

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI**



**ORGANOMODİFİYE ÇOK DUVARLI KARBON NANOTÜPLERİN
SENTEZİ VE HİDROJEN DEPOLAMADA KULLANIMI**

FULYA KESTEL KARAMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BALIKESİR, TEMMUZ - 2021

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI**



**ORGANOMODİFİYE ÇOK DUVARLI KARBON NANOTÜPLERİN
SENTEZİ VE HİDROJEN DEPOLAMADA KULLANIMI**

FULYA KESTEL KARAMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Ümit ÇAKIR (Tez Danışmanı)

Prof.Dr. Mehmet DOĞAN (Eş Danışmanı)

Prof.Dr. Halil İbrahim UĞRAŞ

Prof.Dr. Baki ÇİÇEK

BALIKESİR, TEMMUZ - 2021

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda **Organomodifiye Çok Duvarlı Karbon Nanotüplerin Sentezi ve Hidrojen Depolamada Kullanımı** başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım esere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

FULYA KESTEL KARAMAN

Bu tez çalışması, Bilimsel Araştırma Projeler Birimi tarafından Proje Numarası: BAP 2017/048 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

**ORGANOMODİFİYE ÇOK DUVARLI KARBON NANOTÜPLERİN SENTEZİ VE
HİDROJEN DEPOLAMADA KULLANIMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
FULYA KESTEL KARAMAN
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ÜMİT ÇAKIR)
(EŞ DANIŞMAN: PROF. DR. MEHMET DOĞAN)
BALIKESİR, TEMMUZ - 2021**

Bu çalışmada çok duvarlı karbon nanotüplerin (ÇDKNT' ler) Hidroksil ve Schiff bazı ile modifikasyon işlemi, karakterizasyonu ve H₂ depolanması incelenmiştir. Örnekler, Brunauer – Emmett – Teller, taramalı elektron mikroskobu, Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi ve termogravimetrik analiz kullanılarak analiz edildi. H₂'nin adsorpsiyonu Hiden IMI PSI cihazı kullanılarak 77°K'da farklı basınçlarda volumetrik yöntemle H₂ gaz depolama ölçümü yapıldı. ÇDKNT'nin yüzey alanı modifikasyon işlemi ile azaldı, ancak ÇDKNT-O-Schiff baz-M komplekslerinin yüzey alanları genellikle arttı. Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, modifiye edilmiş numunelerin hidrofilik özelliklerindeki artış nedeniyle, ÇDKNT' lerin birbirinden ayrıldığını ve morfolojinin değiştiğini gösterdi. Fourier dönüşümü kızılötesi analizine göre yapılar üzerinde fonksiyonel gruplar oluşturulmuştur. ÇDKNT termal olarak kararlı iken, modifikasyon işlemi yapılmış örnekler üç adımda bozulmuştur. Modifikasyon işlemi yapılmış ÇDKNT'lerin, ÇDKNT'den daha yüksek hidrojen depolama kapasitesine sahip olduğu bulundu. ÇDKNT, ÇDKNT-OH ve ÇDKNT-O-Schiff bazının hidrojen depolama kapasitesinin kriyojenik sıcaklıkta 10 barda ağırlıkça %0.281, 0.321 ve %0.37 olduğu bulundu. ÇDKNT-O-Schiff baz-M komplekslerinin hidrojen depolama kapasiteleri ağırlıkça %0.101-0.396 aralığında değişmiştir. ÇDKNT-O-Schiff baz-Cu kompleksinin en yüksek hidrojen depolama kapasitesine sahip olduğu görüldü.

ANAHTAR KELİMELELER: ÇDKNT, işlevselleştirme, modifiye işlemi, Schiff bazı, karakterizasyon, hidrojen depolama

ABSTRACT

SYNTHESIS OF ORGANOMODIFIED MULTI-WALLED CARBON NANOTUBES AND USAGE IN HYDROGEN STORAGE

MSC THESIS

FULYA KESTEL KARAMAN

BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CHEMISTRY

(SUPERVISOR: PROF. DR. UMİT ÇAKIR)

(CO-SUPERVISOR: PROF. DR. MEHMET DOĞAN)

BALIKESİR, JULY 2021

The hydroxyl and Schiff base functionalization, characterization, and H₂ storage of multi walled carbon nanotubes (MWCNTs) have been investigated in the present work. The samples were analyzed using Brunauer–Emmett–Teller, scanning electron microscopy, Fourier transform infrared spectroscopy, and thermogravimetric analysis. The adsorption of H₂ gas was performed by volumetric method in different pressures at 77 K using the Hiden IMI PSI instrument. The surface area of MWCNT decreased with functionalization, but the surface areas of MWCNT-O-Schiff base-M complexes generally increased. Scanning electron images showed that due to the increase in hydrophilic properties of modified samples, MWCNTs were separated from each other and morphology changed. According to the Fourier transform infrared analysis, functional groups were formed on the structures. While MWCNT was thermally stable, the functionalized samples degraded in three steps. Functionalized MWCNTs were higher hydrogen storage capacity than MWCNT. It was found that the hydrogen storage capacity of MWCNT, MWCNT-OH and MWCNT-O-Schiff base were 0.281, 0.321 and 0.37 wt% at 10 bar, respectively at cryogenic temperature. The hydrogen storage capacities of MWCNT-O-Schiff base-M complexes varied in the range of 0.101-0.396 wt%. MWCNT-O-Schiff base-Cu had the highest hydrogen storage capacity.

KEYWORDS: MWCNT, functionalization, Schiff base, characterization, hydrogen storage

Science Code / Codes: 20112,20114, 20116

Page Number: 68

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL ve KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Enerji Kaynakları	3
1.1.1 Hirojenin Enerjisi	5
1.2 Hidrojenin Depolanması	7
1.3 Karbon Nanotüpler ve Hidrojen Depolanması.....	8
1.3.1 Karbon Nanotüp.....	8
1.3.2 Karbon Nanotüplere ve Hidrojen Depolanması.....	10
1.4 Adsorpsiyon	11
1.4.1 Fiziksel Adsorpsiyon.....	12
1.4.2 Kimyasal Adsorpsiyon.....	12
1.4.3 Değişim Adsorpsiyon.....	12
1.5 Karakterizasyon Yöntemleri	13
1.5.1 DTA/TG	13
1.5.2 FTIR	13
1.5.3 SEM	13
1.6 Literatürde Yapılan Çalışmalar	14
2. MATERYAL ve METHOD	18
2.1 Materyal	18
2.2 Karakterizasyon.....	18
2.2.1 BET Analizi	19
2.2.2 SEM Analizi.....	20
2.2.3 FTIR Analizleri	21
2.2.4 Termal Analiz.....	22
2.2.5 Hidrojen Depolama Analizi	23
2.3 Deneysel Çalışmalar.....	24
2.3.1 Çok Duvarlı Karbon Nanotüp Yüzeyinin Hidroksillenmesi (ÇDKNT-OH)	26
2.3.2 SALİSİLALDEHİT SCHİFF BAZ SENTEZİ [(EtO)3Si-L1-H].....	26
2.3.3 Çok Duvarlı Karbon Nanotüp Salisilaldehit Schiff Baz Modifikasyonu.....	27
3. BULGULAR	28
3.1 FTIR	28
3.2 Termal Analiz.....	30
3.3 BET Analizi	31
3.4 SEM Analizi (Taramalı Elektron Mikroskobu)	31
3.5 Hidrojen Depolama	32
3.6 SONUÇ VE ÖNERİLER	43

3.6.1 BET Analizi	43
3.6.2 SEM	43
3.6.3 FTIR	45
3.6.4 Termal Analiz.....	46
3.6.5 Hidrojen Depolama	49
3.7 Sonuçlar.....	54
4. KAYNAKLAR	56
EKLER	64
EK A: Deney Sırasından Bazı Görseller	65
ÖZGEÇMİŞ	68

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Enerji kaynakları.....	2
Şekil 1.2: Yenilenemez enerji kaynakları	4
Şekil 1.3: Yenilenebilir enerji	4
Şekil 1.4: TDKNT Modellemesi	9
Şekil 2.1: BET Cihazı	19
Şekil 2.2: SEM Cihazı.....	20
Şekil 2.3: FTIR Cihazı	21
Şekil 2.4: DTA / TG Cihazı	22
Şekil 2.5: Hidrojen Gaz Analizör Cihazı	23
Şekil 2.6: Genel sentez reaksiyonu	25
Şekil 2.7: ÇDKNT'nin hidroksilasyon reaksiyonu.....	26
Şekil 2.8: N- (trietoksisililpropil) salisilaldiminin sentezi	26
Şekil 2.9: ÇDKNT-O-Schiff Bazı sentezi.....	27
Şekil 3.1: FTIR Grafikleri	29
Şekil 4.1: a. ÇDKNT, b ÇDKNT-OH, c. ÇDKNT-O-Schiff Baz ve d. ÇDKNT-O- Schiff Baz-Cu	44
Şekil 4.2: FTIR ÇDKNT ve modifiye eldimiş ÇDKNT'lerin spektrumları	46
Şekil 4.3: TG termogramları a. ÇDKNT, ÇDKNT-OH ve ÇDKNT-O-Schiff ve b. ÇDKNT-O-Schiff baz-M kompleksleri	48
Şekil 4.4: a'nın hidrojen depolama kapasiteleri. ÇDKNT, ÇDKNT-OH ve ÇDKNT-O-Schiff tabanı ve b. ÇDKNT-O-Schiff baz-M kompleksleri	50
Şekil 4.5: ÇDKNT'nin hidrojen depolama kapasiteleri ve 10 bar'da modifiye işlemi yapılmış ÇDKNT numuneleri	52

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Eneri Kaynakları.....	3
Tablo 3.1: Numunelerin TG termogramlarından hesaplanan verileri	30
Tablo 3.2: Numunelerin BET yüzey alanları.....	31
Tablo 3.3: ÇDKNT kriyojenik sıcaklık Hidrojen depolama verileri.....	32
Tablo 3.4: ÇDKNT-OH Kriyojenik Sıcaklık Hidrojen Depolama Verileri.....	34
Tablo 3.5: ÇDKNT- Salisaldehit Kriyojenik Sıcaklık Hidrojen Depolama Verileri	35
Tablo 3.6: ÇDKNT- Salisaldehit- Cu Kriyojenik Sıcaklık Hidrojen Depolama Verileri	36
Tablo 3.7: ÇDKNT-Salisaldehit- Co Kriyojenik Sıcaklık Hidrojen Depolama Verileri....	37
Tablo 3.8: ÇDKNT-Salisaldehit- Mn Kriyojenik Sıcaklık Hidrojen Depolama Verileri...38	
Tablo 3.9: ÇDKNT-Salisaldehit- Ni Kriyojenik Sıcaklık Hidrojen Depolama Verileri	39
Tablo 3.10: ÇDKNT-Salisaldehit- Pb Kriyojenik Sıcaklık Hidrojen Depolama Verileri ..	40
Tablo 3.11: ÇDKNT-Salisaldehit- Sn Kriyojenik Sıcaklık Hidrojen Depolama Verileri ..	41
Tablo 3.12: ÇDKNT-Salisaldehit- Pd Kriyojenik Sıcaklık Hidrojen Depolama Verileri ..	42
Tablo 4.1: Bazı karbon nano malzemelerin hidrojen depolama kapasiteleri.....	53

SEMBOL ve KISALTMALAR LİSTESİ

APTES	: 3-trietoksi aminopropilsilan
BET	: Yüzey Ölçüm Cihazı
ÇDKNT	: Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
(EtO)3Si-L1-H	: N- (trietoksisililpropil) salisilaldiminin
EV	: Elektron Volt
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
İDKNT	: Çift Duvarlı Karbon Nanotüp
KNT	: Karbon Nanotüp
M⁺	: Metal Katyonu
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TDKNT	: Tek Duvarlı Karbon Nanotüp
TGA	: Termogravimetrik Analiz
TLC	: İnce Tabaka Kromatografisi

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Organik Kimya Anabilim Dalı öğretim üyesi Prof. Dr. Ümit ÇAKIR yönetiminde, Fen Edebiyat Fakültesi Organik Kimya Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple yüksek lisans çalışmasının hazırlanması ve yürütülmesi esnasında, her zaman desteğini esirgemeyen, değerli bilgileri ve önerilerinden yararlandığım ve her konuda yakın ilgi ve yardımlarını gördüğüm değerli danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Ümit Çakır'a saygı ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca çalışmalarım ve tez yazım sürecinde desteklerini ve ilgisini esirgenemeyen Eş Danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet Doğan ve ölçüm sonuçlarımda yardımlarını esirgemeyen Dr. Zeynep Bicil'e saygı ve şükranlarımı sunarım.

Hayatta her şeyin mümkün olduğunu asla pes etmemem gerektiğini öğreten kıymetli hocam merhum Sayın Yar. Doç. Dr. Erol Asker'i anmadan ve düşünmeden geçemem. Onun ışığı ve onun öğretileri hem akademik hem de mesleki hayatıma yön verdi. Bundan sonraki akademik eğitim hayatımı yine onun izinden gitmeyi ona borç bilirim.

Eğitim-Öğrenim hayatım boyunca üzerimde emeği olan başta ailem olmak üzere tüm kıymetli öğretmenlerime, desteğini esirgemeyen saygıdeğer büyüklerime teşekkür ederim. Canım dostum Figen Özdemir zorlu yüksek lisans sürecimde yanımda olduğun, her türlü destek olduğun ve moral depom olduğun için ayrıca teşekkür etmek istedim. Son olarak anlayışlı ve hep destekçim olan değerli eşim Hüseyin Karaman'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bahkesir, 2021

FULYA KESTEL KARAMAN

1. GİRİŞ

Enerji; evrenin başlangıcından sonsuzluğa düzenli bir döngü içerisinde; yıkımdan oluşuma, üretimden tüketime maddeler arasında aktarılan bir sistemdir. Enerji ve evren mutlak bir dönüşümdür birbirinden ayrı düşünülemez. Kozmos kümesinin bir elemanı olan dünya ve üzerinde yaşayan tüm canlıların varlıkların faaliyetlerini sürdürmek için enerjiye ihtiyaçları vardır.

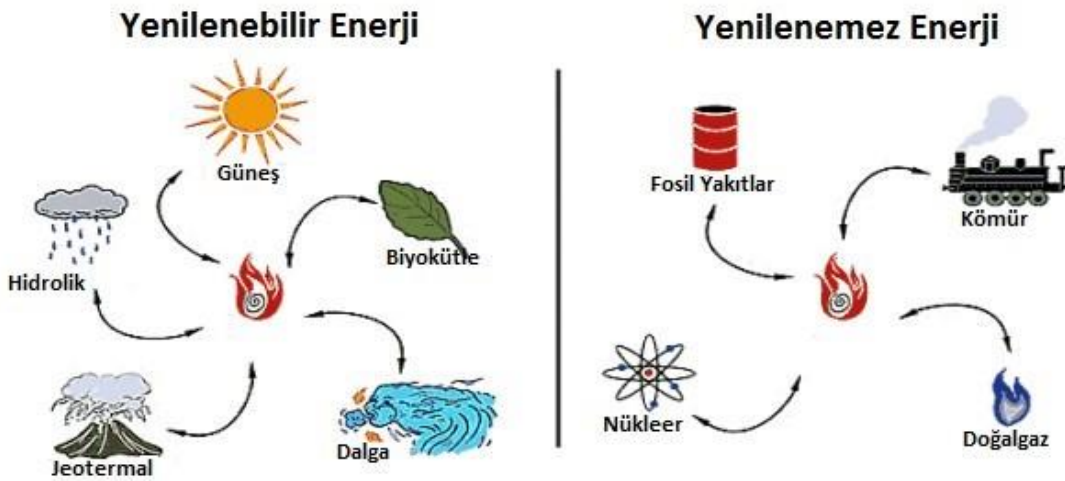
İnsan anne karnında ilk oluşumundan başlayarak annesini bir pil gibi kullanır. Tüm sistemlerini oluşturduktan sonra doğumuyla birlikte bağımsız enerjisini yaratabilmek için besinleri ve suyu kullanır. İnsan bedeni besin kaynaklarından aldığı enerjisini uyku fazında kendini yenileme ve ilk etapla hızla büyüyüp gelişebilmek için kullanır. Yetişkinliğine ulaşana kadar öncelikli hedefi sistemini geliştirmektir. Yetişkinlikten yaşlılığa kadar hedef gelişmekten ziyade sisteminin bütünlüğünü korumak ve hayatta kalma üzerinedir.

İnsan dünya üzerinde var olduğu ilk andan itibaren yaşamsal ihtiyaçlarını karşılamak adına birtakım icatlar yapmıştır. Bu icatlar başlangıçta avlanmak, korunmak gibi amaçlara hizmet etmek için olsa da tarıma geçişle birlikte kas gücü merkezli pratik gereçlere dönüşmüştür. Düzenli hayatın ve toplumsal yaşamın beraberinde getirdiği ihtiyaçları gidermek için üretim başlı başına kas gücü merkezli olmuştur. Tarihte geçmiş dönemlere bakıldığında toplumsal yapı; krallıklar ve derebeyleri yönetiminde, toplumların üretim gücü kölelerin kas gücüne dayanmadığı görülmektedir. Değişen ve gelişen dünyada yönetim yapılarının değişmesi ve nüfusun artmasıyla birlikte toplumsal yaşamda yeni ihtiyaçlar meydana gelmiş ve tüketim çeşitliliği de artmıştır. Sınırlı kaynakların sınırsız insan ihtiyaçlarını karşılayabilmek için üretim temelindeki kas gücü yetersiz kalmıştır. İlk defa 18.yy. da İngiltere'de dokuma fabrikasından seri üretim için buharlı makineler kullanılmıştır. Makinaların işleyebilmesi için enerji kaynağı olarak kömür kullanılmıştır. O günün şartlarında en kolay ve pratik olarak elde olan kömür Avrupa'da pek çok fabrikada üretim enerjisi olarak ön plana çıkmıştır.

1951 yılında altı ülkenin katılımıyla 'Avrupa Kömür ve Çelik Topluluğu' kurulmuştur. Topluluk daha sonra Avrupa Birliği adını almıştır. Topluluğun ilk kuruluş amacı Avrupa'nın en büyük enerji kaynağı olan kömürün adil kullanılması içindi. Daha sonraları üretim enerjisi olan kömürün yer altından yer üstüne taşınmasında insan gücü kullanılması, kömürün insan ve çevre sağlığına olan olumsuz etkileri ve ebetteki kömürün sınırlı ve tükenebilir bir kaynak olması sebebiyle yeni enerji kaynakları arayışına girilmiştir [1-2].

Enerji eldesi farklı kaynaklardan sağlanabilmektedir. Bu kaynaklar genel olarak yenilenebilen ve yenilenemeyen enerji kaynakları olarak gruplandırılabilir. Yenilenemeyen enerji kaynakları fosil yakıtlardan elde edilen enerji ve nükleer enerji iken yenilenebilen enerji kaynakları; Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, Hidroelektrik enerjisi, Dalga Enerjisi, gelgit (met-cezir) enerjisi, biyokütle enerjisi, hidrojen enerjisi şeklinde bir çok farklı şekilde elde edilir.

