



**İŞKİN BİTKİSİNDEN KARBON NOKTA
YAPILARIN YEŞİL SENTEZİ VE SCHOTTKY
DİYOT FABRİKASYONU**

Muhammed Taha DURMUŞ

Danışman: Doç. Dr. Ebru BOZKURT

Yüksek Lisans Tezi

Nanobilim ve Nanomühendislik Ana Bilim Dalı

2023

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
NANOBİLİM VE NANOMÜHENDİSLİK ANA BİLİM DALI

**IŞKIN BİTKİSİNDEN KARBON NOKTA YAPILARIN YEŞİL SENTEZİ VE
SCHOTTKY DİYOT FABRİKASYONU**

(Green Synthesis of Carbon Dot Structures from *Rheum Ribes* Plant and Schottky Diode
Fabrication)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed Taha DURMUŞ

Danışman: Doç. Dr. Ebru BOZKURT

Erzurum
Ağustos, 2023

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Muhammed Taha DURMUŞ tarafından hazırlanan “Işkın Bitkisinden Karbon Nokta Yapıların Yeşil Sentezi ve Schottky Diyot Fabrikasyonu” başlıklı çalışması 18/08/2023 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Nanobilim ve Nanomühendislik Ana Bilim Dalı, Nanobilim ve Nanomühendislik Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof. Dr. Mahmut TOPRAK
Bingöl Üniversitesi

Aslı Islak İmzalıdır

Danışman: Doç. Dr. Ebru BOZKURT
Atatürk Üniversitesi

Aslı Islak İmzalıdır

Jüri Üyesi: Doç. Dr. Kübra ÇINAR DEMİR
Atatürk Üniversitesi

Aslı Islak İmzalıdır

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

Aslı Islak İmzalıdır

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) kapsamında desteklenmiştir.

Proje No:
FYL-2023-11842

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Doç. Dr. Ebru BOZKURT danışmanlığında sunulan “**Işkın Bitkisinden Karbon Nokta Yapıların Yeşil Sentezi ve Schottky Diyot Fabrikasyonu**” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	%11	30
Kuramsal Temeller	%9	30
Materyal ve Metot	%27	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	%12	20
Sonuçlar ve Öneriler	%0	20
Tezin Geneli	%16	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Muhammed Taha DURMUŞ	Doç. Dr. Ebru BOZKURT
2.8.2023	2.8.2023
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ile yüksek lisans tezimin her aşamasında; yardımını ve hoşgörüsünü esirgemeyen, tüm çalışmalarında bana yol gösteren ve fikirleri ile beni yönlendiren değerli hocam Sayın Doç. Dr. Ebru BOZKURT'a, diyet çalışmalarındaki katkılarından dolayı Öğr. Gör. Fatma YILDIRIM'a,

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde maddi imkân sağlayan Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimine, analiz çalışmalarındaki katkılarından dolayı Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (DAYTAM)'ne,

Bu zorlu süreçte her türlü fedakârlığı, saygıyı, anlayışı ve desteği esirgemeyen değerli aileme,

Teşekkürü borç bilirim.

Muhammed Taha DURMUŞ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

IŞKIN BİTKİSİNDEN KARBON NOKTA YAPILARIN YEŞİL SENTEZİ VE SCHOTTKY DİYOT FABRİKASYONU

Muhammed Taha DURMUŞ

Danışman: Doç. Dr. Ebru BOZKURT

Amaç: Bu tez çalışmasında, doğal bir materyal olan ışkın bitkisi (*Rheum Ribes*) ilk defa kullanılarak hidrotermal sentez yöntemi ile tek aşamada yeni karbon nokta yapılar (CDs) sentezlemek ve tamamen doğal bir materyal ile elde edilen yeni CDs kullanılarak diyot fabrikasyonu alanındaki çalışmalara katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

Yöntem: CDs, literatürde yaygın olarak tercih edilen hidrotermal sentez yöntemi ile elde edilmiştir. Elde edilen bu karbon nokta yapıların morfolojisi ve boyutları için TEM, Zetasizer cihazları kullanılmış olup, yapısal karakterizasyonları için XRD, XPS, FT-IR Spektrofotometresi ve Mikro Raman Spektroskopisi cihazları kullanılmıştır. CDs'ın optiksel karakterizasyonu ise absorpsiyon ve durgun hal floresans ölçümleri ile yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında silisyum substrat üzerine damlatılarak buharlaştırma yoluyla CDs ince filmi oluşturulmuştur. Son aşamada oluşturulan CDs film üzerine gölge maske tekniği ile altın buharlaştırılarak diyot yapısı elde edilmiş ve bu diyotun akım-voltaj karakteristiği incelenmiştir.

