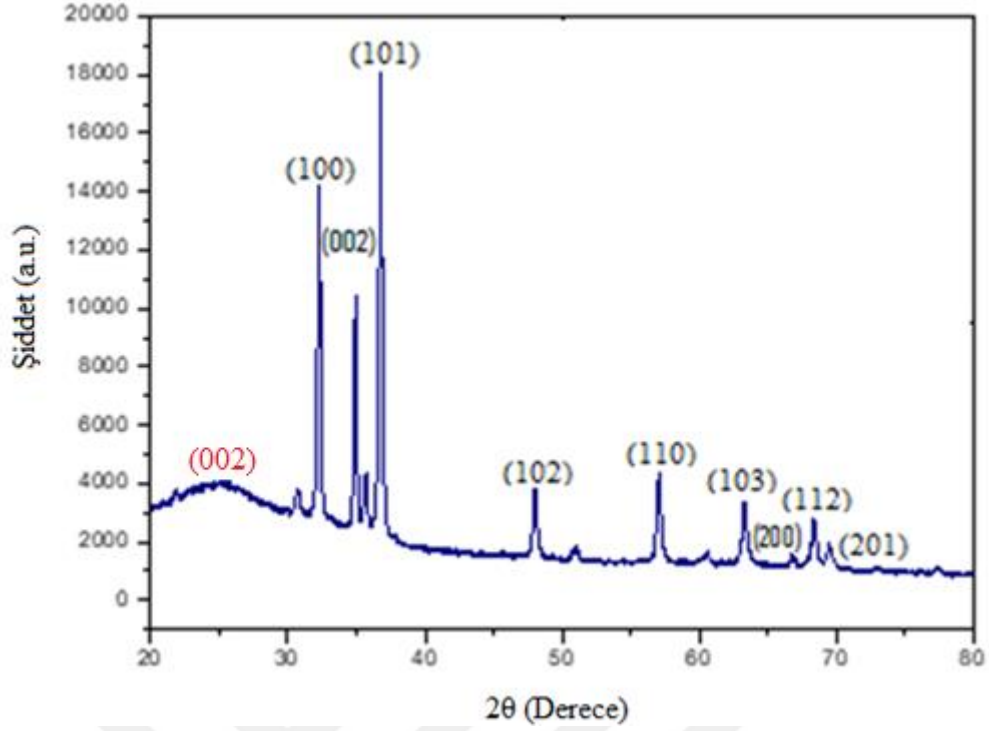
DTG analizine göre;

- 50°C civarında ani bir ağırlık kaybına işaret eden keskin bir pik gözlemlenmiştir. Bu pik, TGA eğrisi tarafından doğrulandığı üzere, zayıf bağlı su ve VOC'lerin buharlaşmasına karşılık gelmektedir (Brown, 1988).
- 250°C civarında geniş bir pik, orta hızda bir ağırlık kaybına işaret eder. Bu TGA analizinde belirtildiği gibi organik fonksiyonel grupların veya daha sıkı bağlı su moleküllerinin ayrışmasından kaynaklanmaktadır (Brown, 1988).
- (~400 - 600°C) aralığında, sürekli hâldeki ağırlık kaybını gösteren birkaç küçük pik gözlemlenmiştir. Bu pikler, kararlı karbonlu malzemelerin kademeli olarak ayrışmasına ve KNT'lerin oksidasyonuna denk gelmektedir (Brown, 1988).
- 900°C civarında, ani ağırlık kaybını gösteren önemli bir pik gözlemlenmiştir. Bu pik, KNT'lerin tamamen oksidasyonu ve ZnO bileşenindeki olası değişikliklerle ilişkilidir (Brown, 1988).

TGA ve DTG eğrileri birlikte KNT/ZnO nanoyapılarının termal kararlılığı ve ayrışma davranışı hakkında kapsamlı bir anlayış sağlamaktadır. İlk ağırlık kaybı su ve VOC'lerin buharlaşmasından kaynaklanmaktadır. Orta sıcaklıklardaki kademeli ağırlık kaybı, organik fonksiyonel grupların ayrışması ve KNT'lerin oksidasyonundan kaynaklanmaktadır. Yüksek sıcaklıklardaki önemli ağırlık kaybı, KNT'lerin tamamen oksidasyonunu ve ZnO'daki potansiyel değişiklikleri gösterir.

6.2.5. XRD analizi

Şekil 6.10, KNT/ZnO'nun XRD sonucunu göstermektedir.