Enerji Kaynakları ve Çeşitleri



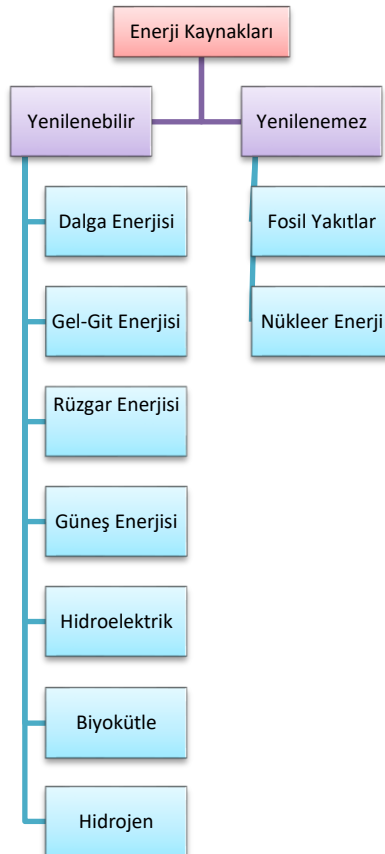
Şekil 1.1: Enerji kaynakları [3]

Bilim insanları Güneşi incelendiğinde yüksek oranda Hidrojen tespit etmişlerdir. Buradan yola çıkarak milyonlarca yıldır sistemimizin yıldızı olan Güneş'in oluşumunda bulunan Hidrojen daha bir merak konusu olmuştur. Bu alanda Hidrojen araştırılmış ve yakıt olarak kullanımı konusunda farklı çalışmalar yapılmıştır.

1.1 Enerji Kaynakları

En genel şekilde tanım yapmak gerekirse enerji; iş yapabilme yeteneğidir. Enerji eldesi farklı kaynaklardan sağlanabilmektedir. Bu kaynaklar genel olarak yenilenebilen ve yenilemeyen enerji kaynakları olarak gruplandırılabilir. Yenilenemeyen enerji kaynakları fosil yakıtlardan elde edilen enerji, nükleer enerji; yenilenebilen enerji kaynakları, Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, Hidroelektrik enerjisi, Dalga Enerjisi, gel-git (met-cezir) enerjisi, biyokütle enerjisi şeklinde bir çok farklı şekilde elde edilir.

Tablo 1.1: Enerji Kaynakları



Yenilenebilir enerji; dünyada döngüde olan enerji dönüşümünden yararlanarak kazanılan enerji biçimidir. Yenilenemeyen enerji ise dünya üzerinde bulunan farklı bileşiklerin ya da maddelerin yanma enerjilerinden yararlanılarak kazanılan enerji biçimidir.

Ülkelerin gelişmişlik düzeyi göz önüne alındığı zaman yoğun kullanılan enerji kaynağı yenilenemeyen enerji olan fosil yakıtlardır. Fosil yakıtların doğaları gereği ve yoğun kullanımı da göz önüne alındığında çevreye verdiği zarar çok yükündür. Bir noktada çevre zararı dönülemez, göz ardı edilemez noktaya gelmiştir. Bu sebeple alternatif enerji arayışına girilmiştir. Sürdürülebilir enerji çevre duyarlılığı ve üretimin daha verimli devamlılığını sağlamaktadır



Şekil 1.2: Yenilenemez enerji kaynakları (4)

Her alanda hızla küreselleşen ve değişen dünyamızda enerjinin devamlılığı, yeni nesillere yaşanabilir bir hayat bırakma hedefi bilim insanlarını daha da yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir.



Şekil 1.3: Yenilenebilir enerji [5]

Yenilenebilir enerjiyi bir örnek üzerinden açıklayacak olursak, rüzgardan faydalanmak için rüzgar gülleri gibi bazı araç ve cihazlar geliştirilmiştir. Rüzgar enerjisi Güneşten gelen enerjinin çok küçük bir kısmını (yaklaşık %2) rüzgara dönüşmesi ile elde edilir. Bu sayede hem çevre sorunlarına hem de enerji sorunlarına daha kalıcı çözüm önerisi getirmeyi amaçlamaktadırlar [6]. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında son yıllarda en çok dikkat çekenlerden birisi de Hidrojen enerjisidir.

1.1.1 Hidrojen Enerjisi

Hidrojen enerjisi; doğada serbest ya da bileşikleri halinde bulunan hidrojenin işlenmesi ve dönüştürülmesi ile oluşan enerji kaynağına denir.

Hidrojen enerjisi birçok açıdan ele alındığında dikkat çekiciliği ortaya çıkmaktadır. Hidrojen enerjisini daha iyi anlamak için öncelikle hidrojeni element olarak incelendiğinde ilk dikkat çeken özellikleri renksiz, kokusuz, havadan yaklaşık olarak 14-15 kat daha hafif olmasıdır. Hidrojeni element olarak değil de yakıt olarak bakacak olursak, birçok gaza göre nispeten daha zehirsizdir. Bu da hidrojen enerjisini diğer enerji kaynaklarından ön plana çıkaran özelliklerinden biridir. Bir diğer özelliği ise kolay ve çeşitli şekilde elde edildiği için neredeyse sınırsız denilebilecek kaynağa sahip olmasıdır.

Bu özellikler göz önüne alındığında hidrojen elementini yakıt olarak kullanmak üzere düşünülürse birçok teknik vardır. Bu tekniklerden öne çıkan ve en çok kullanılan yöntemler; doğal gaz olarak bilinen etan, propan ve bütan karışımından buhar reformasyonu ile ayrılarak elde edilmesi. Buhar reformasyonu tekniği ile elde edilen hidrojen yakıtı içten yanmalı motorlarda kullanıldığında diğer yakıtlara göre hem daha yüksek performans gösterir hem de ekonomik olarak daha avantajlıdır. Hidrojenin diğer enerji kaynaklarına göre önemini vurgulamak gerekirse; verimlilik testleri incelendiğinde fosil yakıtlara göre %39 daha fazla verimlidir. Hidrojen elementinin yakıt olarak da kullanılabilme özelliğinin keşfedilmesiyle birlikte 1900'lü yıllardan bu yana motorlarda kullanım çalışmaları başlamıştır. Günümüzde de bu çalışmalar daha fazla önem taşımaktadır ve gelişerek devam etmektedir [7-9]. Hidrojenin eldesi için

en yaygın kullanılan yöntemler; Bosch Metodu, Doğal gaz buhar reformasyon, Petrol reformasyonu, suyun elektrolitik bozundurulması, suyun termokimyasal bozundurulması vs.

Enerjinin elde edilmesi kadar depolanarak saklanması da önemli bir konudur. Elektrik enerjisini depolamak, saklamak için nasıl akü, powerbank gibi teknolojik cihazlar kullanıyorsa; hidrojeni kullanmak için saklarken de farklı depolama yöntemleri mevcuttur. Saklama yöntemlerinin çeşitliliği kadar çevreye olumsuz etkileri minimum düzeydedir. Dikkat çekici özelliklerinden biride yakıt hücresinde yakıt olarak kullanıldığında elde edilen son ürünün su olmasıdır. Hidrojen enerjisinin avantajların yanında dezavantajlarını da ele alıp maddeler halinde incelersek:

- ✓ Hidrojen element olarak bol miktarda bulunmasına karşın, enerji üretiminde kullanılan hidrojenin gaz halinde olması ve %100'e yakın saflık içermesi gerekir. Burada ki en büyük sorun mali açıdan hidrojenin yakıt hücrelerinin içten yanmalı motorlara göre on kat pahalı olmasıdır.
- ✓ Yakıt olarak hidrojen gazının kullanılması durumunda karşımıza çıkabilecek bir diğer zorluğu bir örnek üstünden tanımlayacak olursak; araç yakıtı olarak hidrojen gazı kullanan bir kişi yakıt almak istediği takdirde bulunma ihtimali oldukça düşüktür, yüksek maliyetli ve ekstra ekipman gerektirmektedir.
- ✓ Kullanılan petrol türevli yakıtlara göre dört kat daha fazla hacim kaplar. Bu nedenle yüksek hacimli tankların kullanılması gerekir.

Karşılaşılan ve karşılaşılabilecek bazı zorluklar yukarıda ki gibi olsa da yine de hidrojen enerjisi üzerinde çalışmalar yapılarak geliştirilmesi ve derinlemesine incelenmesi gereken bir konudur. Çünkü yenilenebilir enerji kaynakları her ne kadar çok alternatifleri olsa da kullanılması ve ülkemiz açısından yaygınlaştırılması yetersizdir. Bu sebepten dolayı fosil yakıtların tüketimine devam edilerek çevre kirliliği artmaya devam etmektedir. Sera gazının salınımının artması küresel ısınmanın geri döndürülemeyecek olan kritik sıcaklığa hızla ulaşmasına yaklaştırmaktadır [10-12].

Hidrojen enerjisini öne çıkaran bir başka konuda, günlük hayatta en çok gereksinim duyulan elektrik enerjisine ulaşmak için yüksek bedeller ödenmesidir. Ödenen bu bedeller neticesinde enerji piyasasında ciddi dalgalanmalar yaşanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları her ne kadar bu durum için alternatif olsa da yine de küresel enerji ihtiyacını karşılamakta yetersiz kalıyor. Bu gibi sebeplerden dolayı hidrojenle ilgili çalışmalar daha da hızlandırılmak suretiyle yapılmalı ve daha temiz bir enerjiye geçilip kullanılmalıdır. Ancak bu enerjiye geçiş kadar saklanması da oldukça önemlidir. Hidrojen enerjisinin depolanması ve saklanmasıyla ilgili çeşitli yöntemler mevcuttur.

1.2 Hidrojenin Depolanması

Hidrojen elementini katı, sıvı ya da gaz fazında depolanabilir. Gaz ya da sıvı fazda depolanmak istendiği takdirde tanklarda depolanmalıdır. Depolama yapılacak olan tankların bazı gerekli niteliklere sahip olması gerekmektedir. Tankın standart olarak sahip olması gereken özellik çift cidarlı vakumlu tank olmalı ve etkin depolama 150 atmosfer basınç ya da yüksek basınç değerine getirilmelidir [13].

Hidrojeni katı halde depolanması için, bileşikleri halinde olması ya da katı adsorbanlar üzerine tutturma işlemi yapılarak depolanabilir. Katı halde depolanmada kullanılacak iki farklı yöntem bulunmaktadır. İlk olarak kimyasal olarak hidrürleri halinde depolama işlemi. Bu depolama şeklinde katı fazda metal ya da sodyum bor bileşikleriyle yaptığı kimyasal bağlar ile depolanabilir. Kimyasal olarak depolanan hidrojen geri kazanmak; kovalent bağ ile oluşan kimyasal bağların kırılmasıyla kullanılır. Bu bağlar kırıldıktan sonra geri kazanılamaz. Bir diğer yöntem silika jel yüzeyine veya karbon nanotüp yüzeyine fiziksel olarak tutturularak depolanabilirler. Bu depolama işleminde ise adsorben yüzeyine Van Der Waalse etkileşimleriyle bağlandığı için geri kazanma ve adsorbanın yeniden kullanılması mümkündür [14-15]. Hidrojen enerjisinin depolanmasında güvenlik ve hafiflik önemlidir. Bu etkenler göz önüne alındığında katı fazda depolama yöntemi ön plana çıkarmaktadır. Bu bağlamda bakıldığında kimyasal depolama metodlarından en sık kullanılan ve en öne çıkan, metal hidrürleri hidrojen depolanmasında kullanılmasıdır. Bunların kendine özgü farklı kullanım alanları vardır. En dikkat çekici özelliği reaksiyonların tersinir olarak

gerçekleşerek reaksiyon ısısının, ısıtma-soğutma sistemlerinde uygulamalarıdır. Uygulama aşamasında reaktörde ısı sıcaklık aşaması önem kazanır [16]. Kullanımda olan bu güvenilir yöntem karşın bilim insanları araştırmalara devam etmiştir. Çalışmalar sonucunda öncelikle silika jel yüzeyi modifiye edilip adsorben olarak kullanılmıştır. Silika jelin ilk olarak tercih edilme sebebi yüzey modifikasyonunda yüzeyinde şişme gözlemlenmez ve organik destek yüzey modifikasyonundan daha kolaydır. Tüm bu cazip özelliklere rağmen keşfedilecek yeni özellikler için çalışmaların karbon nanotüpe doğru ilerlemesine engel olamamıştır. Çalışmaların devamının neticesinde karbon nanotüplerin yüzeyinde hidrojen depolama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında enerjinin depolanması günümüzde halen önemli bir sorunu teşkil etmektedir ve bu nedenle enerjinin depolanması için farklı uğraş arayışları devam etmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda çok duvarlı karbon nanotüpler bu konuda oldukça önemli yer tutmaktadır.

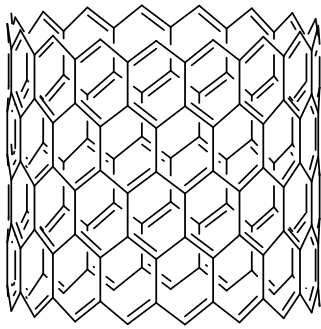
1.3 Karbon Nanotüpler ve Hidrojen Depolanması

1.3.1 Karbon Nanotüp

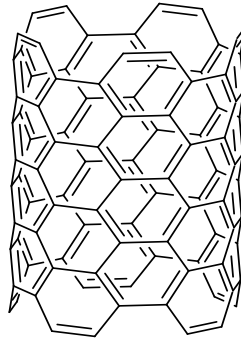
Nano kelimesi Yunancadan dilimize girmiştir ve cüce anlamına gelmektedir. Bu terim son yıllarda oldukça sık bir şekilde karşımıza çıkmaktadır. Kozmetik, tekstil, sanayi ve daha birçok yerde karşılaşılan bu terim, son bilimsel çalışmaların bir ürünüdür. Nano boyut demek kelimesi anlamıyla, metrenin milyarda bir ölçek birimi demektir. Bu denli küçük bir ölçekte çalışma yapılması insanların düşünce sınırlarını oldukça zorlamaktadır. Nano ölçekte üretilen birçok ürünün arkasında ise karbon nanotüpler yer almaktadır.

Karbon nanotüplerin ilk keşfedilmesi 1985 yılında olmuştur. Grafen katmanlarının nanometre boyutunda silindirik bir şekle yuvarlanması [17] ve yaklaşık altmış tane karbon atomunun bir araya gelmesi sonucunda elde edilen yapılardır. İlk keşfedilen karbon nanotüp (KNT) futbol topuna benzeyen molekül yapısına sahipti ve bu yapıya fulleren ismi verilmiştir. İlk kez karbon nanotüpler Iijima tarafından ark buharlaştırma yöntemi kullanılarak 1991 yılında silindirik karbon nanotüpler keşfedilmişlerdir. Daha sonraki zamanlarda ark buharlaştırma metodu kullanarak daha çok miktarda karbon

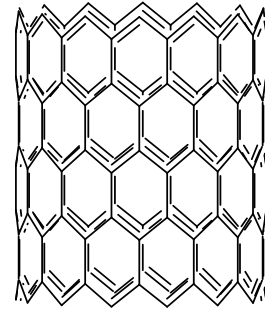
nanotüp üretilebileceği keşfedildi. Ancak bu yöntem ile yalnızca çok duvarlı karbon nanotüpler üretilmiştir [18].



ZIGZAG MODEL



ARMCHAIR MODEL



CHIRAL MODEL

Şekil 1.4: TDKNT Modellemesi

Karbonlar arasındaki iki bağların kuvvetli etkileşimleri göz önüne alındığı zaman silindirik bu yapılar arasındaki etkileşimlerin oldukça güçlü olduğu anlaşılır. Kısaca karbon nanotüpleri özetleyecek olursak grafit tabakaların tüp şekline dönüşmüş halidir. Çapları 1-3 nanometre veya 10-20 nanometre, boyları ise mikron civarında değişebilir. Ayrıca tek, çift ve çok duvarlı karbon nanotüpler olarak üretilmektedir. Yüksek yüzey enerjisi, en-boy oranı, güçlü Van der Waals kuvvetleri ve π - π etkileşimler, karbon nanotüpler, tüp-tüp temasının mikrometresi başına ~ 500 eV olduğu tahmin edilen demetler halinde toplanma eğilimindedir [19-20]. Bu özellikler karbon nanotüpler dayanıklılık, elektriksel ve termal iletkenlik gibi birçok konuda en çok bilinen materyalden çok daha iyi özellik gösterir. Bu özelliklerinden dolayı karbon nanotüpler elektrik-elektronik, malzeme bilimi, optik, nanoteknoloji, tekstil gibi birçok alanda vazgeçilmez hale gelmesine neden oldu [21].

Genel olarak karbon nanotüplerin kullanımlarını özetleyecek olursak;

- Sağlık, sanayi gibi birçok alanda transistör temelli sensör geliştirilmesinde kullanılır.
- Düzenli yapı, yüksek yüzey-hacim oranı, yüksek yüzey alanı, yüksek termal stabilite, yüksek mekanik mukavemet ve yüksek elektriksel iletkenlik gibi ilginç fizikokimyasal özelliklere sahiptir [22].

- Heterojen katalizde katalizör destekleri, alan yayıcılar, yüksek mukavemetli mühendislik lifleri, sensörler, tarama prob mikroskobu için uçlar, gaz depolama ortamı ve moleküler olarak bir dizi gelecek vaat eden uygulamalarla benzersiz bir malzeme haline getirir. Elektronik cihazlar için teller [23-24].

1.3.2 Karbon Nanotüplere Hidrojen Depolanması

Karbon nanotüplerin yüzeyinde hidrojen depolama bilmesi için öncelikle yüzeyinin aktifleştirilmesi gerekmektedir. Bu modifikasyon işlemini iki ana grupta incelemek mümkündür. Kovalent modifikasyon ve kovalent olmayan yani kimyasal modifikasyon. Bu yöntemlerden kimyasal modifikasyonda dikkat edilmesi gereken faktör ise; karbon nanotüpün hem içten modifikasyonu hem de dış yüzeyinin modifikasyonu yapılabilir.

Kimyasal modifikasyonu kısaca özetlemek gerekirse; iç yüzeyinin modifikasyonun da modifikasyonu yapılmak istenilen materyalin sıvı çözeltisi hazırlanır (bu işlem için taşıyıcı sıvılar kullanılır) ve buharlaştırma işlemi yapılarak koloidal süspansiyon oluşumu sağlanır. Bu sayede modifiye edilmek istenen materyal karbon nanotüpün iç yüzeyine işlemiş olur. Dış yüzeyin modifikasyonun da ise karbon nanotüpün yan duvarlarının fonksiyonel grup bağlayarak yapılır ve üç alt grupta incelenir. Bunlar uç ya da kesik uçlarına kovalent fonksiyonel grup bağlayarak modifikasyon işlemi yapılmış olur [25]. Karbon nanotüpün kovalent modifikasyonu ise yan duvarlarına kovalent olarak fonksiyonel grubun tutturulmasıyla gerçekleşir. Bağlanma sürecinde karbon nanotüpün yapısındaki sp^2 hibritleşmesi bozularak, σ -bağına dönüşümü ile gerçekleşir [26].

Karbon nanotüplerin depo kapasitesi; nanotüpün cinsine, nanotüpün kapalı ya da açık uçu olmasına, nanotüpün boyut ölçülerine ve yüzey aktiflikleri gibi özelliklere bağlı olarak değişir.