Bulgular: Tamamen doğal ürün olan ışkın bitkisinden hidrotermal sentez yöntemi ile CDs tek aşamada sentezlenmiş ve bu yeni doğal ürün temelli yarıiletken materyalin elektronik alanında önemli bir yeri olan schottky diyot fabrikasyonunda kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Sonuçlar: Işkın bitkisinden hidrotermal sentez yöntemi ile tek aşamada yeni karbon nokta yapılar (CDs) başarı ile sentezlenmiştir. Sentezlenen CDs'ın ortalama 1,5 nm boyutlarında küresel, negatif yüzey yüküne sahip ve yapısında %73,3 , %24,0 ve %2,7 oranlarında C, O ve N elementlerinin bulunduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte bu CDs'ın yaklaşık 394 nm'de floresans özelliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Tüm karakterizasyonları yapılan CDs, schottky diyot tasarımında yarıiletken materyal olarak kullanılmış ve schottky diyodun oluşumunu gösteren doğrultma davranışı sergilediği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeşil Sentez, Işkın Bitkisi, Schottky Diyot, Karbon Nokta Yapılar (CDs)

Ağustos 2023, 61 sayfa

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

GREEN SYNTHESIS OF CARBON DOT STRUCTURES FROM RHEUM RIBES PLANT AND SCHOTTKY DIODE FABRICATION

Muhammed Taha DURMUŞ

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ebru BOZKURT

Purpose: In this thesis, it is aimed to synthesize new carbon dot structures (CDs) in a single step by using a natural material *Rheum Ribes* for the first time, and to contribute to the studies in the field of diode fabrication by using new CDs obtained with a completely natural material.

Method: CDs were obtained by hydrothermal synthesis method, which is widely preferred in the literature. TEM and Zetasizer devices were used for the morphology and sizes of these carbon dot structures, and XRD, XPS, FT-IR Spectrophotometer and Micro Raman Spectroscopy devices were used for their structural characterization. Optical characterization of CDs was done by absorption and steady-state fluorescence measurements.

In the second part of the study, CDs were dropped onto the silicon substrate and a thin film was formed by evaporation. The diode structure was obtained by evaporating gold with shadow mask technique on the CDs film formed in the last stage, and the current-voltage characteristic of this diode was examined.

Findings: CDs were synthesized in a single step by hydrothermal synthesis method from the completely natural product of *Rheum Ribes* and it was determined that this new natural product-based semiconductor material could be used in Schottky diode fabrication, which has an important place in the field of electronics.

Results: New carbon dot structures (CDs) were successfully synthesized in a single step by hydrothermal synthesis method from *Rheum Ribes*. It has been determined that the synthesized CDs are spherical with an average 1.5 nm size, have a negative surface charge and contain 73.3%, 24.0% and 2.7% C, O and N elements in their structure. However, these CDs were determined to have fluorescence at approximately 394 nm. The CDs were used as semiconductor material in the Schottky diode design and it was observed that they exhibited rectification behavior indicating the formation of the Schottky diode.

Keywords: Green Synthesis, *Rheum Ribes* Plant, Schottky Diode, Carbon Dot Structures (CDs)

August 2023, 61 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	xi
GİRİŞ	1
Nanoteknoloji	1
Nanoteknolojinin Kullanım Alanları	1
İmalat sektöründe nanoteknoloji	2
Bilgisayar ve elektronik sektöründe nanoteknoloji	2
Sağlık sektöründe nanoteknoloji	3
Çevre ve enerji sektöründe nanoteknoloji	4
Tekstil sektöründe nanoteknoloji	4
Gıda sektöründe nanoteknoloji	5
Nanomalzemeler	5
Karbon Nokta Yapılar	5
Karbon Nokta Yapıların Sentezi	8
Yukarıdan Aşağıya Sentez Metotları	8
Aşağıdan Yukarı Sentez Metotları	10
Diyotlar	12
KURAMSAL TEMELLER	18
MATERYAL VE METOD	24
Kullanılan Kimyasal Maddeler, Alet ve Cihazlar	24
Numunelerin Hazırlanması	24
Karbon Nokta Yapıların Morfolojik ve Yapısal Karakterizasyonu	26
Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM)	26
Parçacık Boyutu ve Zeta Potansiyel Ölçüm Cihazı	27
X-Işını Kırınım Cihazı (XRD)	28
FT-IR Spektrometre	29

X-Işını Fotoelektron Spektrometre (XPS)	30
Mikro Raman Spektrometre	30
Absorpsiyon ve Floresans Spektrumlarının Alınması.....	31
Schottky Diyot Fabrikasyonu	32
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	34
Sentezlenen Karbon Nokta Yapıların (CDs) Yapısal ve Optiksel Karakterizasyonu.....	34
Sentezlenen Karbon Nokta Yapılardan (CDs) Schottky Diyot Fabrikasyonu	39
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	42
KAYNAKLAR	44