Şekil 6.10. KNT/ZnO'nun XRD analizi

- $2\theta = 25,47^\circ$ 'de gözlemlenen ve kırmızı renkle belirtilen pik, KNT'lerin (002) düzlemine karşılık gelir ve grafitik karbon yapılarının varlığına işaret eder.
- $32,31^\circ$, $35,05^\circ$, $36,81^\circ$, $48,14^\circ$, $57,13^\circ$, $63,39^\circ$, $66,71^\circ$, $68,27^\circ$ ve $69,45^\circ$ 2θ değerlerindeki kırınım pikleri sırasıyla ZnO'nun (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112) ve (201) düzlemlerine karşılık gelmektedir. Bu pikler ZnO'nun hexagonal würtzite yapısının varlığını doğrulamaktadır.
- Kırınım piklerinin literatür ile (JCPDS No. 41-1487 ve JCPDS No. 36-1451) uyumlu olduğu belirlenmiştir.
- KNT/ZnO'daki ZnO için ortalama kristal boyutu Scherrer formülü ile hesaplanmıştır ve yaklaşık 25-30 nm olduğu tespit edilmiştir.



7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, hidrotermal yöntem kullanılarak ZnO'nun KNT üzerine başarıyla sentezlenmesi sağlanmıştır ve KNT'lerin yüzeyine başarıyla büyütüldüğü ve homojen bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. SEM, EDX, FTIR, TGA/DTG ve XRD teknikleri kullanılarak KNT/ZnO karakterize edilmiştir. KNT/ZnO nanoyapılarının SEM görüntüleri, nanoteknoloji ve malzeme bilimindeki uygulamalar için istenilen özellikleri sergilemektedir. Nanotellerin yüksek yoğunluğu, keskin uçları ve homojenliği sentez sürecinin iyi kontrol edildiğini göstermektedir. EDX analizi, elementel bileşimi doğrulamıştır. FTIR spektrumları, ZnO ve KNT'lerle ilişkili fonksiyonel grupların varlığını gösterirken, TGA/DTG, elde edilen nanoyapıların termal stabilitesinin arttığını göstermiştir. XRD analizi ZnO'nun würtzite yapıda olduğunu ve KNT'lerin ve ZnO'nun yapısal bütünlüklerini bozmadan başarılı bir şekilde bir araya getirildiğini doğrulamıştır. Ayrıca, üretilen yapıların gelişmiş kristal yapı özellikleri sergilediği gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, KNT tabanlı ZnO nanotellerin yeni nesil fotovoltaik hücrelerin üretiminde temel malzeme olarak kullanılabileceğini göstermektedir. ZnO nanotellerin yüksek elektron hareketliliği ve geniş optik bant aralığı, onları güneş pillerinde etkili bir taşıyıcı tabakası olarak kullanmak için ideal hâle getirmektedir. Ayrıca, KNT'lerin esnek ve iletken yapısı, bu tür yapıların esnek güneş pillerinde kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Bu özellikler, enerji dönüşüm verimliliğini artırmak ve daha verimli güneş hücreleri geliştirmek için önemli bir potansiyele işaret etmektedir. Bu bağlamda, KNT tabanlı ZnO nanotellerin entegrasyonu, enerji sistemi uygulamalarında çok önemli bir yapı taşı olarak düşünülebilir. Özellikle bu yapıların güneş hücrelerinin temel bileşenleri olarak kullanılması, daha yüksek verimli ve dayanıklı güneş enerjisi sistemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunacaktır. Bu çalışmanın bulguları, KNT tabanlı ZnO nanotellerin ileri düzey enerji uygulamalarında kullanım potansiyelini ortaya koysa da bu alanda daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Gelecekteki çalışmalar, bu nanotellerin farklı katkılama elementleriyle modifikasyonuna, heteroyapıların tasarımına ve bunların cihaz performansı üzerindeki etkilerine odaklanabilir. Bu çalışma, karbon nanotüp tabanlı ZnO nanotellerin başarıyla üretimini ve karakterizasyonunu gerçekleştirmiştir.