Karbon bazlı hidrojen depolama teknikleri üzerine yapılan teorik çalışmalarda fulleren baz alınarak hidrojen depolanmasının mümkün olduğunu göstermiştir. Yapılan diğer bazı çalışmalarda ise karbon nanotüplerde ağırlıkça %4-14 değerleri arasında hidrojen depolanabilir olduğunu gösterip, bu miktarın ne kadar fiziksel olarak ne kadarını kimyasal olarak depolanabildiğini de hesapsal olarak tespit edilmesinin mümkün olduğunu bildirmişlerdir [27-28]. Bu bilgiler göz önüne alındığında hidrojen karbon nanotüpün yüzeyinde iki türlü depolanması mevcuttur. İlk olarak zayıf Van Der Waals etkileşimlerinden yararlanılması sonucu adsorpsiyonu, ikinci olarak ise kovalent bağ oluşumu yani adsorpsiyon sonucu oluşur. Ancak bu yöntemle depo edilen hidrojen yüksek sıcaklıklarda geri alındığı için tekrar aynı nanotüp kullanılamaz. Bu nedenle tercih edilen yöntem adsorpsiyon ile hidrojen depolama yöntemidir.

Karbon nanotüpler diğer karbon malzemelere çok daha kuvvetli adsorbenler olsada; Karbon nanotüplerin modifiye edilmiş yüzeyleri, karbon nanotüpün yüzey alanını artırır. Nanotüplerin yüzeylerini aktifleştirmek için birçok farklı yol mevcuttur. Organik bir süspansiyon hazırlayarak bu karışımın içerisinde aktifleştirilen yüzey UV lambası altında da kurutulabilir, asit katalizörlüğünde esterler kullanılarak yüzeyde -OH fonksiyonel grubu da bağlanabilir [29].

1.4 Adsorpsiyon

Türkçe karşılığı olarak adsorpsiyon, yüzeye tutunma anlamına gelir. Adsorpsiyonu daha detaylı olarak inceleyecek olursak, katı adsorben yüzeyine akışkan formda bulunan maddenin tutunmasıdır. Genel olarak adsorpsiyon üç başlık altında incelenebilir.

- ✓ Fiziksel adsorpsiyon
- ✓ Kimyasal adsorpsiyon
- ✓ Değişim adsorpsiyon

1.4.1 Fiziksel Adsorpsiyon

Adsorben ve adsorplanan molekülleri arasında zayıf Van Der Walls etkileşimleri ile gerçekleşen tersinir şekilde gerçekleşirler. Fiziksel adsorpsiyonda zayıf etkileşimler söz konusu olduğu için adsorben yüzeyinde bir yandan tutunma yani adsorpsiyon gerçekleşirken diğer yandan adsorplanan materyalin yüzeyden ayrılması yani desorpsiyonu söz konusudur. Bu nedenle fiziksel adsorpsiyon süreci uzun zaman alır [30]. Fiziksel adsorpsiyonun en önemli avantajı düşük sıcaklıkta gerçekleşmesi ve aynı adsorbenin yeniden kullanılabilir olmasıdır. Bu bağlamda bakıldığında endüstride sıklıkla tercih edilme nedenidir.

1.4.2 Kimyasal Adsorpsiyon

Adsorplanan moleküller, adsorben yüzeyine kovalent bağlar ile tutunurlar. Kimyasal adsorpsiyonda bağ oluşumu sırasında elektronun ortaklaşa kullanılması veya tanecikler arasında elektrostatik çekim kuvveti söz konusu olduğu için bu adsorpsiyon türü fiziksel adsorpsiyon türünden daha güçlüdür [30].

1.4.3 Değişim Adsorpsiyon

Değişim adsorpsiyonun da adsorben yüzeyi ile adsorplanan tanecikler arasında zıt yüklerin çekimi söz konusudur. Bu bağlamda bakıldığında değişim adsorpsiyonuna elektriksel çekim adsorpsiyonu da denilebilir. Değişim adsorpsiyonunda iyonların değişimi gerçekleştirebilmek için adsorben ve adsorplanan taneciklerin zıt yüklere sahip olması en önemli konudur. Bu sayede tanecikleri birbirini çekerler. Bu adsorpsiyon türünde dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli etken ise iyon yükü fazla ve tanecik çapı ne kadar küçükse daha fazla adsorplanırlar [31].

1.5 Karakterizasyon Yöntemleri

1.5.1 DTA/TG

Termal analiz yöntemidir. Genel olarak malzemelerin fiziksel özelliğinin sıcaklık ile değişimi incelenir. Burada numune sıcaklığı kontrollü değişirken numunenin bazı fiziksel özellikleri sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçülür. Bu özelliklerin bazıları; ağırlık, adsorplanan ya da açığa çıkan ısı, boyut, iletkenlik vb. özelliklerdir.

1.5.2 FTIR

Temel olarak IR; kızılötesi ışığın absorplanması sonucunda moleküllerin titreşim hareketleri sırasında meydana gelen artış veya kırmızı ötesi ışık ile moleküler arasında esnek olmayan çarpışma ile ışığın saçılması belirlenir.

IR sentezlenen materyalin karakterizasyonunda yaygın olarak kullanılan bir spektroskopik yöntemlerden birisidir. Bu teknik ile molekülerin yapısı hakkında kabaca bilgi edinilir. Kızılötesi ışın kullanılarak uyarılan molekülün, titreşim hareketindeki değişimle, ışık şiddetinde değişim meydana gelir. Bu yöntem yüzeydeki fonksiyonel grupları belirlenmesinde önemli katkı sağlar. En çok tercih edildiği alanlar;

- Organik ve inorganik malzemelerin tanımlanması ve yapısının belirlenmesi
- Moleküler karışımlarda karışımı oluşturan birimlerin kantitatif olarak belirlenmesi
- Yüzeylerde adsorbe olmuş moleküllerin tanımlanması
- Moleküler yönelmelerin (oryantasyon) belirlenmesi

1.5.3 SEM

Katı örneklerin yüzey morfolojisini görmek için kullanılan yöntemdir. Çalışma yapılabilmesi için numune katı ve elektrik iletkenliği olması gerekmektedir. Eğer ki çalışma yapılacak madde iletken değilse numune karbon ya da altın ile kaplanır. SEM

ile incelenecek numune boyutu için ideal ölçü genellikle 10 cm uzunluk ve 40 mm genişlik olmalıdır.

1.6 Literatürde Yapılan Çalışmalar

Günümüze kadar birçok araştırma ve çalışma dizisinin ardından hidrojen enerjisi kendisini kabul ettirerek temiz enerji arasında yer bulmuştur. Bu çalışmalar birçok bilim insanı tarafından gerçekleştirilmiştir. Kısaca bu çalışmaları özetlemek gerekirse; ilk olarak karşımıza çıkan kişi yazar Jules Verne olur. İlk bakışta her ne kadar garipsenecek bir durum olsa da Gizemli Ada kitabındaki düşüncelerini şu şekildedir: *'... elektrik enerjisi kullanarak elementlerine ayrişan su, gelecekte bir gün yakıt olarak kullanılacaktır. ... suyu oluşturan hidrojen ve oksijen ya tek ya da birlikte, tükenmeyen bir ışık ve ısı kaynağı olacaktır.'* 1874 yılında yayımlanan bu eser günümüzde yapılan çalışmalar için kehanet niteliği taşımaktadır. 1894 yılında ise Ostwald, yaklaşık olarak kendisinden 60 yıl önce yapılan elektrokimyasal çalışmaları inceleyerek; çevreyi kirletmeyen yakıt hücrelerinin kullanılacağını iddia etti [32].

1923 yılında Haldane elektroliz olayı ile elde edilen Hidrojen gazının geleceğin enerjisi olacağını söyledi. Bundan yaklaşık on beş yıl sonra uçaklarda hidrojenin yakıt olarak kullanılacağını Sikorsky ön gördü [32-34].

Hidrojen enerjisi çalışan Lawaczek 1920 yılında binek araçlar ve trenler ile ilgili ön görüşünü açıkladı. Basınçlı nötralizör (hidrolizör) çalışmalarına katılarak tıpkı petrol, doğal gaz gibi hidrojeninde boru sistemiyle taşınabileceğini söyleyen ilk kişidir [35]. Yine o yıllarda (1920-1930) Almanya' da yapılan bir başka çalışma ise hidrojen ile çalışan balon oldu. [36]

1950 yılında ise yapılan bir diğer çalışma Bacon tarafından yeni bir çalışma yapıldı. Bu çalışmada Bacon bir yakıt hücresi geliştirdi ve bu yakıt hücresi NASA tarafından uzay programında kullanıldı [37].

Karbon nanotüplere hidrojen depolanması konusunda birbiriyle uyum içerisinde olmayan birçok araştırmadan dolayı, Avrupa üniversiteleri ve araştırma enstitüleri ortak bir karar alarak 2001 yılının haziran ayında tek duvarlı karbon nanotüplerin yüzey adsorpsiyon yöntemiyle hidrojen depolama kapasitesini %1 olarak kabul etmiştir ve alan yazılarına bu şekilde geçmiştir [38].

Diğer bir grup bilim insanlarının çok duvarlı karbon nanotüp üzerinde yaptığı çalışmalarına baktığımızda ise; 1999 yılında Chen ve arkadaşlarının incelediği alkali metal modifiyeli çok duvarlı karbon nanotüp 380°C sıcaklık ve 1 atm basınç koşullarında %20 hidrojen depoladığını alan yazılarına rapor etmiştir. 2000 yılında yapılan bir aynı koşullarda, aynı üretim prosesine sahip çalışmada Yang yaptığı deneyde kuru Hidrojen gazı kullandığında %2,5, yaş hidrojen gazında %12 oranında hidrojen depoladığını alan yazılarında bildirmiştir. Yine de Chen ve arkadaşlarının 1999 yılında yaptığı çalışmalar göz önüne alındığında bu yüksek hidrojen depolama kapasitesinin su tanecikleriyle ilgili olduğu ve gerçek depo kapasitesinin bulunun değerden daha küçük olduğu belirtilmiştir. Alan yazılarının kronolojik sıralamasına göre devam ettiğimizde ise bir yıl sonraki çalışmaların bazılarında şu dikkat çekmektedir. Karbon nanotüpler ağırlıkça %4-14 oranında hidrojen depolamanın mümkün olduğunu belirtirken bunun ne kadarının fiziksel ya da kimyasal olduğunun belirlemenin mümkün olmadığını raporlamaktadır [39].

Hidrojen depolamayla ilgili bir başka bilgiyi ise yine hemen bir sonraki yıl Darkim ve arkadaşlarının yaptığı çalışmadan öğrenmekteyiz. Bu çalışmaya göre hidrojen depolama kapasitesine etki eden diğer önemli noktalardan biride kullanılan karbon nanotüpün cinsi (tek duvarlı, çok duvarlı oluşu), tüpün teknik özellikleri (çap, boy açıklıklık vb.), nanotüpün yüzey aktifliği gibi özelliklere bağlı olarak bu kapasitenin değişiklik gösterdiğini bildirmişlerdir [40].

KNT'lerin farklı yöntemlerle modifikasyonu ile ilgili bazı çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Bahramnia ve diğerleri (2021) 3- (trietoksisilil) propilamin konsantrasyonunun ÇDKNT'ler modifikasyonu üzerindeki etkisini araştırdı, hazırlanan numunelerin özelliklerini birbirleriyle ve saf ÇDKNT'lerle karşılaştırdı ve

modifiye edilmiş numunelerin daha düşük ağırlık kaybı nedeniyle daha yüksek termal stabiliteye sahip olduğunu buldu [41]. Benzer bir çalışmada, karboksilik grup (COOH), amin grubu ve silan grubu gibi bazı organik gruplarla KNT'lerin modifikasyonu ve işlevselleştirilmesi üzerine çalıştı. Organofonksiyonel kısımlara bağlanan KNT'lerin biyoloji, nanokompozitler, güneş enerjisi vb. Gibi farklı uygulama alanlarında daha fazla kullanım için daha fazla çok yönlülüğe sahip olduğunu belirlediler [42]. Başka bir çalışmada, Rao ve diğerleri (2016) ÇDKNT'lerin yüzeyini oksijenli gruplar ve metal oksitlerle değiştirdi. Yüzey modifikasyonu, ÇDKNT'lerin Raman özelliğinin ve redoks yeteneğinin değişmesine neden oldu. Yüzey modifikasyonu için fonksiyonel gruplar, ÇDKNT'lerin katalitik aktivitelerini etkiledi. ÇDKNT'ler için yüzey modifikasyonu, metal oksitlerin katalitik verimliliğini artırdı [43]. Tekrar, Salahi ve diğerleri (2021) karbon nanotüp (KNT) yüzey modifikasyonunun farklı KNT içerikli nanokompozitin mekanik, termal ve morfolojik özellikleri üzerindeki etkisini araştırdı. KNT'lerin yüzeyini HNO₃ ve stearik asit (SA) ile işlevselleştirdiler. KNT'nin SA ile yüzey modifikasyonu, KNT'lerin dispersiyonu üzerinde en önemli etkiye yol açmıştır. [44]. Ayrıca, Kanbur ve Küçükyavuz (2011), ÇDKNT'leri sülfürik asit ve nitrik asit kullanarak işlevselleştirdi. Numunelerin SEM mikrografları, KNT'nin partiküller arasındaki artan hidrojen bağı nedeniyle daha hacimli olduğunu gösterdi. [45]. Son zamanlarda KNT'lerin hidrojen depolama alanında kullanıldığı ancak hidrojen depolama kapasitelerinin düşük olduğu ve bu özelliklerin iyileştirilmesi gerektiği belirtildi. Literatürde modifiye edilmiş KNT'lerin hidrojen depolama kapasitesini belirlemeye yönelik bazı çalışmalar bulunmaktadır. Silambarasan ve diğerleri (2014) boran (BH₃) [46]; Sankarana ve diğerleri (2008) tbor ikameli karbon nanotüplerin hidrojen depolama kapasitesi [47]; Nguyen ve diğerleri (2011) kalsiyumla dekore edilmiş, hidroksile tek duvarlı karbon nanotüplerin hidrojen depolama kapasitesi [48]; Ghosh ve Padmanabhan (2015) kusurlu tek duvarlı karbon nanotüplerin hidrojen depolama kapasitesi [49]; Liu ve diğerleri (2018) karbon nano yapıların / Mg hibrit malzemelerin hidrojen depolama kapasitesi [50]; ve Hassan ve diğerleri (2007) hidrojen depolama kapasitesi oda sıcaklığında farklı karbonlu malzemeler [51].

Bu çalışmada, modifiye edilmiş ÇDKNT'lerin yüzeyine kovalent olarak bağlanmış iyi dağılmış bir Schiff baz metal komplekslerini ve bunların hidrojen depolama

kapasiteleri çalışılmıştır. Bu amaçla, çok duvarlı karbon nanotüpler, konsantre bir karışım olan NaOH ve H₂O₂ ile oksidasyon yoluyla işlevselleştirildi. Daha sonra N-(trietoksisililpropil) salisilaldiminin Schiff bazı, 3-aminopropiltrioksisilan (APTES) ve salisilaldehit arasındaki reaksiyonla sentezlendi. APTES, naylon, fenolik, epoksi ve melamin reçine esaslı kompozitlerde geniş uygulamalar bulan önemli bir aminosilandır. [52]. Fonksiyonelleştirilmiş ÇDKNT'ler nihayet kimyasal olarak N-(trietoksisililpropil) salisilaldiminin Schiff bazının kovalent bağlanmasıyla modifiye edildi. Modifikasyon süreci şu şekilde karakterize edildi: Brunauer – Emmett – Teller (BET), taramalı elektron mikroskobu (SEM), Fourier transform infrared (FTIR) spektroskopisi ve diferansiyel termal analiz / termogravimetri (DTA / TG) cihazı. Ayrıca sentezlenen numunelerin hidrojen depolama kapasiteleri, Hiden IMI PSI gaz analizörü kullanılarak kriyojenik sıcaklıktaki basıncın bir fonksiyonu olarak ölçüldü.

2. MATERYAL ve METHOD

2.1 Materyal

Bu deneysel çalışmada kullanılan kimyasal malzemeler; salisilaldehit, paladyum klorür, nikel klorür, kobalt (III) klorür, bakır (II) klorür , kalay (II) klorür, mangan (II) klorür, kurşun (II) klorür, 3-trietoksi aminopropilsilan (APTES), saf etanol, toluene ve dimetilamin kullanıldı. Bu kimyasal malzemeler Merck-Sigma Aldrich firmalarından temin edilmiştir. Kullanılan çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT) ticari olarak Nanografi firmasından temin edilmiş olup, dış yarıçap 7-12nm, Ortalama uzunluğu 1-4 µm, %93 C saflığında, 98S-cm elektriksel iletkenliğe sahip ve 290m²/g yüzey alnına sahiptir. Sentezlenen maddelerin yapısını belirlemek ve kontrolünü sağlamak için TLC kromatografisi, FTIR spektrofotometresi, SEM (taramalı elektron mikroskobu) kullanıldı. Sentezlenen malzemelerin dayanıklılıklarını ölçmek için TGA, DTA ve IMI PSI cihazı kullanılarak da hidrojen depolama kapasitene bakılmıştır. Deneysel çalışmaların yapısını aydınlatmada kullanılan cihazlar Balıkesir Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümüne ve Balıkesir Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama Araştırma laboratuvarlarındaki cihazlar kullanılarak yapılmıştır. Numuneler Slecta marka ve Vaciotem-t model vakum etüvü ile kurutulmuş, FTIR Spektrumları, SEM Ölçümleri, termogravimetrik analizler ve hidrojen depolama kapasiteleri Hidrojen gaz analizörü kullanılarak kriyojenik sıcaklıktaki basıncın bir fonksiyonu olarak ölçülmüştür.

2.2 Karakterizasyon

ÇDKNT ile sentezlenen numuneler BET, SEM, FTIR ve DTA / TG cihazları kullanılarak karakterize edilmiş ve ardından hidrojen gaz analizör cihazı kullanılarak hidrojen depolama kapasiteleri ölçülmüştür.

2.2.1 BET Analizi

BET ölçümleri Quantachrome Nova 2200e cihazı ile yapıldı. Ölçümlerden önce, numuneler gazı 24 saat boyunca 100°C'de degaz edildi. Ve N₂ adsorbat gazı olarak kullanılarak ölçümler sıvı azotlu ortamda yapıldı.



Şekil 2.1: BET Cihazı

2.2.2 SEM Analizi

SEM analizi, Zeiss EVO LS 10 taramalı elektron mikroskobu ile gerçekleştirildi.



Şekil 2.2: SEM Cihazı

2.2.3 FTIR Analizleri

ÇDKNT'ün FTIR spektrumları ve modifiye edilmiş numuneler 4000-400 cm^{-1} dalga boyu aralığında geçirgenlik modunda kaydedilmiştir. Spectrum 100 FTIR cihazı (PerkinElmer, ABD) ile. Örnekler, 10 tonluk basınç altında KBr'de peletlendi. Kontrol KBr'nin arka plan spektrumu, numune spektrumunun spektrumundan çıkarıldı.



Şekil 2.3: FTIR Cihazı

2.2.4 Termal Analiz

Numunelerin DTA / TG termogramları, PerkinElmer Diamond eş zamanlı DT / TGA termal analizörü kullanılarak oda sıcaklığından 1100 ° C'ye kadar dakika da 10°C' luk bir ısıtma hızında N₂ atmosferi altında gerçekleştirildi.