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Deneyisel çalışmalarda kullanılan cihazlar.....	24
---	----



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Kendini yenileyebilen nanoteknolojik materyal	2
Şekil 2. Nanoteknolojinin sağlık alanında kullanımları	3
Şekil 3. Dokuma yapılabilecek yapıda elektrik enerji üretip depolayabilen filament.....	4
Şekil 4. 2004-2016 yılları arasında CDs'ın yer aldığı bilimsel yayın sayısı	6
Şekil 5. Karbon nokta yapıların sınıflandırılması	7
Şekil 6. Yukarıdan aşağı ve aşağıdan yukarı sentez metotlarının şematik gösterimi	8
Şekil 7. Yukarıdan aşağı sentez metotları.....	9
Şekil 8. Aşağıdan yukarı sentez metotları	10
Şekil 9. Hidrotermal sentez kabı (otoklav) genel şeması	12
Şekil 10. Diyotun genel şeması	13
Şekil 11. Diyotun doğru polarlanması durumu	14
Şekil 12. Schottky diyotun temel yapısı.....	14
Şekil 13. İdeal bir metal-n-tipi yarı iletken kontağın enerji bant diyagramı	15
Şekil 14. $\phi_m > \phi_s$ için metal/n-tipi yarı iletken kontağı enerji bant diyagramları; (a) Malzemelerin birbirinden ayrı iken denge durumları. (b) Malzemelerin kontak sonrasındaki denge durumu	16
Şekil 15. Fesleğen bitkisinin yapraklarından floresans karbon kuantum nokta yapı sentezi. ..	18
Şekil 16. Ayva meyvesi floresans karbon kuantum nokta yapı sentezi.	19
Şekil 17. Hongcитай'den floresans karbon kuantum nokta yapı sentezi.....	20
Şekil 18. Kivi meyvesinden floresans karbon kuantum nokta yapı sentezi.	21
Şekil 19. Durian meyvesi kabuklarından floresans karbon kuantum nokta yapı sentezi.	21
Şekil 20. Banyan incirinden floresans karbon kuantum nokta sentezi ve schottky diyot fabrikasyonu.....	23
Şekil 21. Hidrotermal sentez aşamaları	25
Şekil 22. Sulu süspansiyonun süzülme aşamaları	25
Şekil 23. Süzüntünün santrifüj işlemine tabi tutulması.....	26
Şekil 24. Geçirimli Elektron Mikroskopunun (TEM) basit şeması.....	27
Şekil 25. Zetasizer'ın optik konfigürasyonu	28
Şekil 26. Bir X-ışını kırınım cihazının şeması	29
Şekil 27. Bruker Vertex 70 FTIR spektrometre.....	29
Şekil 28. Tipik bir X-ışını fotoelektron spektrometrenin yapısı	30
Şekil 29. Mikro raman cihazının yapısı.....	31
Şekil 30. Tek ışık yollu ultraviyole-görünür bölge spektrofotometresi.....	32

Şekil 31. Bir florometre ya da spektrofiorometrenin bileşenleri.....	32
Şekil 32. Karbon nokta yapılara dayalı schottky diyot fabrikasyonunun şematik gösterimi ...	33
Şekil 33. Karbon nokta yapının (a) TEM görüntüsü (b) boyut dağılım diyagramı	34
Şekil 34. Karbon nokta yapının XRD spektrumu.....	35
Şekil 35. Karbon nokta yapının FTIR spektrumu	36
Şekil 36. Karbon nokta yapının XPS spektrumu.....	36
Şekil 37. Karbon nokta yapının Raman spektrumu.....	37
Şekil 38. CDs'ın UV-vis. absorpsiyon ve floresans spektrumları ($\lambda_{eks}=320$ nm)	38
Şekil 39. 300-400 nm aralığında çeşitli uyarma dalgaboylarında CDs'ın (a) floresans (b) normalize floresans spektrumları	39
Şekil 40. Si/CDs/Au dayalı Schottky bariyer diyotu için (a) doğrusal (b) logaritmik I–V karakteristik grafiği	40
Şekil 41. Si/CDs/Au dayalı Schottky bariyer diyotu için C–V karakteristik grafiği	41

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

GQDs	: Grafen kuantum nokta yapılar
CQDs	: Karbon kuantum nokta yapılar
CPDs	: Karbonize polimer nokta yapılar
CDs	: Karbon nokta yapılar
E_c	: İletkenlik bandı
E_v	: Valans bandı
E_f	: Fermi enerji Seviyesi
ϕ_b	: Kontak yapının İş fonksiyonu
ϕ_m	: Metalin iş fonksiyonu
ϕ_s	: Yarı iletkenin iş fonksiyonu