KAYNAKLAR

- Abid, N., Khan, A. M., Shujait, S., Chaudhary, K., Ikram, M., Imran, M., Haider, J., Khan, M., Khan, Q., & Maqbool, M. (2022). Synthesis of nanomaterials using various top-down and bottom-up approaches, influencing factors, advantages, and disadvantages: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 300, 102597.
- Akçin Önel, N. (2011). *Paladyum esaslı nanokatalizörlerle suda çözünmüş kloroformun uzaklaştırılması* [Yayınlanmış doktora tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Ateş, H., & Bahçeci, E. (2015). NANO MALZEMELER İÇİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 3(2), 483-499.
- Baker, R. T. K., Barber, M. A., Harris, P. S., Feates, F. S., & Waite, R. J. (1972). Nucleation and growth of carbon deposits from the nickel catalyzed decomposition of acetylene. *Journal of Catalysis*, 26(1), 51-62.
- Baker, R. T. K., & Waite, R. J. (1975). Formation of carbonaceous deposits from the platinum-iron catalyzed decomposition of acetylene. *Journal of Catalysis*, 37(1), 101-105.
- Baraton, M. I. (2001). FTIR Spectrometry as a Quality Control Method for Surface Engineering of Nanomaterials. *MRS Online Proceedings Library*, 636(1), 811.
- Brown, M. E. (1988). *Introduction to Thermal Analysis*. Springer Netherlands.
- Brukh, R., & Mitra, S. (2006). Mechanism of carbon nanotube growth by CVD. *Chemical Physics Letters*, 424(1), 126-132.
- Chen, J., Wei, S., & Xie, H. (2021). A Brief Introduction of Carbon Nanotubes: History, Synthesis, and Properties. *Journal of Physics: Conference Series*, 1948(1), 012184.
- Christian, P., Von Der Kammer, F., Baalousha, M., & Hofmann, Th. (2008). Nanoparticles: Structure, properties, preparation and behaviour in environmental media. *Ecotoxicology*, 17(5), 326-343.
- Cullity, B. D., & Stock, S. R. (2001). *Elements of X-ray Diffraction, Third Edition*. Prentice-Hall.
- Djurisic, A. B., Chen, X. Y., & Leung, Y. H. (2012). Recent progress in hydrothermal synthesis of zinc oxide nanomaterials. *Recent Patents on Nanotechnology*, 6(2), 124-134.
- Eatemadi, A., Daraee, H., Karimkhanloo, H., Kouhi, M., Zarghami, N., Akbarzadeh, A., Abasi, M., Hanifehpour, Y., & Joo, S. W. (2014). Carbon nanotubes: Properties, synthesis, purification, and medical applications. *Nanoscale Research Letters*, 9(1), 393.
- Ellmer, K., Klein, A., & Rech, B. (2007). *Transparent Conductive Zinc Oxide: Basics and Applications in Thin Film Solar Cells*. Springer Science & Business Media.
- Feynman, R. P. (1959). There's Plenty of Room at the Bottom. *Engineering and Science*, 23, Article 5.
- Gabbott, P. (Ed.). (2008). *Principles and applications of thermal analysis*. Blackwell Pub.

- Gao, P. X., Song, J., Liu, J., & Wang, Z. L. (2007). Nanowire Piezoelectric Nanogenerators on Plastic Substrates as Flexible Power Sources for Nanodevices. *Advanced Materials*, 19(1), 67-72.
- Gouadec, G., & Colombari, P. (2007). Raman Spectroscopy of nanomaterials: How spectra relate to disorder, particle size and mechanical properties. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, 53(1), 1-56.
- Guo, T., Nikolaev, P., Rinzler, A. G., Tomanek, D., Colbert, D. T., & Smalley, R. E. (1995). Self-Assembly of Tubular Fullerenes. *The Journal of Physical Chemistry*, 99(27), 10694-10697.
- Harris, P. J. F. (1999). *Carbon nanotubes and related structures: New materials for the twenty-first century*. New York : Cambridge University Press.
- Ibrahim, K. S. (2013). Carbon nanotubes-properties and applications: A review. *Carbon Letters*, 14(3), 131-144.
- Iijima, S. (1991). Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*, 354(6348), 56-58.
- Iijima, S., & Ichihashi, T. (1993). Single-shell carbon nanotubes of 1-nm diameter. *Nature*, 363(6430), 603-605.
- Iqbal, P., Preece, J. A., & Mendes, P. M. (2012). Nanotechnology: The “Top-Down” and “Bottom-Up” Approaches. İçinde P. A. Gale & J. W. Steed (Ed.), *Supramolecular Chemistry* (1. bs). Wiley.
- Kołodziejczak-Radzimska, A., & Jesionowski, T. (2014). Zinc Oxide—From Synthesis to Application: A Review. *Materials*, 7(4), 2833-2881.
- Kroto, H. W., Heath, J. R., O'Brien, S. C., Curl, R. F., & Smalley, R. E. (1985). C₆₀: Buckminsterfullerene. *Nature*, 318(6042), 162-163.
- Kumar Jagadeesan, A., Thangavelu, K., & Dhananjeyan, V. (2020). Carbon Nanotubes: Synthesis, Properties and Applications. İçinde P. Pham, P. Goel, S. Kumar, & K. Yadav (Ed.), *21st Century Surface Science—A Handbook*. IntechOpen.
- Kumar, M. (2011). Carbon Nanotube Synthesis and Growth Mechanism. İçinde S. Yellampalli (Ed.), *Carbon Nanotubes—Synthesis, Characterization, Applications*. InTech.
- Mahato, T. H., Prasad, G. K., Singh, B., Acharya, J., Srivastava, A. R., & Vijayaraghavan, R. (2009). Nanocrystalline zinc oxide for the decontamination of sarin. *Journal of Hazardous Materials*, 165(1-3), 928-932.
- Mintmire, J. W., Dunlap, B. I., & White, C. T. (1992). Are fullerene tubules metallic? *Physical Review Letters*, 68(5), 631-634.
- Morkoç, H., & Özgür, Ü. (2009). General Properties of ZnO. İçinde *Zinc Oxide: Fundamentals, Materials and Device Technology* (ss. 1-76).