Şekil 2.4: DTA / TG Cihazı

2.2.5 Hidrojen Depolama Analizi

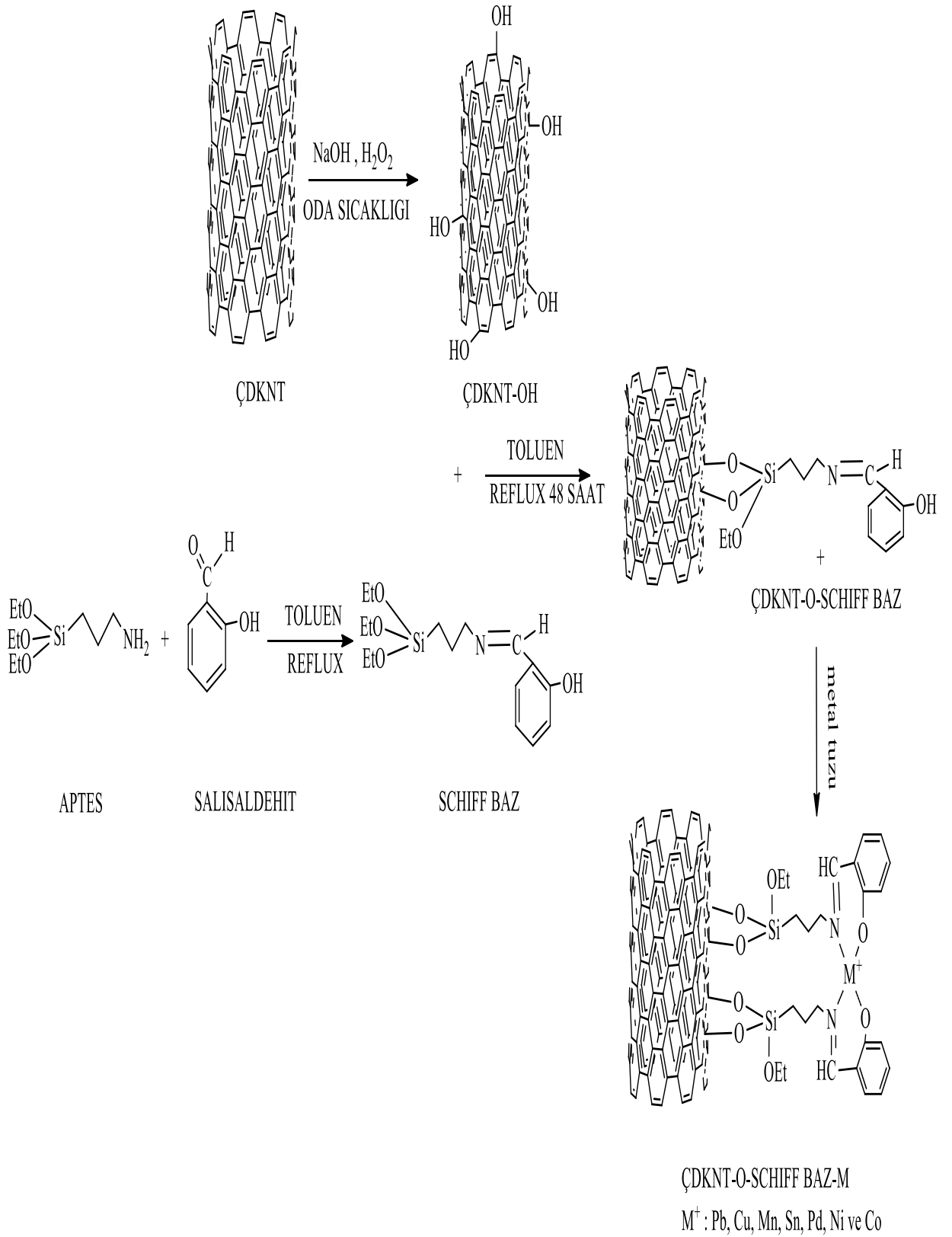
Çalışmamızda ayrıca sentezlenen numunelerin hidrojen depolama kapasiteleri, Hiden IMI PSI gaz analizörü kullanılarak kriyojenik sıcaklıktaki basıncın bir fonksiyonu olarak ölçüldü.



Şekil 2.5: Hidrojen Gaz Analizör Cihazı

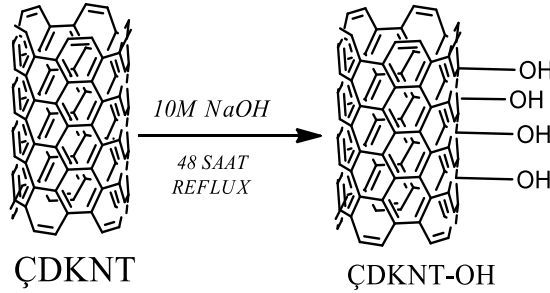
2.3 Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada ilk olarak Schiff bazına dayalı modifiye edilmiş ÇDKNT sentezlenmiştir. Bu amaçla öncelikle ÇDKNT NaOH ve H₂O₂ ile ÇDKNT-OH'e dönüştürüldü. Daha sonra salisilaldehit ve APTES'ten (3-trietoksi amino propilsilan) Schiff bazı sentezlendi. Schiff bazına dayalı modifiye edilmiş ÇDKNT, bu iki sentezlenmiş yapıdan üretildi. Elde edilen bu numunenin de farklı metallerle etkileşimi ile ÇDKNT-Schiff Bazlı metal kompleksleri hazırlandı. Sentez süreci aşağıda detaylandırılmıştır.



Şekil 2.6: Genel sentez reaksiyonu

2.3.1 Çok Duvarlı Karbon Nanotüp Yüzeyinin Hidroksillenmesi (ÇDKNT-OH)

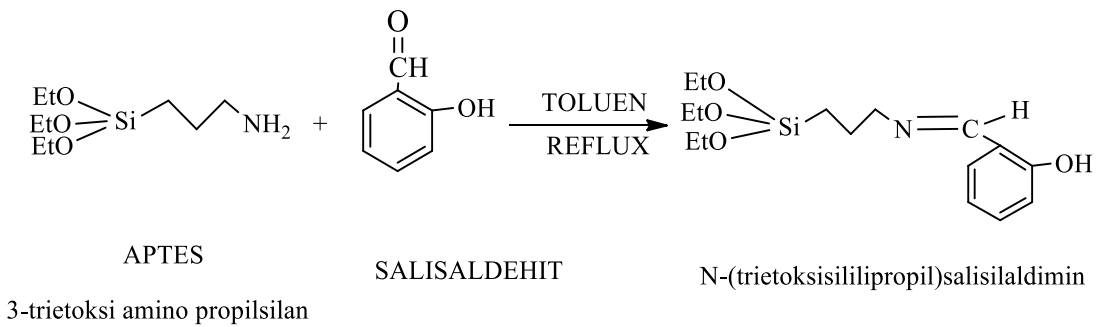


Şekil 2.7: ÇDKNT'nin hidroksilasyon reaksiyonu

500 mL 10 M NaOH çözeltisi, 1 L'lik bir reaksiyon şişesine konuldu. Bu çözeltiliye 5 g ÇDKNT ilave edildi ve manyetik bir karıştırıcıda karıştırıldı. Bu süspansiyona bir damlatma hunisi kullanılarak 15 dakika içinde %30 H₂O₂ çözeltisi damlatıldı. Reaksiyon, oda sıcaklığında 12 saat sürdürüldü. Karışım, vakumda süzüldü ve çökelti, pH 7 olana kadar saf suyla yıkandı. Daha sonra vakumlu bir fırında 80 ° C'de 24 saat kurutuldu. Elde edilen ürün ÇDKNT-OH olarak adlandırıldı [53]. ÇDKNT'nin hidroksilasyon reaksiyonu Şekil 2.7'de verilmiştir.

$M = m / (M_A \cdot V)$ eşitliği kullanılarak 1L' lik 10M'lık NaOHçözeltisi hazırlandı.

2.3.2 SALİSİLALDEHİT SCHİFF BAZ SENTEZİ [(EtO)₃Si-L¹-H]

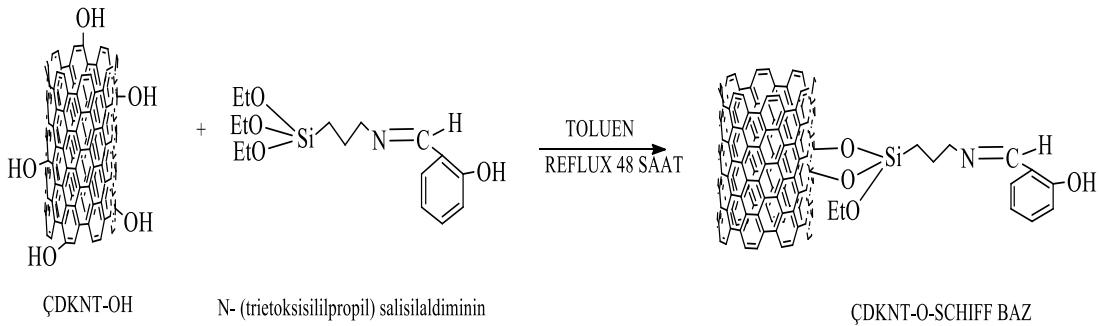


Şekil 2.8: N- (trietoksisililpropil) salisilaldiminin sentezi

Etanol (10 mL) içine APTES (2.21 g, 10.0 mmol) ilavesi yapılarak çözelti hazırlandı, yine etanol (10 mL) içerisine salisilaldehit (1.22 g, 10.0 mmol) ilave edilerek ikinci çözelti hazırlandı. Hazırlanan 2 çözelti karışımı üç boyunlu balona alınarak geri

soğutucu altında iki saat süreyle karıştırıldı. Çözelti, imin oluşumu nedeniyle bir süre sonra sarı hale geldi. Daha sonra Çözücü buharlaştırıldı. Elde edilen viskoz sarı renkli schiff baz diklorometan içinde çözüldü ve birkaç kez su ile yıkandı. Organik kısım ayrıldı ve susuz magnezyum sülfat üzerinden kurutuldu. Çözücü buharlaştırılarak uzaklaştırıldı ve kalıntı (N-(trietoksisililpropil) salisil aldimin) birkaç saat daha oda sıcaklığında kurutuldu. [54]. N- (trietoksisililpropil) salisilaldiminin sentez reaksiyonu Şekil 2.8’de verilmiştir.

2.3.3 Çok Duvarlı Karbon Nanotüp Salisilaldehit Schiff Baz Modifikasyonu



Şekil 2.9: ÇDKNT-O-Schiff Bazı sentezi

0.5 g ÇDKNT-OH, çift boyunlu reaksiyon şişesine aktarıldı. Sentezlenen N-(trietoksisililpropil) salisilaldimin 0,70 mmol (0.2187 g) toluen içinde çözüldü ve çift boyunlu bir balona kondu. Bu karışıma 200 mL toluen ilave edildi. Daha sonra karışım, azot atmosferi altında 48 saat geri soğutma (reflux) düzeninde ısıtmaya bırakıldı. Elde edilen süspansiyon süzüldü ve çökelti etanol ile yıkandı. Çökelti, dietil eter ile tekrar yıkandı. Elde edilen numune 24 saat vakumlu etüvde kuruldu. Bu bileşik ÇDKNT-O-Schiff bazı olarak adlandırıldı [55].

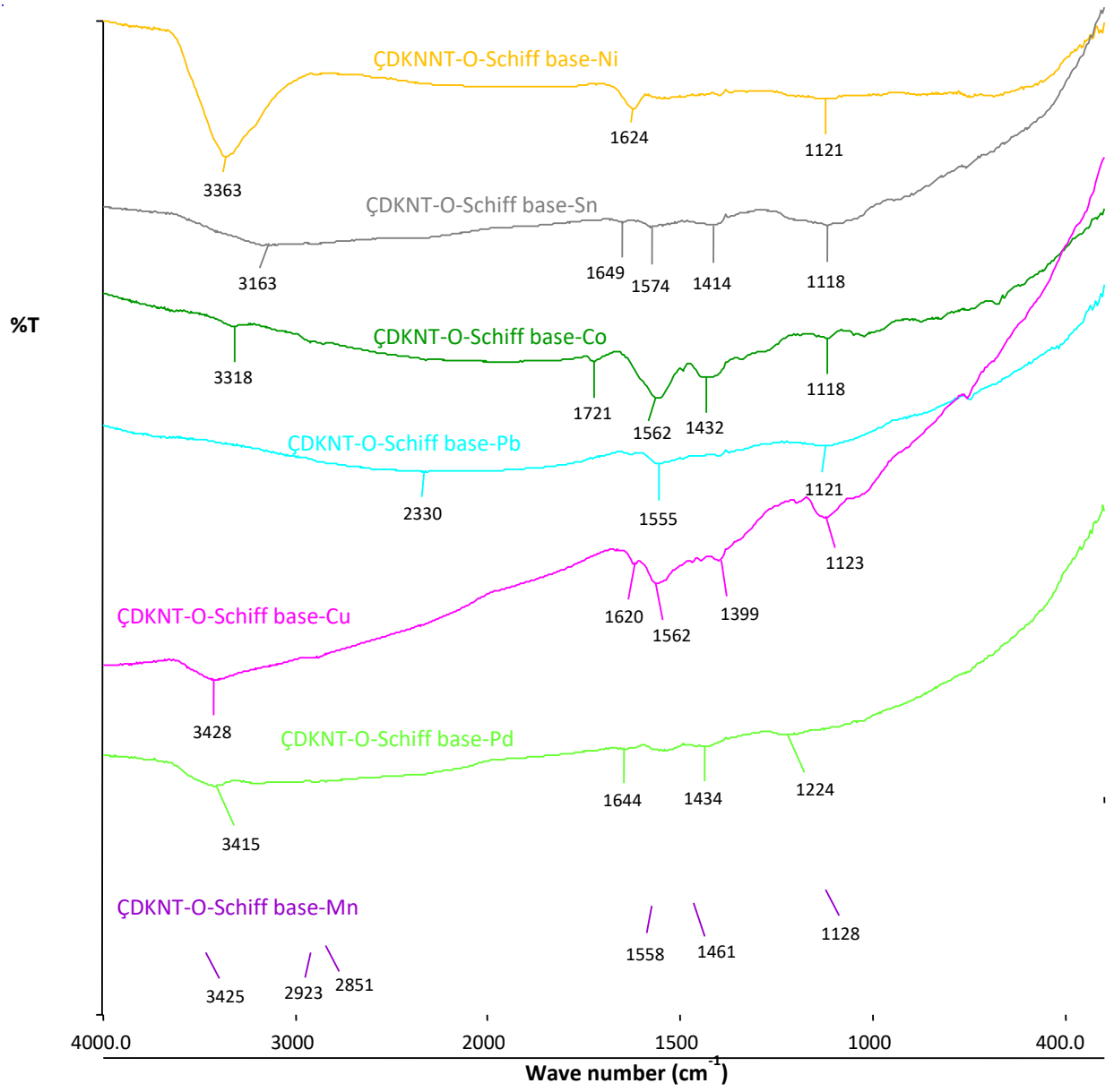
Bu numunenin farklı metallerle etkileşimi ile bir seri kompleksleri hazırlandı. Bu bileşik ÇDKNT-O-Schiff bazı-M olarak adlandırıldı. Metal olarak sırasıyla Pd, Co, Mn, Sn, Pb, Ni ve Cu gibi metaller kullanıldı. ÇDKNT-O-Schiff bazı ve ÇDKNT-O-Schiff bazı-M komplekslerinin sentez reaksiyonu Şekil 2.6'de verilmiştir.

3. BULGULAR

Çalışmanın bu kısmında modifiye edilen ÇDKNT ve ÇDKNT-O-Schiff Baz'ların karakterizasyonu ve hidrojen depolama kapasitelerine ait deneysel sonuçlar verilmiştir

3.1 FTIR

Örneklerin FTIR analizleri PerkinElmer spektrum 100 cihazı ile hem ATR hücresi (4000-650 cm^{-1}) hemde KBr pelleti kullanılarak (4000-40 cm^{-1}) ölçülmüştür. Pellet ile yapılan analizde kullanılan KBr miktarı her bir pellet için ayrı ayrı ve aynı miktarlarda alınmıştır. Yapılan tüm analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.1: FTIR Grafikleri

3.2 Termal Analiz

Bu çalışmada sentezlenen örneklerin termal kararlılıkları Perkin Elmer Diamond DTA/TG cihazı kullanılarak oda sıcaklığı ile 1100 °C arasında dakikada 10°C'lik sıcaklık artışlarıyla incelendi.

Tablo 3.1: Numunelerin TG termogramlarından hesaplanan verileri

Numuneler	T _{MAX1} (°C)	T _{MAX2} (°C)	T _{MAX3} (°C)	KALINTI (ağ.%)
ÇDKNT	848	-----	-----	97,4
ÇDKNT-OH	102	378	825	46,5
ÇDKNT-O-Schiff Baz	106	426	630	68,2
ÇDKNT-O-Schiff Baz Co	82	274	679	60,0
ÇDKNT-O-Schiff Baz Cu	102	214	744	78,4
ÇDKNT-O-Schiff Baz Mn	73	546	779	87,0
ÇDKNT-O-Schiff Baz Ni	52	593	732	67,1
ÇDKNT-O-Schiff Baz Pb	59	432	688	82,7
ÇDKNT-O-Schiff Baz Pd	59	484	789	71,2
ÇDKNT-O-Schiff Baz Sn	68	267	726	69,9

3.3 BET Analizi

ÇDKNT ve modifiye edilen örneklerin BET yüzey alanı sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.2: Numunelerin BET yüzey alanları

Numuneler	BET yüzey alanı (m ² / g)
ÇDKNT	189
ÇDKNT-OH	153
ÇDKNT-O-Schiff baz	119
ÇDKNT-O-Schiff baz-Pd	107
ÇDKNT-O-Schiff baz-Co	221
ÇDKNT-O-Schiff baz-Mn	234
ÇDKNT-O-Schiff baz-Ni	235
ÇDKNT-O-Schiff baz-Sn	151
ÇDKNT-O-Schiff baz-Cu	116
ÇDKNT-O-Schiff baz-Pb	378

3.4 SEM Analizi (Taramalı Elektron Mikroskobu)

ÇDKNT modifiye örneklerinin SEM görüntüleri Zeiss EVO LS 10 cihaz ile alınmıştır. Görüntüler şekil 4.1' de verilmiştir.

3.5 Hidrojen Depolama

ÇDKNT ve modifiye örneklerinin hidrojen depolama kapasiteleri basınç değerlerinde ve kriyojenik sıcaklıkta ölçülmüştür. ÇDKNT'nin modifiye örneklerin hidrojen depolama kapasiteleri verilmiştir.