GİRİŞ

Nanoteknoloji

Nano kelimesi Yunanca kökenli olup “çok küçük bir şey, cüce” anlamına gelmektedir. Bilimsel anlam olarak ise herhangi “fiziksel büyüklüğün bir milyarda biri” olarak tanımlanmaktadır (Dikme, Padak, et al. 2022). Her ne kadar nanoteknoloji ile ilgili olarak yapılan araştırmalar yakın geçmişimizi kapsamış olsa da nanoteknolojinin kullanımı tarihte çok eski zamanlara dayanmaktadır. İnsanlar bu teknolojiyi birçok eşyada kullanmış fakat sebep sonuç ilişkisine vakıf olamamışlardır. Örneğin; Romalılar tarafından MS 4. yüzyılda kullanılan Lycurgus Kupası verilebilir. Bu kupa antik cam endüstrisindeki en olağanüstü başarıyı temsil etmektedir ve kupada bulunan camlar doğrudan ışık altında yeşil görünürken, ışık camdan parladığında ise kırmızı-mor renk almaktadır. Bu durumun aydınlatılması için yapılan çalışmalar sonrasında farklı ışık şiddetlerinde farklı renk yansımalarının alınmasında 50-100 nm boyutunda nanoparçacıkların etkisinin olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca orta çağ kiliseleri ve 9-17. yüzyıllarda yapılmış olan İslam eserlerinin birçoğunda bu nanoparçacıkların kullanıldığı cam ve seramik yapılar göze çarpmaktadır (Dikme, Padak, et al. 2022). Bu örneklerdeki gibi birçok malzeme günümüzdeki nanobilimin temelini atılması olarak kabul edilebilir. Bugün bu temelin üzerine birçok etkin çalışmalar yapılmış ve bu bilim dalı daha ileri noktalara taşınmıştır. Çalışmamızın temelini oluşturan nanoteknoloji halen gelişiminin başlangıç aşamasında olduğu ve yakın gelecekte daha çok çalışmanın odak noktasında olacağı açıktır (Grubu, et al. 2023).

Nanoteknolojinin Kullanım Alanları

Nanoteknoloji ile fiyat, üretim maliyeti, ağırlık, fonksiyonellik gibi alanlarda daha verimli malzemeler üretilmektedir. Bunları temel sebebi nano boyuta inildikçe farklılaşan madde özellikleridir (Ersöz, et al 2018). Boyuttaki değişimler sebebiyle oluşan yeni özellikler incelenerek bu farklılıkların farklı bilimsel çalışmalarda kullanılabilirliğinin artırılmasını hedeflendiği söylenilebilir (Berra S., G. Sevil A., et al. 2013). Bu bilimsel çalışmaların sonucu olarak nanoteknoloji gündelik yaşamda birçok alanda karşımıza çıkmaya başlamıştır. Üretilen bu malzemeler, benzer malzemelere göre daha güçlü, daha hafif hatta kullanım süreleri çok daha uzun olabilmektedir (Ersöz, et al 2018).

Nanoteknolojik malzemelerde meydana gelen bu özelliklerin başlıca sebepleri bu boyutta ortaya çıkan kuantum özellikler ve yüzey alanlarının yüksek olmasıdır. Örnek verilecek olursa 30 nm boyutundaki parçacığın yüzeyinde bulunan atom sayısı tüm atom sayısının %5'i

iken, bu değ er 10 nm boyutundaki bir parçacık için %20 değ erlerindedir. Bu değ erlerden de anlaşılacağı gibi nano boyutta parçacığın yüzey alanı/hacim oranı artmaktadır. Bu artış, nano boyuttaki parçacığın reaktivite, direnç, elektriksel ve optiksel özellikler gibi birçok  zellikliğini büyük boyutlu parçacıklara göre farklı kılmaktadır (Ersöz, et al 2018). Bu özelliklere ek olarak normal dünyada büyük etkileyici öneme sahip bazı kuvvetler nano boyutta önemsiz hale gelmektedir. Örneğin boyut küçüldükçe yüzey alanı artmakta ve Van der Waals ve yüzey etkileşimleri de buna bağlı olarak artmaktadır. Nano boyutlara inildikçe gözlenen bu değişimler nanoteknolojinin kullanım alanlarını oldukça genişletmektedir. Bu alanlara bazı örnekler aşağıda verilmiştir.

 malat sektöründe nanoteknoloji

Nanoteknoloji yukarıda belirtilen farklı özelliklerden ötürü özellikle farklı fonksiyondaki yüzeylerde, özel kaplama türlerinde karşımıza çıkmaktadır. Kendini temizleyen yüzeyler buna iyi bir örnektir. Yüksek aktivasyona sahip nanoparçacıklar ile kaplanmış yüzey su tutmamakta ek olarak antibakteriyel özellikler göstermektedirler. Farklı bir örnek ise dokunmaya duyarlı ve uygun oda sıcaklığında kendini yenileyip kesilme vb. durumda kendini iyileştirebilen sentetik malzemelerdir (şekil 1).