- Özgür, Ü., Alivov, Ya. I., Liu, C., Teke, A., Reshchikov, M. A., Doğan, S., Avrutin, V., Cho, S.-J., & Morkoç, H. (2005). A comprehensive review of ZnO materials and devices. *Journal of Applied Physics*, 98(4), 041301.
- Panwar, R. (2009). *Preparation of modified ZnO nanoparticles by sol-gel process and their characterization*.
- Paramasivam, G., Palem, V. V., Sundaram, T., Sundaram, V., Kishore, S. C., & Bellucci, S. (2021). Nanomaterials: Synthesis and Applications in Theranostics. *Nanomaterials*, 11(12), 3228.
- Polsongkram, D., Chamninok, P., Pukird, S., Chow, L., Lupan, O., Chai, G., Khallaf, H., Park, S., & Schulte, A. (2008). Effect of synthesis conditions on the growth of ZnO nanorods via hydrothermal method. *Physica B: Condensed Matter*, 403(19), 3713-3717.
- Popov, V. (2004). Carbon nanotubes: Properties and application. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 43(3), 61-102.
- Rathinavel, S., Priyadharshini, K., & Panda, D. (2021). A review on carbon nanotube: An overview of synthesis, properties, functionalization, characterization, and the application. *Materials Science and Engineering: B*, 268, 115095.
- Raval, N., Maheshwari, R., Kalyane, D., Youngren-Ortiz, S. R., Chougule, M. B., & Tekade, R. K. (2019). Chapter 10—Importance of Physicochemical Characterization of Nanoparticles in Pharmaceutical Product Development. İçinde R. K. Tekade (Ed.), *Basic Fundamentals of Drug Delivery* (ss. 369-400). Academic Press.
- Reed, R. B., Ladner, D. A., Higgins, C. P., Westerhoff, P., & Ranville, J. F. (2012). Solubility of nano-zinc oxide in environmentally and biologically important matrices. *Environmental toxicology and chemistry / SETAC*, 31(1), 93-99.
- Shah, K. A., & Tali, B. A. (2016). Synthesis of carbon nanotubes by catalytic chemical vapour deposition: A review on carbon sources, catalysts and substrates. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 41, 67-82.
- Sharma, D., Shukla, S., Sharma, K., & Kumar, V. (2022). A review on ZnO: Fundamental properties and applications. *Materials Today: Proceedings*, 49, 3028-3035.
- Shipp, D. W., Sinjab, F., & Notingher, I. (2017). Raman spectroscopy: Techniques and applications in the life sciences. *Advances in Optics and Photonics*, 9(2), 315-428.
- Stuart, B. (2005). Infrared Spectroscopy. İçinde *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Suryanarayana, C., & Norton, M. G. (1998). *X-Ray Diffraction*. Springer US.
- Szabó, A., Perri, C., Csató, A., Giordano, G., Vuono, D., & Nagy, J. B. (2010). Synthesis Methods of Carbon Nanotubes and Related Materials. *Materials*, 3(5), 3092-3140.
- Taniguchi, N. (1974). On the Basic Concept of “Nano-Technology”. *Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, Part II*, 1974.

- Wang, X.-D., Vinodgopal, K., & Dai, G.-P. (2019). Synthesis of Carbon Nanotubes by Catalytic Chemical Vapor Deposition. H. E.-D. Saleh & S. M. M. El-Sheikh (Ed.), *Perspective of Carbon Nanotubes*. IntechOpen.
- You, H. C. (2015). Transistor Characteristics of Zinc Oxide Active Layers at Various Zinc Acetate Dihydrate Solution Concentrations of Zinc Oxide Thin-film. *Journal of Applied Research and Technology*, 13(2), 291-296.
- Yuca, N. (2017). *Karbon Nanotüplerin  esitli Y ntemlerle Saflaştırılması* [Yayımlanmış yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Zhou, W., & Wang, Z. L. (Ed.). (2007). *Scanning Microscopy for Nanotechnology*. Springer.



ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini Bursa’da tamamladı. 2015 yılında girdiği Kırklareli Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünden 2019 yılında mezun oldu. Hâlihazırda Yalova Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde Lisansüstü eğitime devam etmektedir.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

Durmaz, M., ve Kılıç, B. (2024, Mayıs). *Karbon Nanotip Tabanlı ZnO Nanoyapıların Üretilmesi*, 2nd International Conference On Engineering And Mathematics, Bursa, Türkiye