Tablo 3.3: ÇDKNT kriyojenik sıcaklık Hidrojen depolama verileri

Örnek	Basınç (bar)	% H ₂ (μmol/g)	% H ₂ (g/g)
ÇDKNT (kriyojenik sıcaklığı)	11,04	0	0
	39,25	-0,2	0
	231,14	15,46	0,024
	535,88	31,02	0,049
	913,92	44,95	0,071
	1334,7	56,64	0,089
	1780,74	69,23	0,109
	2408,29	82,57	0,13
	3153,31	95,64	0,151
	3986,15	109,81	0,173
	4871,49	122,15	0,192
	5791,46	134,52	0,212
	6739	144,78	0,228
	7703,19	155,25	0,244
	9001,78	167,08	0,263
	10523,46	178,28	0,281
	12192,58	190,45	0,3
	13971,29	199,38	0,314
15815,54	209,03	0,329	

Tablo 3.3 (Devam)

Örnek	Basınç (bar)	% H ₂ (µmol/g)	% H ₂ (g/g)
ÇDKNT (kriyojenik sıcaklığı)	18661,39	216,73	0,341
	22177,18	224,65	0,354
	26147,19	227,48	0,358
	30432,74	224,55	0,353
	34920,54	224,39	0,353
	39568,95	219,79	0,346
	44321,77	220,9	0,348
	49156,74	223,13	0,351
	54062,78	227,94	0,359
	59021,93	242,53	0,382
	64015,65	264,49	0,416
	69052,41	289,66	0,456
	74120,97	319,69	0,503
	79221,5	363,7	0,572
	84342,45	403,96	0,636

Tablo 3.4: ÇDKNT-OH Kriyojenik Sıcaklık Hidrojen Depolama Verileri

Örnek	Basınç (bar)	% H ₂ (µmol/g)	% H ₂ (g/g)
ÇDKNT-OH (kriyojenik sıcaklığı)	-0,66	0,00	0,000
	23,66	5,86	0,010
	176,53	28,23	0,049
	444,06	53,63	0,092
	794,69	74,90	0,129
	1197,50	91,18	0,157
	1638,56	103,61	0,179
	2262,29	117,91	0,203
	3018,00	130,05	0,224
	3847,43	141,80	0,245
	4731,38	150,39	0,259
	5660,85	159,40	0,275
	6614,06	164,57	0,284
	7575,66	172,99	0,298
	8926,84	178,97	0,309
	10431,33	186,01	0,321
	12102,44	188,93	0,326
	13868,52	194,71	0,336
	15700,04	192,37	0,332
	18559,62	190,96	0,329
22057,06	177,83	0,307	
26048,46	169,95	0,293	
30338,12	144,48	0,249	

Tablo 3.5: ÇDKNT- Salisaldehit Kriyojenik Sıcaklık Hidrojen Depolama Verileri

Örnek	Basınç (bar)	% H ₂ (µmol/g)	% H ₂ (g/g)
ÇDKNT-Salisaldehit (kriyojenik sıcaklığı)	0,40	0,00	0,00
	29,98	1,82	0,01
	71,51	3,71	0,03
	389,32	12,11	0,08
	775,35	19,42	0,13
	1195,71	23,91	0,16
	1646,52	28,16	0,19
	2279,22	33,50	0,23
	3033,94	37,70	0,26
	3853,87	41,38	0,28
	4746,07	44,88	0,31
	5665,63	48,35	0,33
	6614,11	49,92	0,34
	7574,48	51,46	0,35
	8913,44	54,32	0,37
	10423,83	53,62	0,37
	12082,50	50,18	0,34
	13836,13	50,05	0,34
	15676,33	47,56	0,32
	18509,07	29,97	0,20
22009,76	21,80	0,15	

Tablo 3.6: ÇDKNT- Salisaldehyit-Cu Kriyojenik Sıcaklık Hidrojen Depolama Verileri

Örnek	Basınç (bar)	% H ₂ (µmol/g)	% H ₂ (g/g)
ÇDKNT- Salisaldehyit-Cu (kriyojenik sıcaklığı)	-15,28	0,00	0,000
	16,28	12,74	0,032
	185,28	25,19	0,063
	461,37	38,35	0,097
	811,17	49,70	0,125
	1218,35	59,51	0,150
	1656,41	69,33	0,174
	2278,88	81,30	0,205
	3025,12	91,82	0,231
	3852,92	102,96	0,259
	4736,50	113,33	0,285
	5657,82	123,19	0,310
	6600,71	131,31	0,330
	7565,93	139,73	0,352
	8863,99	149,17	0,375
	10387,70	157,33	0,396
	12060,89	165,00	0,415
	13834,18	172,35	0,434
	15679,08	177,41	0,446
	18523,93	180,54	0,454
22042,04	180,64	0,455	
26013,17	176,62	0,445	
30288,94	164,81	0,415	

Tablo 3.7: ÇDKNT-Salisaldehit-Co Kriyojenik Sıcaklık Hidrojen Depolama Verileri

Örnek	Basınç (bar)	% H ₂ (µmol/g)	% H ₂ (g/g)
ÇDKNT-Salisaldehit-Co (kriyojenik sıcaklığı)	10,04	0,00	0,000
	40,99	-3,19	-0,014
	208,92	-,82	-0,004
	489,79	2,82	0,012
	847,76	5,97	0,026
	1250,66	9,07	0,040
	1680,38	11,85	0,052
	2296,75	15,63	0,068
	3039,92	18,71	0,082
	3866,33	21,46	0,094
	4748,09	22,91	0,100
	5658,79	25,34	0,111
	6603,61	25,62	0,112
	7567,18	26,75	0,117
	8858,08	25,33	0,111
	10381,03	23,01	0,101
	12049,60	17,45	0,076
	13819,15	11,65	0,051
	15656,95	2,94	0,013
	18502,35	-14,44	-0,063
22012,51	-39,17	-0,171	

Tablo 3.8: ÇDKNT-Salisaldehit-Mn Kriyojenik Sıcaklık Hidrojen Depolama Verileri

Örnek	Basınç (bar)	% H ₂ (µmol/g)	% H ₂ (g/g)
ÇDKNT-Salisaldehit-Mn (kriyojenik sıcaklığı)	-38,96	,00	0,000
	-5,95	20,83	0,083
	173,36	29,16	0,116
	459,84	38,57	0,154
	814,63	46,62	0,186
	1219,92	52,40	0,209
	1659,83	57,36	0,229
	2276,83	63,25	0,252
	3030,41	67,05	0,268
	3854,16	71,21	0,284
	4742,01	73,07	0,292
	5659,32	75,14	0,300
	6601,46	75,61	0,302
	7561,46	76,97	0,307
	8858,34	76,10	0,304
	10384,56	72,38	0,289
	12057,11	67,53	0,270
	13827,88	60,37	0,241
	15664,90	52,66	0,210
	18512,84	33,78	0,135
22029,18	9,20	0,037	

Tablo 3.9: ÇDKNT-Salisaldehit-Ni Kriyojenik Sıcaklık Hidrojen Depolama Verileri

Örnek	Basınç (bar)	% H ₂ (µmol/g)	% H ₂ (g/g)
ÇDKNT-Salisaldehit-Ni (kriyojenik sıcaklığı)	-6,03	0,00	0,000
	25,29	4,67	0,022
	69,61	6,52	0,030
	390,49	15,65	0,073
	770,74	22,62	0,106
	1192,12	27,80	0,130
	1645,07	32,13	0,150
	2266,86	38,08	0,178
	3021,46	42,17	0,197
	3849,88	46,77	0,218
	4737,84	49,80	0,232
	5661,07	52,59	0,245
	6603,63	55,47	0,259
	7563,46	57,03	0,266
	8858,74	58,53	0,273
	10379,22	57,54	0,268
	12051,17	55,77	0,260
	13826,93	53,14	0,248
15669,48	47,88	0,223	
18507,62	36,41	0,170	
22012,33	21,31	0,099	

Tablo 3.10: ÇDKNT-Salisaldehit-Pb Kriyojenik Sıcaklık Hidrojen Depolama Verileri

Örnek	Basınç (bar)	% H ₂ (µmol/g)	% H ₂ (g/g)
ÇDKNT-Salisaldehit-Pb (kriyojenik sıcaklığı)	-7,47	0,00	0,000
	29,66	2,80	0,014
	213,47	4,42	0,023
	497,99	5,92	0,031
	853,70	8,30	0,043
	1255,78	10,67	0,055
	1688,93	13,52	0,070
	2306,85	17,41	0,090
	3051,38	19,16	0,099
	3881,93	21,65	0,112
	4768,48	25,05	0,130
	5688,46	28,15	0,146
	6637,84	29,40	0,152
	7593,09	26,26	0,136
	8873,17	25,80	0,133
	10389,41	25,39	0,131
	12058,60	24,23	0,125
	13857,32	28,00	0,145
	15707,68	10,06	0,052
	18515,63	-2,56	-0,013
22021,20	-17,40	-0,090	

Tablo 3.11: ÇDKNT-Salisaldehit-Sn Kriyojenik Sıcaklık Hidrojen Depolama Verileri

Örnek	Basınç (bar)	% H ₂ (µmol/g)	% H ₂ (g/g)
ÇDKNT-Salisaldehit-Sn (kriyojenik sıcaklığı)	-6,50	0,00	0,000
	22,30	6,47	0,023
	192,95	14,86	0,053
	475,79	23,55	0,085
	829,92	31,65	0,114
	1233,55	37,52	0,135
	1668,73	43,20	0,155
	2289,12	50,18	0,180
	3038,52	55,19	0,198
	3861,49	60,63	0,218
	4744,63	64,26	0,231
	5663,19	67,59	0,243
	6607,93	70,28	0,253
	7567,80	73,29	0,263
	8891,42	74,48	0,268
	10399,55	74,64	0,268
	12061,88	73,03	0,262
	13831,67	69,78	0,251
	15670,49	64,60	0,232
	18506,72	52,16	0,187
22018,75	34,54	0,124	

Tablo 3.12: ÇDKNT-Salisaldehit-Pd Kriyojenik Sıcaklık Hidrojen Depolama Verileri

Örnek	Basınç (bar)	% H ₂ (µmol/g)	% H ₂ (g/g)
ÇDKNT-Salisaldehit-Pd (kriyojenik sıcaklığı)	477,01	,00	0,000
	829,17	,58	0,002
	1237,18	8,09	0,024
	1676,19	16,79	0,049
	2294,01	25,20	0,074
	3039,73	32,57	0,096
	3867,29	39,89	0,117
	4749,82	48,48	0,142
	5661,44	56,71	0,166
	6605,26	64,76	0,190
	7566,17	71,66	0,210
	8888,05	78,70	0,231
	10398,17	84,76	0,249
	12067,56	90,60	0,266
	13836,87	96,48	0,283
	15670,42	102,56	0,301
	18511,18	105,91	0,311
	22018,92	109,13	0,320
	477,01	112,44	0,330
	829,17	109,07	0,320
1237,18	105,64	0,310	

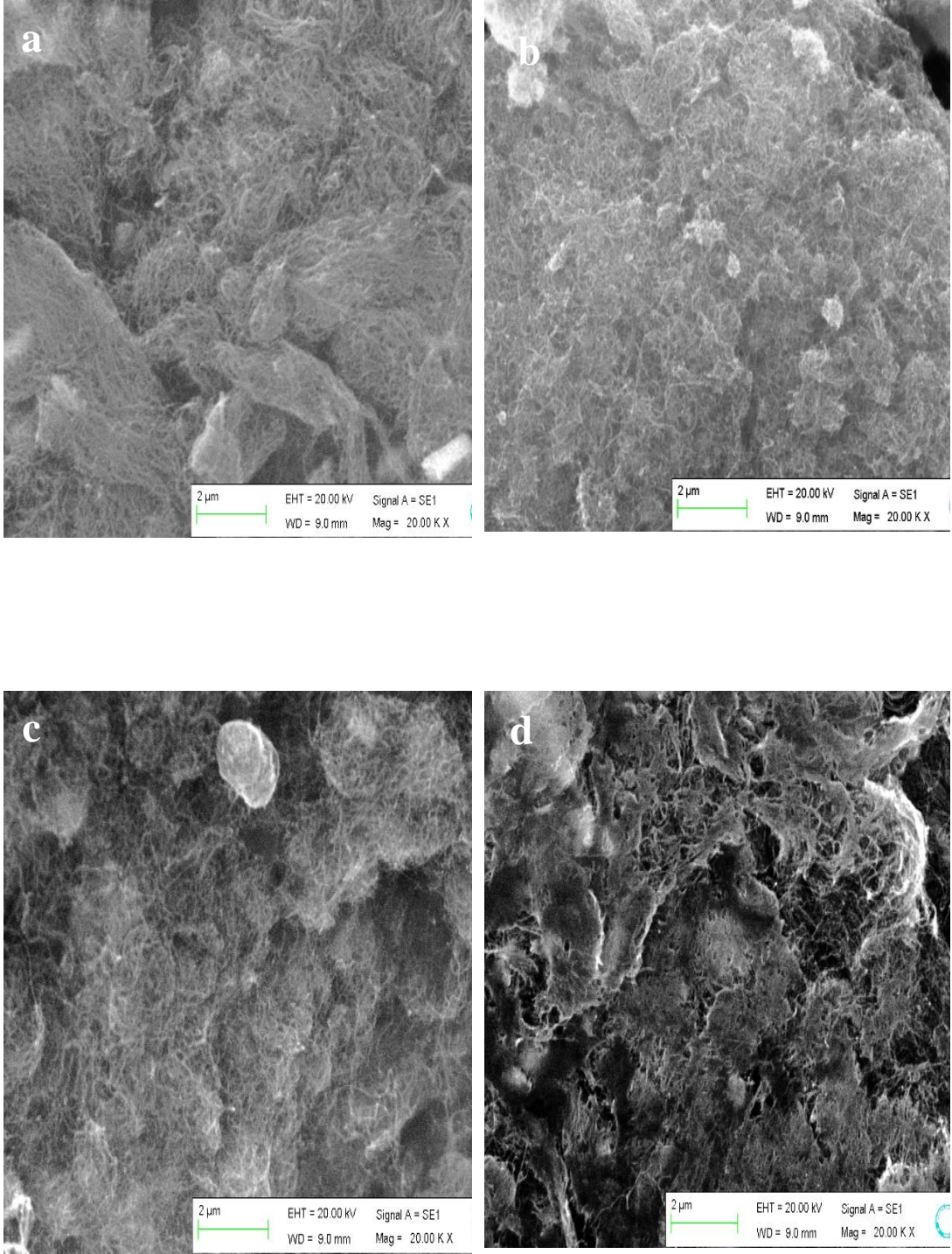
3.6 SONUÇ VE ÖNERİLER

3.6.1 BET Analizi

BET yüzey alanı, adsorbanların adsorpsiyon özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir parametredir. BET yüzey alanı, adsorbanın tipine, adsorbanların işlem proseslerine, vb. bağlı olarak değişir. Bu çalışmada ÇDKNT'den sentezlenen numunelerin BET yüzey alanları Tablo 3.2'de verilmiştir. ÇDKNT'nin yüzey alanı 189 m²/ g. ÇDKNT'nin yüzey alanı ÇDKNT-OH ve ÇDKNT-O-Schiff bazından daha yüksek olduğu görüldü. Yüzey alanının modifikasyonla azalması, ÇDKNT yapısının deformasyonundan, yapısal kusurların oluşmasından ve tüpün uçlarının değiştiricilerle tıkanmasından olabileceği tahmin edilmektedir. [56-58]. ÇDKNT-O-Schiff baz-M komplekslerinin yüzey alanları genellikle ÇDKNT, ÇDKNT-OH ve ÇDKNT-O-Schiff baz yapılarından daha yüksek olduğu tespit edildi. ÇDKNT-O-Schiff baz-M komplekslerinin yüzey alanlarındaki artış, metallerin boru uçlarını bloke eden fonksiyonel gruplarla etkileşimine muhtemelen bağlı olabilir.

3.6.2 SEM

Şekil 4.1, aynı büyütme oranlarında ÇDKNT, ÇDKNT-OH, ÇDKNT-O-Schiff bazı ve ÇDKNT-O-Schiff baz-Cu komplekslerinin SEM görüntülerini göstermektedir. ÇDKNT morfolojisinin modifikasyonla değiştiği görüldü. ÇDKNT'lerin, aralarındaki Van der Waals çekiminden dolayı pamuk topları şeklinde boru şeklinde bir yapıda bir araya geldiği görülmektedir. ÇDKNT'nin hidroksilasyonu ÇDKNT'nin hidrofilik özelliğini arttırmış, böylece ÇDKNT numunelerini bir arada tutan Van der Waals etkileşimlerini azaltmıştır. Sonuç olarak pamuk topları şeklinde bir arada tutulan karbon nanotüpler birbirini içine ayrılır. Bu durum Şekil 4.1.b' de görülebilir. ÇDKNT-O-Schiff bazının SEM fotoğrafı, karbon nanotüp yapılarının rekombinasyonla kısmen aglomere edildiğini göstermektedir. ÇDKNT-O-Schiff baz-Cu örneğinin SEM görüntüsü morfolojinin değiştiğini ve nanotüp örnekleri arasındaki mesafenin arttığını göstermektedir. ÇDKNT yüzeyinin hidrofilik özelliğindeki artış sonucunda, karbon nanotüplerin aglomerasyonunun azaldığı ve morfolojisinin değiştiği belirlendi.



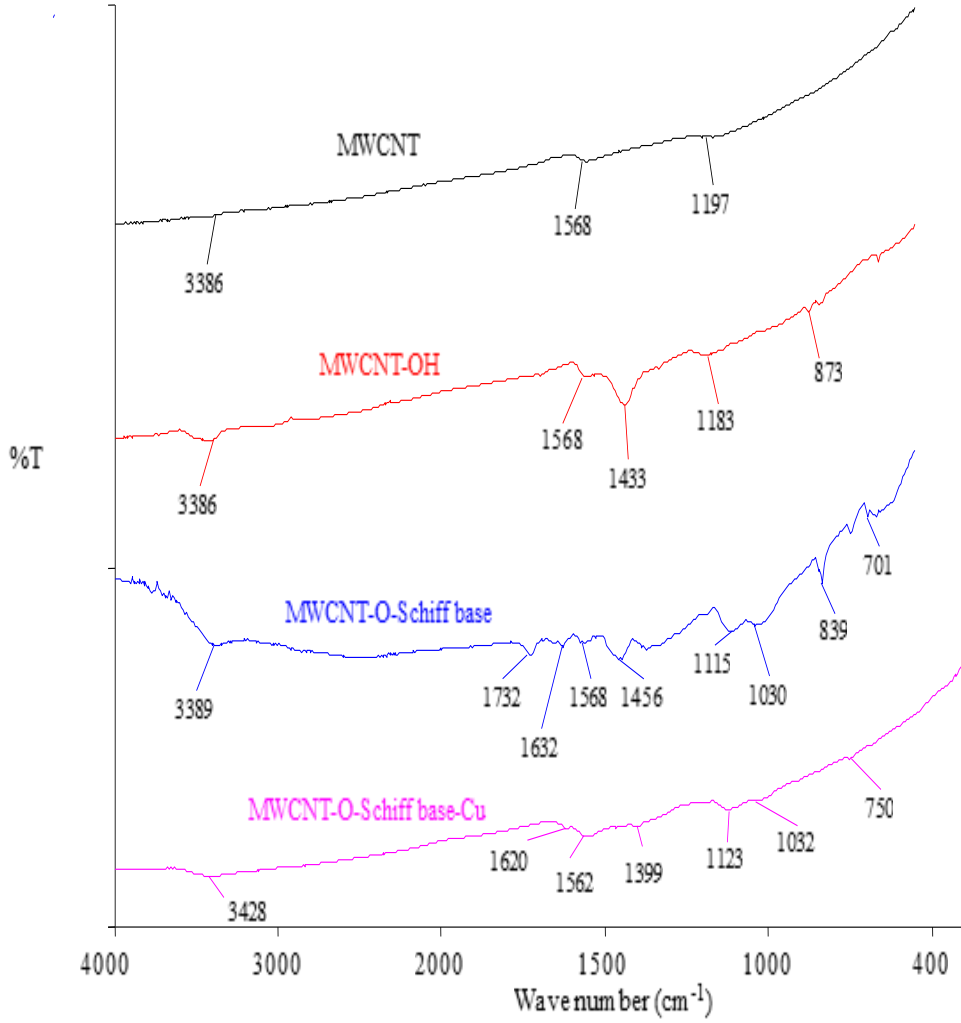
Şekil 4.1: a. ÇDKNT, b. ÇDKNT-OH, c. ÇDKNT-O-Schiff Baz ve d. ÇDKNT-O-Schiff Baz-Cu

3.6.3 FTIR

FTIR, organik fonksiyonel grupları ve bazı durumlarda inorganik materyalleri tanımlamak için kullanılan analitik bir tekniktir. Bu çalışmada, ÇDKNT modifikasyonundan kaynaklanan yapı değişiklikleri FTIR spektroskopisi ile incelenmiştir. FTIR spektrumunda absorpsiyon bantları 1500 ve 4000 cm^{-1} arası dalga boyları, malzemenin yapısındaki fonksiyonel grupların ve 400 ile 1500 cm^{-1} arasındaki absorpsiyon bantları ise parmak izi bölgesini temsil eder [59]. Bu çalışmada, ÇDKNT modifikasyonundan kaynaklanan yapı değişiklikleri ÇDKNT ile karşılaştırılarak karşılaştırılmıştır.