şekil 1. Kendini yenileyebilen nanoteknolojik materyal (Ersöz, et al 2018)

Bilgisayar ve elektronik sektöründe nanoteknoloji

Nanoteknolojik gelişimler sonucunda yüksek hız ve performansa sahip malzemelerin daha ekonomik ve uygun fiyatlarla üretilmesi hedeflenmektedir. Günümüzde yapılan çalışmalar neticesinde bu hedefe hizmet eden cihazlar üretilmiş ve üretilmeye devam edilmektedir. Bu duruma örnek olarak verilebilecek en iyi malzeme transistörlerdir. Bu malzemeler modern bilgisayarların temelini oluşturmakta ve yüksek anahtarlama özellikleri sayesinde yalnız bilgisayarlarda değil tablet telefon gibi birçok elektronik malzemede kullanılmaktadırlar. Bu

özellikleri bilişim sektöründe performansı doğrudan etkilemekte ve bu etkileşim yapıda bulunan transistör sayısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu sebeple bu yapıların boyutlarının küçültmeye yönelik çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalar neticesinde yüzyılımızın başlarında 130 ile 250 nm boyutlarında olan transistörler, günümüzde 1 nm boyutlarına kadar küçültülebilmektedir (Ersöz, et al 2018).

Transistörlere ek olarak nanoteknoloji elektronik uygulamalarında diyot ve güneş pillerinden robot teknolojilerine kadar yaygın bir alanda kullanılmakta ve kullanılmaya devam edilmektedir (Tüylek, et al. 2021).

Sağlık sektöründe nanoteknoloji

Sağlık alanında nano robotlar, nano boyutlu ilaç vb. dağıtım sistemleri sayesinde böbrek taşı kırma, kan damarlarından plakaları temizleme, tümör hücrelerinin teşhisi ve ilaç taşınması, gibi vücutta yapılacak birçok teşhis ve tedavi işlemlerinde kullanılmaktadırlar (Şekil 2) (Lehn. Et al. 2004).



Şekil 2. Nanoteknolojinin sağlık alanında kullanımları

Yukarıda da belirtildiği gibi nanoteknolojinin tıp alanında en yaygın kullanımı ilaç salınımıdır. Bu alanda birçok araştırma ve çalışma yapılmış ve bu çalışmalar ile nanoparçacıklara yüklenen ilaçların vücuda enjekte edilmesiyle hasta hücrelerin belirlenip tedavi edilmesini hedeflenmiştir. Günümüzde bu çalışmalar en yaygın olarak kanser ve tümörün tanısı ve tedavisinde kullanılmaktadır. Örneğin tümöre karşı olarak geliştirilen antikorlar demir oksit nanoparçacıklar ile işaretlenerek vücuda enjekte edilmektedir. Eğer vücutta aranan tümör var ise bu antikorlar tümör yüzeyindeki antijenlere yapışarak yapıyı işaretlemektedirler. Daha sonrasında MRI cihazı yardımı ile yapıya yapışan demir oksitlerin gönderdiği manyetik sinyaller algılanmakta ve yapı tespit edilmektedir. Bu yöntem sayesinde çok küçük boyutlarda tümörler bile tespit edilebilmektedir (Ersöz, et al 2018).

Çevre ve enerji sektöründe nanoteknoloji

Nanoteknolojinin; enerjinin üretim, depolama ve verimli kullanımı alanlarında kullanılması ile birlikte çevre kirliliğini azaltacak uygulamaları da bulunmaktadır (Ersöz, et al 2018). Örnek verilecek olursa; hava kirliliğinin önüne geçilmesi amacıyla nanoboyutlu boyalar kullanılmakta ve hava temizlenmektedir. Yapılan araştırmalar ile bu yapılarda kullanılan nano boyutlu boyaların, havayı %40 oranlarında temizlediği ve kirlenmeye karşı dayanıklı olmasının yanında binanın ısı yalıtımına da katkı sağladığı belirlenmiştir (Miray, et al. 2010).

Enerji alanında kullanımlarına örnek olarak enerji depolama üzerine yapılan çalışmalar verilebilir. Bu çalışmalarda pil boyutlarını artırmadan depolanan enerji miktarını artırmak hedeflenmiş ve bu amaçla nanoteller kullanılmıştır. Bu teller sayesinde yapının yüzey alanı artırılmış ve bununla doğru orantılı olarak yüzeyden transfer edilen elektron sayısı artırılmıştır. Bu sayının artışı ise doğal olarak daha fazla enerji depolanmasını beraberinde getirmiştir (Ersöz, et al 2018).