ÇDKNT, modifiye edilmiş ÇDKNT'ler ve ÇDKNT-O-Schiff baz-Cu'nun FTIR spektrumları Şekil 4.2'te verilmiştir. 3381 cm^{-1} civarındaki tepe noktası, ham maddenin saflaştırılması sırasında ortamdaki atmosferik nem veya oksidasyondan kaynaklanan ÇDKNT'lerin yüzeyindeki -OH gerilme titreşimi olarak belirlendi. [59-65]. Doğası gereği, ÇDKNT'ler yaklaşık 1568 cm^{-1} dalga sayısında uzanan çok zayıf C = C aromatik halka zirveleri gösterir. Karbon iskeletinde bulunan tüm örneklerde ÇDKNT'lerin hidroksilasyonu, FTIR spektrumları ile de doğrulandı (Şekil 4.2). NaOH ve H₂O₂ ile işlemden sonra 3386 cm^{-1} dalga sayısında güçlü bir pik görüldü. Bu pik, -OH grubunun titreşimi olarak tanımlandı. Bu pikin yoğunluğu ÇDKNT'e kıyasla arttı. Bu da sonuç olarak, -OH grubunun ÇDKNT'lerin yüzeyine başarıyla bağlandığını açıkça göstermektedir [42].

ÇDKNT-O-Schiff bazında yaklaşık 1030 cm^{-1} bant Si-O-C gerilme titreşimine karşılık gelir ve ÇDKNT ve ÇDKNT-OH'de bulunmayan; ÇDKNT-OH'da nin başarılı sililleştirilmesi için kanıt olarak gösterilir. Ayrıca 1632 cm^{-1} 'deki bant imin grubunun C = N gerilme titreşimi olarak tanımlanmıştır. Bu sonuçlar, Schiff baz ÇDKNT-OH'ye başarıyla sabitlendiğini doğrulamaktadır. [66].



Şekil 4.2: FTIR ÇDKNT ve modifiye eldimiş ÇDKNT'lerin spektrumları

3.6.4 Termal Analiz

ÇDKNT'nin işlevselliği, termal gravimetrik analiz (TGA) ile incelenmiştir. ÇDKNT, ÇDKNT-OH ve diğer numuler dakika başına 10°C' luk sabit ısıtma hızında 30 ile 1100°C sıcaklık aralığında azot atmosferi altındaki kaydedilen termogravimetrik eğrileri Şekil 19'de sunulmuştur. Şekil 4.3'teki TG termogramlarından hesaplanan veriler de Tablo 3.1'de verilmiştir. Termogram, ÇDKNT'nin termal olarak çok kararlı olduğunu göstermektedir. ÇDKNT, termogram yapısının kararlılığından dolayı 848°C de ayrışmaya başlar ve 1100 ° C'de toplam kütle kaybı ağırlıkça %97,4 olup bu da safsızlıklar ve amorf karbonlardan kaynaklanmaktadır [67-68]. TG karakterizasyonu,

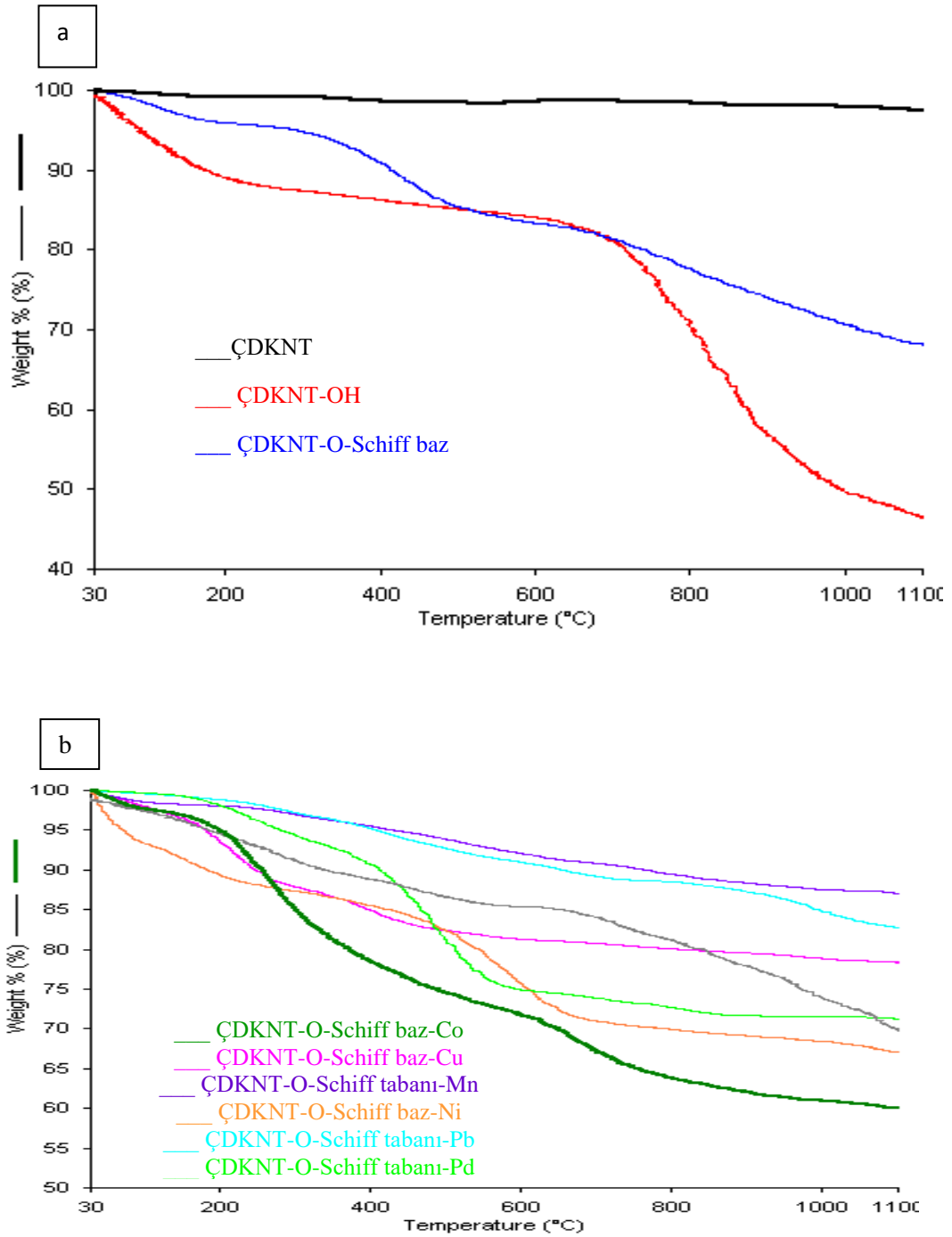
modifiye edilmiş ÇDKNT'lerin doğrudan kanıtıdır. ÇDKNT-OH'nin TG termogram'ı, üç aşamalı ayrışmaları gösterdi ve toplam ağırlık kaybı, ağırlık olarak yaklaşık kütlece %46,5 olarak görüldü. İlk ayrışma 30 ile 200° C ($T_{max1} = 102^{\circ} C$) sıcaklık aralığında, ikinci ayrışma 300 ila 500° C ($T_{max2} = 378^{\circ} C$) ve 600 ila 900° C sıcaklık aralığında üçüncü ayrışma ($T_{max3} = 825^{\circ} C$) gerçekleşti. T_{max1} 'de gözlemlenen ilk ağırlık kaybı, ÇDKNT-OH'in dış yüzeyinde ve iç gözeneklerinde veya boşluklarında adsorbe edilen suyun buharlaşması olarak düşünüldü. T_{max2} 'de gözlemlenen ikinci kütle kaybı, yüzeydeki oksijen içeren fonksiyonel grupların bozunmasına bağlanır. T_{max3} 'teki üçüncü kütle kaybı, ÇDKNT'nin bozulmasıyla ilgilidir [66,69].

Şekil 4.3'te görüldüğü gibi, ÇDKNNT-OH'ye benzer şekilde, ÇDKNT-O-Schiff bazı ÇDKNT-O-Schiff baz-M kompleksleri de üç aşamada bozunur. Tüm numuneler için T_{max1} 'deki ilk kütle kaybı, numunelerin dış yüzeylerinde ve gözeneklerinde fiziksel olarak adsorbe edilmiş suyun kaybedilmesinden kaynaklanmaktadır. T_{max2} 'deki ikinci ağırlık kaybı, aminopropilsilanın zincirinin kırılmasına, Schiff bazının ayrışmasına ve nitrojen-oksijen-karbon kalıntısının karmaşık ayrışmasına dayanmaktadır. Son olarak üçüncü aşama ÇDKNT'ün ayrışmasıdır [41,50,70].

Modifiye edilmiş ÇDKNT'de fark edilebilir ağırlık kaybı bulunurken; ÇDKNT' de böyle bir fark bulunamadı. ÇDKNT ve ÇDKNT-OH'nin ağırlık kaybı yüzdesi, ÇDKNT-O-Schiff bazı ve metal komplekslerinin ağırlıkça %60-87 aralığında olduğunda sırasıyla %97,4 ve %46,5 olarak görüldü. Bu tutarsızlık esas olarak organik fonksiyonel grupların yüzeylerindeki etkisi olarak düşünüldü. Ağırlık kaybı yüzdesi ne kadar yüksek olursa, modifiye ediciler ve ÇDKNT'ler arasındaki bağlanma mukavemetinin o kadar az olduğu ve modifikasyonun etkinliğini azalttığı ortaya çıktı [69].

Şekillerden de görülebileceği gibi, ÇDKNT yüzeyinin modifiye işlemi ile kalıntı miktarı azalmaktadır. Bu, ÇDKNT'nin termal kararlılığının azaldığını gösterir. Dahası,

termogramlardan elde edilen veriler FTIR ve SEM gibi eski sonuçlarımızla oldukça uyumlu olduğu görüldü.



Şekil 4.3: TG termogramları a. ÇDKNT, ÇDKNT-OH ve ÇDKNT-O-Schiff ve b. ÇDKNT-O-Schiff baz-M kompleksleri

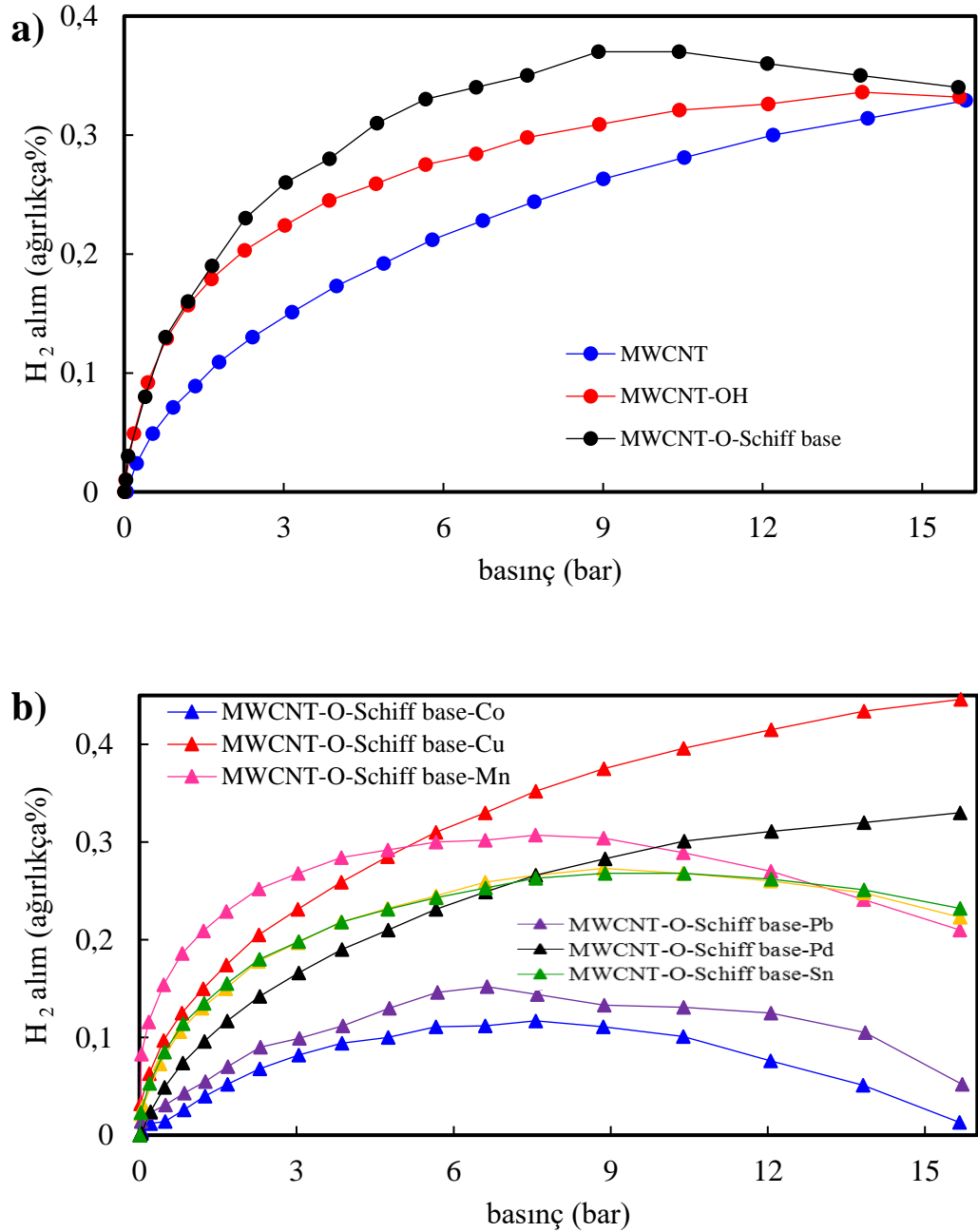
3.6.5 Hidrojen Depolama

Şekil 4.4. a, ÇDKNT, ÇDKNT-OH ve ÇDKNT-O-Schiff bazının hidrojen depolama kapasitelerini ve Şekil 5b, ÇDKNT-O-Schiff baz-M komplekslerinin hidrojen depolama kapasitelerini göstermektedir. Şekil 4.4-a, ÇDKNT'nin modifikasyonu ile hidrojen depolama kapasitesinin arttığını göstermektedir. ÇDKNT-O-Schiff bazının hidrojen depolama kapasitesi hem ÇDKNT hem de ÇDKNT-OH'den daha yüksek olduğu görüldü. Hidrojen depolama kapasitesindeki bu artış, hidrojen moleküllerinin azot ve oksijen molekülleri ile etkileşimine bağlanabilir. Hidrojen ölçümleri kriyojenik sıcaklıklarda alındı. Bunun nedeni, yüksek sıcaklıklarda hidrojen molekülleri arasındaki Van der Waals kuvvetlerinin oldukça zayıf olmasıdır. Sıcaklık düştükçe, Van der Waals kuvvetleri kriyojenik sıcaklıkta hidrojen molekülleri arasında daha baskın hale gelir. Sonuç olarak, ÇDKNT numunelerinin hidrojen depolama kapasiteleri artmıştır. Ayrıca sıcaklık düştükçe hidrojen moleküllerinin yoğunluğu artar ve adsorban ile daha fazla etkileşime girer [71]. Şekil 4.4-a'dan görülebileceği gibi, tüm numunelerin hidrojen depolama kapasiteleri artan basınçla artmıştır. Bunun nedeni, hidrojen moleküllerinin yoğunluğunun artan basınçla artmasıdır. Sonuç olarak, hidrojen molekülleri ile daha fazla etkileşime girmiştir.

ÇDKNT örnekleri, yine belli bir basınçtan sonra artan basınçla numunelerin hidrojen depolama kapasitesi azalmaktadır. Literatürde, "aşırı adsorpsiyon kapasitesi" terimi sıklıkla kullanılmaktadır. Aşırı adsorpsiyon izotermi, yüksek basınçlarda düzlüğe sahip değildir, ancak maksimuma sahiptir ve hidrojen basıncının daha da artmasıyla aşırı uzaklaştırma azalır. Bu durum, gözeneklere gaz doldurulduğunda ancak aynı zamanda dış gazın yoğunluğunun hala arttığı durumlarda ortaya çıkar, ancak aynı zamanda dış gazın yoğunluğu da artmaktadır. Dolayısıyla aşırı depolama kapasitesi, belirli bir sıcaklık ve basınçta depolanan gaz miktarındaki fark olarak tanımlanır. Sonuç olarak, yüksek basınçlarda numunelerin gözeneklerinde hidrojen yoğunluğunun artması nedeniyle depolama kapasitesi azalmaktadır [72].

ÇDKNT'nin BET yüzey alanları modifikasyonla azalırken, ÇDKNT-O-Schiff baz-M komplekslerinin yüzey alanları genellikle artmıştır. Adsorbanların hidrojen depolama kapasiteleri genellikle BET yüzey alanı ile orantılı olarak değişir. Bu çalışmada,

ÇDKNT-OH ve ÇDKNT-O-Schiff bazının BET yüzey alanları azalırken, hidrojen depolama kapasiteleri artmıştır. Bu artışın nedeni hidrojen moleküllerinin azot ve oksijen molekülleri ile etkileşimleri ve BET yüzey alanından ziyade ÇDKNT yapısındaki yapısal bozukluklardan kaynaklanıyor olabilir [57].