Tekstil sektöründe nanoteknoloji

Tekstil sektöründe kullanılan malzemelerin nano parçacıklar ile üretilmesi sonucunda leke tutmayan ve sıvı temasına karşı dayanıklı malzemeler üretilmektedir. Ek olarak malzeme yüzeyine nano boyutlu titanyum dioksit kaplanması ile güneş ışınları ile tepkimeye girip kir ve diğer organik malzemelerin yok edilmesini sağlayan giysiler üretilmiştir. Bu sektördeki diğer bir gelişme ise güneşten elektrik enerjisi üretilip depolayabilen ve tüm bu işlemlere ek olarak dokunabilecek özellikte nanoboyutlu malzemelerden üretilen hafif, ince ve esnek yapıdaki filamentlerdir (Şekil 3) (Ersöz, et al 2018).



Şekil 3. Dokuma yapılabilecek yapıda elektrik enerji üretilip depolayabilen filament (Ersöz, et al 2018)

Gıda sektöründe nanoteknoloji

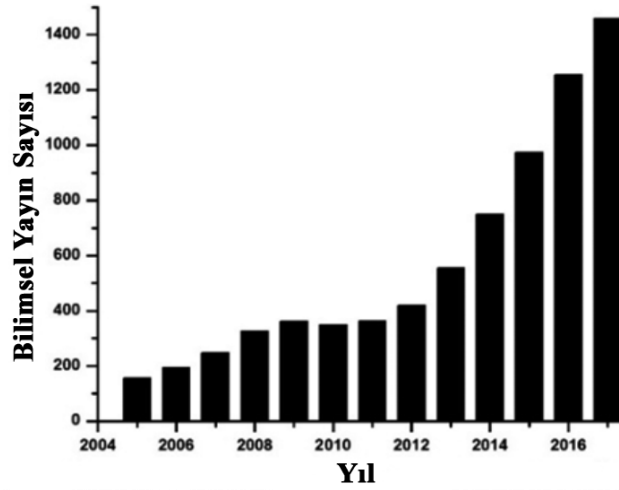
Bu sektördeki nanoteknolojik uygulamalar yeni olmakla birlikte daha dayanıklı ve besin değerleri daha yüksek gıdalar üretilmesi hedeflenmektedir. Bunun haricinde gıdaya yerleştirilen nanoboyutlu sensörler ile malzemede kontamine meydana gelmesi durumunda renk değiştiren ve uyarıcı bir etkiye sahip yapılar üretilmektedirler. Bu yapı benzeri malzemelerin geliştirilmesi sayesinde malzeme içerisinde toksit vb. zararlı malzemeler bulunması durumunda tüketicinin uyarılabilmesi ve daha güvenli gıda zincirinin oluşturulması mümkün olabilecektir. Bu çalışmalara ek olarak vücudun ihtiyacı olan malzemeleri vücudun daha işlevsel yerlerine ulaştırılmasını hedefleyen çalışmalarda bulunmaktadır (Ersöz, et al 2018).

Nanomalzemeler

Yukarıda belirtilen sektörlerde kullanılan ve nanoteknolojinin bir sonucu olarak karşımıza çıkan çalışmalar temelinde nanomalzemeler yatmaktadır. Bir malzemenin nanomalzeme olabilmesi için 100 nm altında boyutlara sahip olması gerekmektedir. Nano yapıları malzemelerin günümüzde, bilim insanlarının dikkatini bu denli çekmesindeki en önemli sebeplerden biri bu yapıların büyük ölçekli hallerine göre farklı kimyasal, fiziksel, optiksel ve elektriksel özellikler sergilemeleridir (Ateş, et al. 2015). Nano ölçekteki malzemeler, kütsel malzemelerin özelliklerinden ya da malzemenin moleküler haldeki özelliklerinden çok farklı olan yeni özelliklere sahiptirler. Parçacıklar yeterince küçük olduklarında ve nanoparçacık olarak nitelendirilebildiklerinde, mekanik özellikleri, elektromanyetik ışınımına ve diğer ışık türlerine karşı verdikleri tepki ve etkileşimleri değişebilmektedir (Gurmen, et al. 2008). Nanoparçacıklar ve bunlardan oluşan nanomalzemeler doğal yollarla oluşabilmektedirler. Nanoparçacıklar yerküredeki atmosferik yapının yanı sıra dünya dışından kozmik tozlar vb. yapılar sebebiyle de oluşabilmektedirler. Doğal oluşumların yanı sıra bilimsel çalışmaların bir neticesi olarak da nanomalzemeler üretilmektedirler.

Karbon Nokta Yapılar

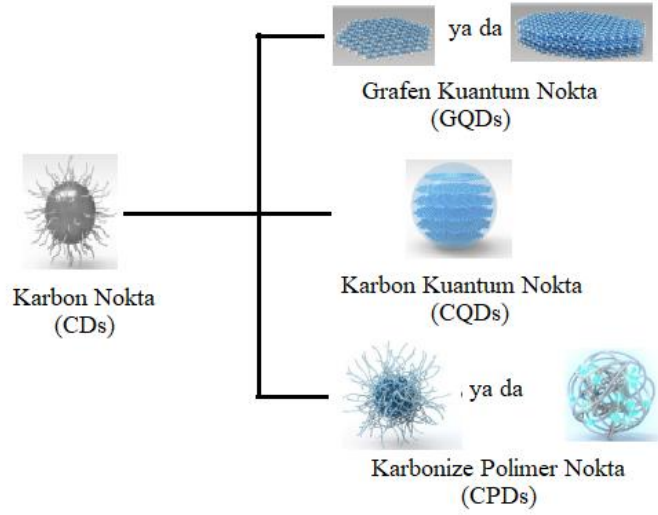
Nanoyapılar içerisinde en güncel olarak sayılabilecek türlerden birisi karbon nokta yapılarıdır. Bu yapılar kimyasal kararlılığı, suda çözünbilmesi, kolay sentezlenebilmesi ve işlevselleştirilebilme gibi özelliklerinden ötürü son zamanlarda literatürde yaygın çalışma alanı oluşturmaktadır (Şekil 4) (Bingöl, et al. 2023).



Şekil 4. 2004-2016 yılları arasında CDs’ın yer aldığı bilimsel yayın sayısı (Atabaev, 2018)

İlk olarak 2004 yılında tek duvarlı karbon nanotüplerin saflaştırılması ile Xu ve çalışma grubu tarafından keşfedilen karbon nokta yapılar (CDs), yeni tip karbon nanoparçacıklarıdır (Koutsogiannis et al. 2020). Karbon nokta yapılar floresans nanopartiküller içerisinde yeni bir sınıf olarak karşımıza çıkmaktadırlar (Biçer et al. 2020). 1-10 nm arasında boyutlara sahip kristal bir malzeme olan karbon noktalar yüzeyinde çok fazla fonksiyonel gruplar bulunan, karbonizasyon derecesi değiştirilebilen karbon materyalidir (Bingül, et al. 2023). Optik ve kimyasal özelliklerinden dolayı çok büyük ilgi görmekte ve elektrokataliz, biyo-görüntüleme, kimyasal-sensör, biyo-sensör, nanomedikal, biyomolekül/ilaç salınımı, ışık saçan diyotlar, fotokatalizör olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ayrıca lazerler, optoelektronik araç uygulamaları gibi alanlarda da umut verici uygulamaları bulunmaktadır.

Karbon nokta yapılar, farklı oluşum mekanizmalarına, mikro/nano yapılarına ve özelliklerine göre temel olarak grafen kuantum noktalar (GQDs), karbon kuantum noktalar (CQDs) ve karbonize polimer noktalar (CPDs) olarak sınıflandırılmaktadırlar (Şekil 5). GQD'ler, karbon kaynaklarından veya müteakip reaksiyonlardan kaynaklanan reaktanlardan türetilen, kenarlarında kimyasal gruplar içeren birkaç grafen katmanından oluşur. CQDs, yüzey gruplarına bağlı çok katmanlı grafit yapılardır. CPD'ler ise çapraz bağlı/toplanmış lineer polimerler veya küresel bir karbon çekirdeği etrafında toplanmış polimer zincirleri şeklindeki yapılardır (Liu et al. 2020).



Şekil 5. Karbon nokta yapıların sınıflandırılması (Liu et al. 2020)

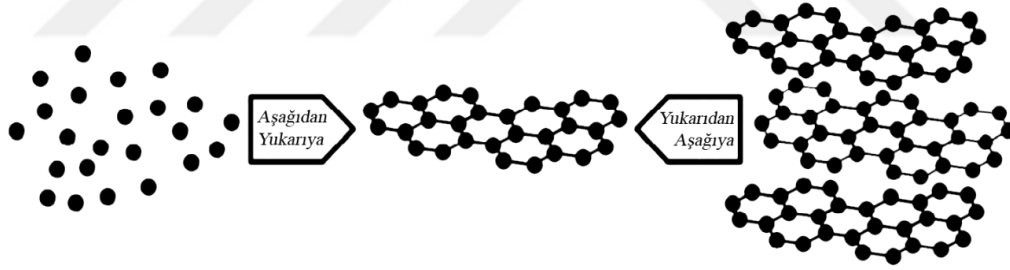
Nano malzemeler 100 nm altında kuantum özellikler göstermektedirler. Bu boyut altında, malzemede bulunan elektronlar küçük bir alana hapsedilir. Boyut küçüldükçe en yüksek değerlik bandı ile en düşük iletkenlik bandı arasındaki enerji farkı artar ve bu sebeple elektronları uyarmak için daha yüksek enerjiye ihtiyaç duyulur ve sonuçta daha fazla enerji salınır. Bu durum ise malzemeden yayılan ışığın kırmızıdan maviye doğru kaymasına neden olur. Bu da nokta boyutunun değiştirilmesi ile malzemeden yayılacak ışık renginin değiştirilebileceği anlamına gelmektedir (Pan ve ark., et al 2020).