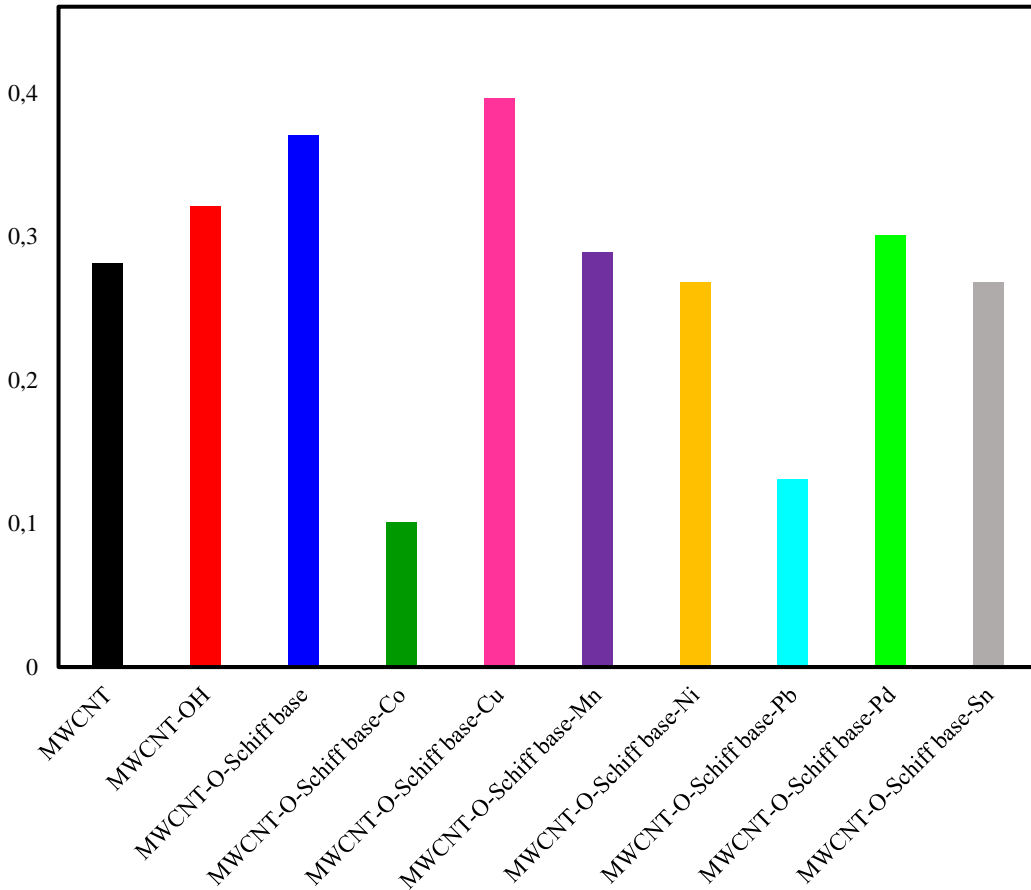


Şekil 4.4: a)'nın hidrojen depolama kapasiteleri. ÇDKNT, ÇDKNT-OH ve ÇDKNT-O-Schiff tabanı ve b. ÇDKNT-O-Schiff baz-M kompleksleri

Aynı şekilde ÇDKNT-O-Schiff baz-M komplekslerinin hidrojen depolama kapasiteleri incelendiğinde, BET yüzey alanları ile orantılı bir değişim gözlenmemektedir. Şekil 4.5, ÇDKNT'nin hidrojen depolama kapasitelerini ve 10 bar'da modifiye işlemi yapılmış ÇDKNT numunelerini göstermektedir. En yüksek hidrojen depolama kapasitesine sahip örnek ÇDKNT-O-Schiff baz-Cu'dur, ardından ÇDKNT-O-Schiff bazı, ÇDKNT-OH, ÇDKNT-O-Schiff baz-Pd, ÇDKNT-O-Schiff , ÇDKNT , ÇDKNT-O-Schiff bazı-Ni = ÇDKCNT-O-Schiff -Sn, ÇDKNT-O-Schiff -Pb ve ÇDKNT-O-Schiff-Co gelmektedir.

Sonuçlara baktığımız zaman; modifikasyonun adsorbanların hidrojen depolama kapasitesindeki değişimde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Literatürde karbon nanotüplerin ve modifiye işlemi yapılmış veya kompozit karbon nanotüplerin hidrojen depolama kapasitesi ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Tablo 4.1, bu çalışmaların bazılarını oda ve kriyojenik sıcaklıklarda göstermektedir. Oda sıcaklığında, Tibbets ve arkadaşları (2001), 3.6 bar'da TDKNT (Tek duvarlı karbon nanotüp) ve ÇDKNT'nin hidrojen depolama kapasitelerini sırasıyla ağırlıkça %0,05 ve ağırlıkça %0,03 olarak ölçtüler [28]; ve Barghi ve arkadaşları (2014) ÇDKNT'nin hidrojen depolama kapasitesini 10 bar'da ağırlıkça %0,2 olarak [73]. Ayrıca Liu ve Li (2020), KOH aktivasyonu ve Ni dekorasyonu ile birlikte modifiye edilmiş kap istifli karbon nanotüpleri (CSKNT'ler) sentezledi ve ilk kez 2 MPa'da hidrojen depolaması için kullandı. Hidrojen adsorpsiyon kapasitesinin ağırlıkça %25 arttığını bulmuşlardır [74]. Wakayama (2020), katalizörsüz farklı basınçlarda plazma kimyasal buhar biriktirme ile karbon malzemeleri hazırlamış, öğütülmüş ve öğütülmemiş malzemelerin yapısını ve hidrojen depolama özelliklerini değerlendirmiştir. Öğütülmemiş malzemelerin hidrojen depolama kapasitesi ağırlıkça %0,3 idi, ancak öğütme, kristalit boyutunu azaltarak ve kristalit yüzey alanını artırarak bu değeri ağırlıkça%1,0'a çıkardı [75]. Zhaou ve arkadaşları (2011), bir karışım ile sıcaklık kontrollü ark boşaltma fırınıyla amorf karbon nanotüpler (AKNT'ler) üretti. Katalizör olarak Co-Ni (ağırlıkça %1,1) alaşımı ve tampon gazı olarak hidrojen tozları. Sonuçlar, AKNT'lerin hidrojen depolama kapasitesinin 24.5 barda ağırlıkça %1,1 olduğunu gösterdi [76]. Sankaran ve arkadaşları (2008), KNT2, BKNT2, KNT3 ve BKNT3 numunelerinin 80 bar'da ağırlıkça %0,2'lik bir hidrojen depolama kapasitesi gösterdiğini belirlemiştir [47]. Sawant ve arkadaşları (2020), yüzer katalizör kimyasal

buhar biriktirme (FCCVD) ile bor ve azot ortak katkıli karbon nanotüpleri (B, N-KNT'ler) sentezlediler ve 16 bar' da B, N-KNT için hidrojen depolama kapasitesinin ağırlıkça %0.35 olduğunu buldular [53]. Kriyojenik sıcaklıkta, Lee ve Park (2012) ÇDKNT'nin hidrojen depolama kapasitesini 1 barda ağırlıkça %0,54 olarak ölçtü [78]; ve Sharma (2020) ÇDKNT'nin 25 barda ağırlıkça %0,55 hidrojen depolama kapasitesi [79]. Yine başka bir çalışmada, Çalışır ve arkadaşları (2021) ÇDKNT'lerin yüzeyini mikrodalga destekli yöntem kullanarak Suzuki çapraz bağlama reaksiyonu ile modifiye etmiş ve hidrojen depolama kapasitesini basıncın bir fonksiyonu olarak belirlemişlerdir. En yüksek hidrojen depolama kapasitesine sahip örneğin ÇDKNT (N₂) olduğunu ve hidrojen depolama kapasitesinin ağırlıkça %0,45 olduğunu bulmuşlardır [80].



Şekil 4.5: ÇDKNT'nin hidrojen depolama kapasiteleri ve 10 bar'da modifiye işlemi yapılmış ÇDKNT numuneleri

Bu çalışmada ÇDKNT ve modifiye edilmiş karbon nanotüpler için hidrojen depolama kapasitesi değerleri literatürdeki sonuçlara benzer ve hatta bazılarında daha yüksek olduğu görüldü. Sonuçlardan da görülebileceği gibi karbon nanotüplerin hidrojen depolama kapasiteleri; karbon nanotüpün türüne, ölçüm koşullarına, karbon nanotüpün arıtma işlemlerine göre değişiklik göstermektedir. Sonuç olarak karbon nanotüplerin hidrojen depolama kapasitelerini iyileştirmek için doping, işlevselleştirme vb. gibi farklı işlemlere tabi tutulması gerekir.

Tablo 4.1: Bazı karbon nano malzemelerin hidrojen depolama kapasiteleri

Numuneler	Sıcaklık (K)	Basınç (MPa)	H ₂ O WT	Kaynaklar
ÇDKNT	298	0,36	0,03	[37]
TDKNT	298	0,36	0.05	[37]
ÇDKNT	77	0.1	0.54	42
TDKNT	77	2.5	0.55-0.60	[43]
B, N-KNT'ler	303	1.6	0.35	[35]
ÇDKNT	298	10	0.2	38
P-CTKNT	298	2	0.05	39
Grafit mikro kristaller	298	25	0.3	40
AKNT	298	2,45	1.1	41
ÇDKNT (N ₂)	77	2.5	0.45	44
KNT2	298	8	0.2	[17]
BKNT2	298	8	0.2	[17]
KNT3	298	8	0.2	[17]
BKNT3	298	2	0.2	[17]
ÇDKNT	77	-	0,281	Bu çalışmada,
ÇDKNT-OH	77	-	0.321	Bu çalışmada,
ÇDKNT-O-Schiff baz	77	-	0.370	Bu çalışmada,
ÇDKNT-O-Schiff baz-Cu	77	-	0.396	Bu çalışmada,

3.7 Sonuçlar

ÇDKNT'lerin hidroksil grubu, schiff bazı ve schiff baz metal kompleksleri ile yzey fonksiyonalizasyonu incelenmiştir. Fonksiyonel grupların ve bileşiklerin ÇDKNT'lerin yzeyine eklenmesi BET, SEM, FTIR ve DTA / TG teknikleriyle kanıtlanmıştır. ÇDKNT'nin BET yzey alanı hidroksilasyon ve Schiff baz işlevselleştirmesi ile azalırken, ÇDKNT-O-Schiff baz-M komplekslerinin genellekle ÇDKNT'nunkinden daha yksek olduğu gdrldü. ÇDKNT'lerin işlevselleştirilmesi, ÇDKNT'ler ve modifiye işlemi yapılmış ÇDKNT'ler arasındaki spektral farklılıklar karşılaştırılarak FTIR spektroskopisi ile doğrulanmıştır.

SEM kullanan morfolojik çalışma da modifiye işlemi yapılmış ÇDKNT'lerin toplanmadığını ve iyi dağıldığını gstermiştir. ÇDKNT tek adımda bozulurken, modifiye işlemi yapılmış ÇDKNT'ler u adımda bozuldu. Modifiye işlemi yapılmış ÇDKNT'lerin farklı hidrojen adsorpsiyon basınçlarında hidrojen depolama kapasitesi kriyojenik sıcaklıkta incelendi ve adsorpsiyon basıncının numunelerin depolama kapasitesinin arttırılmasında önemli bir rol oynadığı bulundu. Modifiye işlemi yapılmış ÇDKNT'ler, herhangi bir işlem yapılmamış ÇDKNT'lere kıyasla daha yksek hidrojen depolaması gsterdiği tespit edildi.

Yine ÇDKNT-O-Schiff baz-Cu kompleksinin, diğer ÇDKNT-O-Schiff baz-M komplekslerine kıyasla daha yksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu gdrldü. Bu modifiye yntemleri, ÇDKNT'lerin nanotüp bazlı polimer matris kompozitlerinde uygulama için spesifik polimerlerle kimyasal uyumluluğunun geliştirilmesine izin vermektedir. Bu nedenle nanokompozit sentezinde farklı polimerlerin termal, mekanik, elektriksel özelliklerini iyileştirmek için kullanılabilirler.

Özetle, bu modifiye işlemi gormüş ÇDKNT'ler, birçok biyomedikal uygulamada bir taşıyıcı olarak kullanılabilir; bu, aynı zamanda, çeşitli terapötik ajanları, enzimleri, proteinleri ve biyomolekülleri hastalık hedef bölgelerine yklemek ve iletmek için bu tür bir yzeyin etkili bir şekilde kullanılmasına ve olasılığına işaret etmektedir. Bu numuneler aynı zamanda biyoloji, enerji depolama, malzemeler, güneş pili vb. gibi

yeni uygulamalarda da kullanılabilir olduğunu kanıtlamıştır. Bu alanlar gelecekteki çalışmalarımızın odak noktası olacaktır.

4. KAYNAKLAR

- [1] Ö. E. K. Tosun , "Türkiye'de Sağlıklı Şehirler Planlama Çalışmaları", *Paradoks Ekonomi Sosyoloji ve Politika Dergisi*, c. 4, sayı. 1, ss. 1-8, Haziran 2008.
- [2] B. Tunçsiper ve Ş. Yakut, "Avrupa Birliği Ekonomik Parasal Birlik Hedefleri ve Türkiye nin Uyumu", *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c.1, s. 1, ss. 100-119, 1998.
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/baunsobed/issue/50358/652284>
- [3] Dersane.TV. "Enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarına ağırlık vermek ülkemize ve dünyamıza neler kazandırabilir? Düşüncelerinizi paylaşınız. " [Online] Erişim adresi: <https://www.dershane.tv/enerji-uretiminde-yenilenebilir-enerji-kaynaklarina-agirlik-vermek-ulkemize-ve-dunyamiza-neler-kazandirabilir-dusuncelerinizi-paylasiniz/> Erişim tarihi: 04.05.2021.
- [4] Hangi Bilgi. "Yenilenemez enerji kaynakları nelerdir? " [Online] Erişim adresi: <https://www.hangibilgi.com/yenilenemez-enerji-kaynaklari-nelerdir-liste.html> Erişim tarihi: 04.05.2021.
- [5] Concrete Trends. "Ghana sets aside us \$230M to promote energy. " [Online] Erişim adresi: <https://concretetrends.co.za/news/ghana-sets-aside-us-230m-to-promote-renewable-energy> Erişim tarihi: 04.05.2021.
- [6] L. Schlapbach and A. Züttel, " Hydrogen-storage materials for mobile applications" *Nature*, volume 414, pp. 353–358, 2001.
- [7] I. Kudo, " Development of photocatalyst materials forwatersplitting ", *International Journal of Hydrogen Energy*, 31, pp. 197 – 202, 2006 [8] J. O'M. Bockris, Energy, The Solar- HydrogenAlternative, 1975.
- [8] J. O'M. Bockris, " The Solar- Hydrogen Alternative", *Energy*, vol. 4, pp. 2079-2091, November 2011. DOI:10.3390/ma4122073
- [9] W. Fulkerson, R.J. Judkins, M.K. Sanghvi, "Energy From Fossil Fuels ", *Scientific American*, vol.263, No. 3, pp. 129-135, 1990. [10] 67th Edition BP Statistical Review of World Energy 2018.
- [10] R. B. Jackson, C. Le Quéré, R. M. Andrew, J. G. Canadell, J. I. Korsbakken, Z. Liu, G. P. Peters. and B Zheng. "Global energy growth is outpacing decarbonization", *Environ. Res. Lett.* Vol. 13, number 12, 5 December 2018.
- [11] S. Şallı, "Freiburg Şehir Yönetiminde İklim Korumacı Uygulamalar Üzerine Bir Derleme. " *Sayıştay Dergisi*, Sayı:103 SN: 1300- 1981, Ekim- Aralık 2016.

- [12] J.L. Bobet, E. Akiba, and B. Darriet, "Study of Mg-M (M=Co, Ni and Fe) Mixture Elaborated by Reactive Mechanical Alloying: Hydrogen Sorption Properties", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 26, pp. 493-501, 2001.
- [13] N. Deriş, *Geleceğin Yakıtı Hidrojen Kitabı*, Birsen, Basım Yılı 2006.
- [14] M. Climent, I. Ferrer, M. M. Baeza, A. Artola, F. Vázquez, X. Font, "Effects of thermal and mechanical pretreatments of secondary sludge on biogas production under thermophilic conditions.", *Chemical Engineering Journal*, Vol.133, No.1-3, pp. 335-342, 2007. DOI 10.1016/j.cej.2007.02.020
- [15] X. Wang, Q. Li, J. Xie, Z. Jin, J. Wang, Y. Li, K. Jiang, S. Fan, "Fabrication of ultralong and electrically uniform single-walled carbon nanotubes on clean substrates", *Nano Lett.*, vol. 9, pp. 3137-41, 2009. doi: 10.1021/nl901260b.
- [16] E. Orgaz, P. Dantzer, " Thermodynamics of the hydride chemical heat pump: III. Considerations for multistage operation", *Journal of the Less Common Metals*, Volume 131, Issues 1–2, Pages 385-398, 15 March 1987. [https://doi.org/10.1016/0022-5088\(87\)90538-8](https://doi.org/10.1016/0022-5088(87)90538-8)
- [17] P. Alafogianni, K. Dassios, C.D. Tsakiroglou, T.E. Matikas, N.M. Barkoula, " Effect of CNT addition and dispersive agents on the transport properties and microstructure of cement mortars.", *Construction and Building Materials*, pp. 197, 251-261, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.169>
- [18] S. Erkoç, *Nanobilim ve Nanoteknoloji Kitabı* ODTÜ Yayıncılık, Basım Yılı 2007.
- [19] K.N. Lalitha, G.K. Mohan, A. Uma, "Surface modification and non-covalent functionalization of single- walled carbon nanotubes and their characterization", *IJPSR*, pp. 3816-3824, 2019. DOI: 10.13040/IJPSR.0975-8232.10(8).3816-24
- [20] K.G. Dassios, P. Alafogianni, S.K. Antiohos, C. Leptokaridis, N. Barkoula and T. E. Matikas, "Optimization of Sonication Parameters for Homogeneous Surfactant-Assisted Dispersion of Multiwalled Carbon Nanotubes in Aqueous Solutions", *J. Phys. Chem. C*, pp. 7506–7516, 2015. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b01349>
- [21] N. H. A. Hassan, A. R. Mohamed, S. H. S. Zein, "Study of hydrogen storage by carbonaceous material at room temperature", *Diamond and Related Materials*, Volume 16, Issue 8, Pages 1517-1523, August 2007. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2006.12.042>
- [22] M. Doğan, M. Turan, P.T. Beliz, Z. Bicil, B.K. Kızılduman, "Thermal and kinetic properties of poly(vinylacetate)/modified MWCNT nanocomposites", *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, Volume 29, Issue 6, Pages 475-485, 17 Dec 2020. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1536383X.2020.1860945>
- [23] Y. Kanbur, Z. Küçükyavuz, "Surface modification and characterization of multi-walled carbon nanotube", *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*,

- [24] A. Aqel, KMM Abou El-Nour, RAA Ammar, A. Al-Warthan, " Carbon nanotubes, science and technology part (I) structure, synthesis and characterisation", *Arabian Journal of Chemistry*, Volume 5, Issue 1, Pages 1-23, January 2012. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535210001747?via%3Dihub>
- [25] G. Korneva, "Functionalization of Carbon Nanotubes", Doctor of Philosophy Thesis, Drexel University, Drexel, 8-26, 2008.
- [26] N. Karousis, N. Tagmatarchis and D. Tasis, "Current Progress on the Chemical modification of Carbon Nanotubes," *Chem. Rev.*, vol. 110, no. 9, pp. 5366–5397, 2010.
- [27] Türker L., "Hydrogen Storage Behavior of C116 System-AM1 Treatment", *Fuel and Energy Abstracts*, vol. 45, iss. 1, 2004. DOI: 10.1016/s0140-6701(04)91338-0
- [28] V. Meregalli, M. Parrinello, "Review of theoretical calculations of hydrogen storage in carbon-based materials", *Applied Physics A*, vol. 72, pp. 143–146, 2001. <https://doi.org/10.1007/s003390100789>
- [29] M. Yang, Y. Yang, Y. LIU, G. Shen, R. Yu, "Platinum Nanoparticles- Doped Sol Gel/Carbon Nanotubes Composite Electrochemical Sensors and Biosensors", *Biosensors and Bioelectronics*, Volume 21, Issue 7, Pages 1125-1131, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2005.04.009>
- [30] A. Elmas, "Çinkonun Perlit ve Kitosan Modifiye Perlit İle Adsorpsiyonu Ve Adsorpsiyon Özelliklerinin Karşılaştırılması," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2014.
- [31] D. Silambarasan, V. Vasu, K. Iyakutti, VJ. Surya, TR. Ravindran, " Reversible hydrogen storage in functionalized single-walled carbon nanotubes", *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, Volume 60, Pages 75-79, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.physe.2014.02.006>
- [32] M. L. Menezes, J. C. Moreira, and J. T. S. Campos, "Adsorption of Various Ions from Acetone and Ethanol on Silica Gel Modified with 2- , 3- , and 4- Aminobenzoate", *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 179, no. 204, pp. 207–210, 1996.
- [33] T. N. Veziroğlu and F. Barbir, "Hydrogen Energy Technologies, Emerging Technology Series", *UNIDO United Nations Industrial Development Organization*, Vienna 1998.
- [34] J.B.S. Haldane, "Daedalus or Science the Future", New York : E.P. Dutton & Company, February 4th ,1923. <https://www.worldcat.org/oclc/1172982>

- [35] I.I. Sikorsky, "Science and the Future of Aviation", *Electrical Engineering*, vol. 57, iss. 4, 1938. DOI: 10.1109/ee.1938.6431206
- [36] F. Lawaczek, "Technik Und Wirtschaft im Dritten Reich, Eher Verlag", *Munich, Eher*, graph. Darst. 32, 1932. <https://www.deutsche-digitale-bibliothek.de/item/QGZPCMD5ZGOE6SRIAW2MOVQHWLJ5FVMB> Erişim tarihi: 04.08.2020.
- [37] P. Hoffmann, *The Forever Fuel; The Story of Hydrogen*, Westview Press, Boulder, Colorado, 1981. ISBN 10: 0891585818
- [38] N. I. Alekseev et al., "Formation of Carbon Nanostructures in Electrolytic Production of Alkali Metals," *Russ. J. Appl. Chem.*, vol. 78, no. 12, pp. 1944–1947, 2005.
- [39] Atkinson K., Roth S., Hirscher M., Grünwald W., "Carbon Nanostructures: An efficient Hydrogen Storage Medium for Fuel Cells", *Fuel Cells Bulletin*, Vol.4, Issue.38, pp. 9-12, 2001.
- [40] F. L. Darkrim, P. Malbrunot, G. P. Tartaglia, "Review of Hydrogen Storage by Adsorption in Carbon Nanotubes", *Int. J Hydrogen Energy*, vol. 27, pp.193-202, 2002.
- [41] J. Wang, X. Ma, G. Fang, M. Pan, X. Ye, and S. Wang, "Preparation of iminodiacetic acid functionalized multi-walled carbon nanotubes and its application as sorbent for separation and preconcentration of heavy metal ions", *J. Hazard. Mater.*, vol. 186, no. 2–3, pp. 1985–1992, 2011.
- [42] V. T. Le, C. L. Ngo, Q.T. Le, T. T. Ngo, D. N. Nguyen, M. T. Vu, "Surface modification and functionalization of carbon nanotube with some organic compounds", *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, Volume 4, Number 3, 1 July 2013. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2043-6262/4/3/035017>
- [43] R. Rao, Q. Ling, H. Dong, X. Dong, N. Li, A. Zhang, "Effect of surface modification on multi-walled carbon nanotubes for catalytic oxidative dehydrogenation using CO₂ as oxidant", *Chemical Engineering Journal*, Volume 301, Pages 115-122, 1 October 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.04.109>
- [44] S. Salehi, F. Maghmoomi, S. Sahebian, S. M. Zebarjad, A. Lazzeri, "A study on the effect of carbon nanotube surface modification on mechanical and thermal properties of CNT/HDPE nanocomposite", *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, vol. 34, Issue 2, 2021. <https://doi.org/10.1177/0892705719838005>
- [45] D. Silambarasan, V. Vasu, K. Iyakutti, V. J. Surya, T. R. Ravindran, "Reversible hydrogen storage in functionalized single-walled carbon nanotubes" *Physica E:*

- Low-dimensional Systems and Nanostructures*, vol. 60, pp. 75-79, June 2014. <https://doi.org/10.1016/j.physe.2014.02.006>
- [46] A. Aqel, K. M. M. Abou El-Nour, R. A. A. Ammar, A. Al-Warthan, “Carbon nanotubes, science and technology part (I) structure, synthesis and characterization”, *Arabian Journal of Chemistry*, Vol. 5, iss. 1, pp. 1-23, January 2012. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2010.08.022>
- [47] M. Sankarana, B. Viswanathana, S. S. Murthy, “Boron substituted carbon nanotubes—How appropriate are they for hydrogen storage”, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 33, iss. 1, pp. 393-403, January 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2007.07.042>
- [48] M.C. Nguyen, M. H. Cha, J. Bae, Y. Kim, M. Kim, J. Ihm, “Calcium-decorated, hydroxylated single-walled carbon nanotubes for hydrogen storage: A First-principles study”, *Chem Phys Chem.*, vol. 12, iss. 4, pp. 777-780, 14 March 2011. <https://doi.org/10.1002/cphc.201000790>
- [49] S. Ghosh, V. Padmanabhan, “Adsorption of hydrogen on single-walled carbon nanotubes with defects”, *Diamond and Related Materials*, vol. 59, pp. 47-53, October 2015. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2015.09.004>
- [50] W. Liu, E. Setijadi, L. Crema, R. Bartali, N. Laidani, K. F. Aguey-Zinsou, G. Speranza, “Carbon nanostructures/Mg hybrid materials for hydrogen storage”, *Diamond and Related Materials*, vol. 82, pp. 19-24, February 2018. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2017.12.003>
- [51] N. H. A. Hassan, A.R. Mohamed, S. H. S. Zein, “Study of hydrogen storage by carbonaceous material at room temperature”, *Diamond and Related Materials*, vol. 16, iss. 8, pp. 1517-1523, August 2007. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2006.12.042>
- [52] J. Kathi, K. Rhee, J. H. Lee, “Effect of chemical functionalization of multi-walled carbon nanotubes with 3-aminopropyltriethoxysilane on mechanical and morphological properties of epoxy nanocomposites”, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Volume 40, Issues 6–7, Pages 800-809 July 2009. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2009.04.001>
- [53] S. Li, Z. Wang, J. Jia, C. Hou, X. Hao, H. Zhang, “Preparation of hydroxyl and (3-aminopropyl) triethoxysilane functionalized multiwall carbon nanotubes for use as conductive fillers in the polyurethane composite”, *Polymer Composites*, Vol. 39, iss. 4, pp. 1212-1222, April 2018. <https://doi.org/10.1002/pc.24054>
- [54] IC. Chisem, J. Rafelt, J. Chisem, J. H. Clark, D. Macquarrie, M. T. Shieh, R. Jachuck, C. Ramshav, K. Scott, “Catalytic oxidation of alkyl aromatics using a novel silica supported Schiff base complex”, *Chem. Commun.*, iss. 18, pp 1949-1950, 1998. <https://doi.org/10.1039/A805420G>

- [55] M. Ghorbanlooa, H. H. Monfared, C. Janiak, “The catalytic function of a silica gel-immobilized Mn (II)-hydrazide complex for alkene epoxidation with H₂O₂”, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, vol. 345, iss. 1–2, pp. 12-20, 5 July 2011. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2011.05.014>
- [56] R. N. Muthu, S. Rajashabala, R. Kannan, “Hexagonal boron nitride (h-BN) nanoparticles decorated multi-walled carbon nanotubes (MWCNT) for hydrogen storage”, *Renewable Energy*, vol. 85, pp. 387-394, January 2016. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.056>
- [57] E. E. Doğan, “Hydrogen Production and Its Storage from Solar Energy”, *Advances in Materials Science*, vol. 20, iss. 2, June 2020. <https://dx.doi.org/10.2478/adms-2020-0007>
- [58] A. Lale, S. Bernard, UB Demirci, “Boron Nitride for Hydrogen Storage”, *Chem. Plus. Chem.*, vol. 83, iss. 10, pp. 893-903, October 2018. <https://doi.org/10.1002/cplu.201800168>
- [59] T. Ramanathan, F. T. Fisher, R. S. Ruoff, L. C. Brinson, “Amino-functionalized carbon nanotubes for binding to polymers and biological systems”, *Chemistry of Materials*, vol. 17, iss. 6, pp. 1290–1295, 2005. <https://doi.org/10.1021/cm048357f>
- [60] K. G. Dassios, P. Alafogianni, S. K. Antiohos, C. Leptokaridis, T. E. Matikas, “Optimization of sonication parameters for homogeneous surfactant-assisted dispersion of multiwalled carbon nanotubes in aqueous solutions”, *The Journal of Physical Chemistry C*, vol. 119, iss. 13, pp. 7506–7516, 5 March 2015. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b01349>
- [61] Y. Kanbur, Z. Küçükyavuz, “Surface Modification and Characterization of Multi-Walled Carbon Nanotube”, *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, Volume 19, Issue 6, 2011. <https://doi.org/10.1080/1536383X.2010.494778>
- [62] A. Aqel, K. M. M Abou El-Nour, R. A. A. Ammar, A. Al-Warthan, “Carbon nanotubes, science and technology part (I) structure, synthesis and characterisation”, *Arabian Journal of Chemistry*, Volume 5, Issue 1, Pages 1-23, January 2012. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2010.08.022>
- [63] K. N. Lalitha, G. K. Mohan, A. Uma, “Surface modification and non-covalent functionalization of siglewalled carbon nanotubes and their characterization”, *IJPSR*, vol. 10(8), pp. 3816-3824, 2019. E-ISSN: 0975-8232; P-ISSN: 2320-5148
- [64] O. V. Kharissova, B. I. Kharisov, E. G. C. Ortiz, “Dispersion of carbon nanotubes in water and non-aqueous solvents”, *RSC Advances*, iss. 47, 2013. DOI: 10.1039 / c3ra43852j
- [65] M. Doğan, Y. Turhan, M. Alkan, H. Namlı, P. Turan, Ö. Demirbaş, “Functionalized sepiolite for heavy metal ions adsorption”, *Desalination*, vol. 230,

Issues 1–3, Pages 248-268, 30 September 2008.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.11.029>

- [66] C. Velasco-Santos, A. L. Martinez-Hernandez, M. Lozada-Cassou, A. Alvarez-Castillo, V. M. Castano, “Nanotechnology Chemical functionalization of carbon nanotubes through an organosilane”, *Nanotechnology*, vol. 13, Number 4, 3 July 2002. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/13/4/311>
- [67] V. Datsyuk, M. Kalyva, K. Papagelis, J. Parthenios, D. Tasis, A. Siokou, I. Kallitsis, C. Galiotis, “Chemical oxidation of multiwalled carbon nanotubes”, *Carbon*, Volume 46, Issue 6, Pages 833-840, May 2008. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2008.02.012>
- [68] S. Li, Z. Wang, J. Jia, C. Hou, C. Hao, H. Zhang, “Preparation of hydroxyl and (3-aminopropyl) triethoxysilane functionalized multiwall carbon nanotubes for use as conductive fillers in the polyurethane composite”, *Polymer Composites*, Volume 39, Issue 4, Pages 1212-1222, April 2018. <https://doi.org/10.1002/pc.24054>
- [69] T. Gao, J. Yu, Y. Zhou, X. Jiang, “Performance of Xanthate-Modified Multi-Walled Carbon Nanotubes on Adsorption of Lead Ions”, *Water, Air, & Soil Pollution An International Journal of Environmental Pollution*, 228, Article number: 172, Published 09 April 2017. <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3359-8>
- [70] M. M. A. Nikje, A. Yaghoubi, “Preparation and properties of polyurethane/functionalized multi-walled carbon nanotubes rigid foam nanocomposites”, *Polimery*, vol. 59, iss. 11/12, pp 776–782, 2014. DOI: [dx.doi.org/10.14314/polimery.2014.776](https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=00322725&AN=99775519&h=H3L8VCGlZhplNLIryp%2F7w6ZLnk4BahROLcp1q%2BizTd7xqerlLwCUeoARcFQWxw%2BihLiaUJFqkK8ltsxCWvZ0g%3D%3D&crl=f)
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=00322725&AN=99775519&h=H3L8VCGlZhplNLIryp%2F7w6ZLnk4BahROLcp1q%2BizTd7xqerlLwCUeoARcFQWxw%2BihLiaUJFqkK8ltsxCWvZ0g%3D%3D&crl=f>
- [71] S. V. Sawant, S. Banerjee, A. W. Patwardhan, J. B. Joshi, K. Dasgupta, “Synthesis of boron and nitrogen co-doped carbon nanotubes and their application in hydrogen storage”, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 45, Issue 24, Pages 13406-13413, 5 May 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.03.019>
- [72] M. Doğan, P. Sabaz, Z. Bicil, B. K. Kizilduman, Y. Turhan, “Activated carbon synthesis from tangerine peel and its use in hydrogen storage”, *Journal of the Energy Institute*, Volume 93, Issue 6, Pages 2176-2185. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2020.05.011>
- [73] G. G. Tibbetts, G. P. Meisner, C. H. Olk, “Hydrogen storage capacity of carbon nanotubes, filaments, and vapor-grown fibers”, *Carbon*, Volume 39, Issue 15, pp. 2291-2301, December 2001. [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(01\)00051-3](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(01)00051-3)

- [74] S. H. Barghi, T. T. Tsotsis, M. Sahimi, “Chemisorption, physisorption and hysteresis during hydrogen storage in carbon nanotubes”, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 39, Issue 3, Pages 1390-1397, 16 January 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.10.163>
- [75] H. Liu and Y. Li, “Modified carbon nanotubes for hydrogen storage at moderate pressure and room temperature”, *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, Volume 28, Issue 8, 2020. <https://doi.org/10.1080/1536383X.2020.1738396>
- [76] H. Wakayama, “Hydrogen storage of a mechanically milled carbon material fabricated by plasma chemical vapor deposition”, *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, Volume 28, Issue 10, 2020 <https://doi.org/10.1080/1536383X.2020.1769608>
- [77] T. Zhaou, G. Li, L. Liu, L. Du, Y. Liu and T. Li, “Hydrogen storage behavior of amorphous carbon nanotubes at low pressure and room temperature”, *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, Volume 19, Issue 8, 2011 <https://doi.org/10.1080/1536383X.2010.515757>
- [78] S. Lee and S. Park, “Influence of the pore size in multi-walled carbon nanotubes on the hydrogen storage behaviors”, *Journal of Solid-State Chemistry*, Volume 194, Pages 307-312, October 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2012.05.027>
- [79] A. Sharma, “Investigation on platinum loaded multi-walled carbon nanotubes for hydrogen storage applications”, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 45, Issue 4, Pages 2967-2974, 24 January 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.11.093>
- [80] U. Çalışır, B. Çiçek, M. Doğan, “Aril Fonksiyonlu MWCNT'lerin Mikrodalga Destekli Çapraz Bağlanma Sentezi ve Hidrojen Depolama Özelliklerinin İncelenmesi”, *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, to be published.

EKLER

5. EKLER

EK A: Deney Sırasından Bazı Görseller



Resim A.1: Fen ve Edebiyat Fakültesi 10 numaralı laboratuvar. Deneysel çalışmanın gerçekleştiği yer.



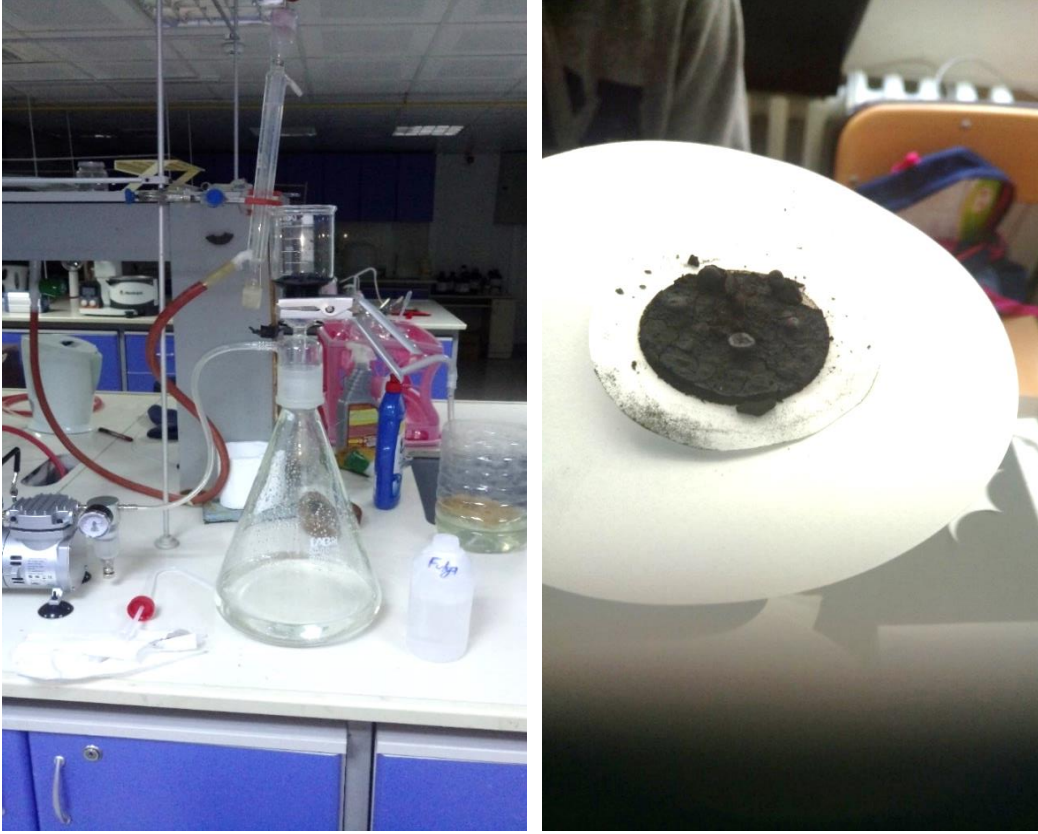
Resim A.2: Deneysel çalışmada kullanılan etanolün analitik saflaştırılma işlemi.



Resim A.3: Schiff Baz sentezinin gerçekleştirilmesi



Resim A.4: Sentezlenen Schiff Bazın ÇDKNT'e modifiye işlemi



Resim A.5: ÇDKNT ve ÇDKNT Modifeye örneklerinin vakum filtrasyon ile süzülmesi



Resim A.6: ÇDKNT'e metal komplekslerinin modifikasyon işlemi

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : FULYA KESTEL KARAMAN

Doğum tarihi ve yeri : 09.06.1993 - ÇORLU

e-posta : fulyakestel@hotmail.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü/Kimya Anabilim Dalı	2017-2021
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Necatibey Eğitim Fakültesi/Kimya Öğretmenliği	2012-2017
Lise	80.YIL CUMHURİYET LİSESİ DİYARBAKIR	2006-2010

Sunumlar

1. F. Kestel, R. Benlikaya, S.Şenol, “Ağartma Toprağı Olarak Bentonit-Karbon Nanotüp Karışımlarının Kullanılmasının Kanola Yağından Renk Pigmentlerinin Uzaklaştırılmasına Etkisi” 17. Ulusal Kil Sempozyumu 3-4.10.2017 MUĞLA
2. F. Kestel, F. Pehlivan, U. Çakır, M. Doğan “Organo-Modifiye Kabon Nanotüplerin entezi, Karakterizasyonu ve Hidrojen Depolamada Kullanımı” Biological and Chemical Scinces 26-27.04.2018 ANKARA