Karbon kuantum noktalar yukarıda bahsedilen nanomalzemelerin genel özelliklerinden olan üstün optiksel özellikler göstermelerine ek olarak sentezlenen birçok malzemeden farklı olarak sentez aşamasında saldıgı toksik madde miktarları da oldukça düşüktür. Bu sebeple yeşil sentez çalışmalarında kullanılabilmektedir. Üretim maliyetleri ise birçok malzemeye göre daha düşüktür. Buna ek olarak biyo-uyumluluklarının yüksek olması tıp ve ilaç sektöründe kullanılabiliirliklerini artırmaktadır (Bingöl ve ark., et al. 2023). Ayrıca karbon kuantum noktalar, kimyasal ve optiksel özelliklerinden ötürü biyo-sensör ve görüntüleme teknolojilerinde, diyot, fotokatalizör ve optoelektronik alanları ile elektrik ve elektronik, kimya gibi alanlarda da yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Wang, et al 2013).

Karbon Nokta Yapıların Sentezi

Karbon nokta yapılar günümüzde sentetik ve organik malzemelerin kullanılması gibi birçok farklı materyal kullanılarak sentezlenebilirler. Bu sentez materyallerinden, son zamanlardaki çalışmalarda yaygın olarak doğal malzemeler kullanılmaktadır. Bu çalışmalarda doğal karbon kaynağı olarak pek çok bitki, meyve ve farklı organik materyaller kullanılabilir. Bitki gibi malzemelerin doğada bolca bulunmasından ötürü CDs sentezinde kullanılması hem maliyeti düşürmekte hem de çevre kirliliğinin önüne geçmektedir (Ojelade, et al. 2023). Bitkiler haricinde mikroorganizmalar da CDs sentezinde kullanılmaktadırlar. Fakat mikroorganizmalar, kültür oluşum sürelerinin uzun olması sebebiyle yaygın olarak kullanılmamaktadırlar. Ek olarak bazı mikroorganizmalar sentez sonrasında tehlikeli toksik atıklara da sebep olmaktadır (Sondi, et al. 2004). Bu çalışma kapsamında literatürde yer almayan ışkın bitkisi ile ilk kez karbon nokta yapılar sentezlenecektir.

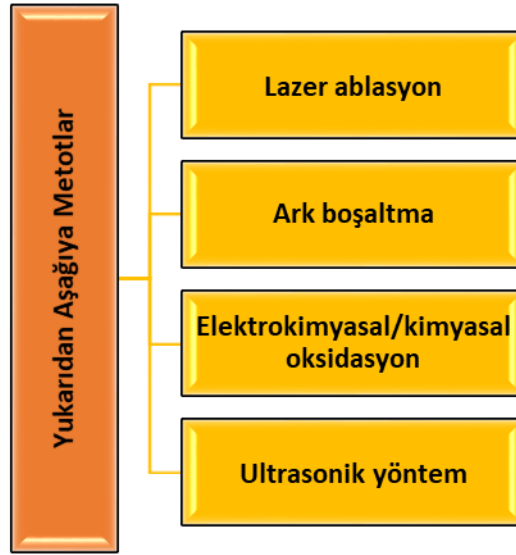
Doğal ürünler kullanılarak karbon nokta yapıların eldesinde birçok teknik kullanılmaktadır. Bu sentez metotları karbon kaynağına ve kullanılan işleme göre genel olarak yukarıdan aşağıya (top-down) ve aşağıdan yukarıya (bottom-up) olarak iki temel başlık altında toplanabilir (Şekil 6). Her iki yaklaşımında birbirlerine göre yöntem, karmaşıklık, maliyet vb. yönlerden farklılıkları bulunmaktadır (Uzun, et al. 2019).



Şekil 6. Yukarıdan aşağı ve aşağıdan yukarı sentez metotlarının şematik gösterimi (Ersöz, et al 2018)

Yukarıdan Aşağıya Sentez Metotları

Bu metotlarda yığın bir malzemeden çeşitli yöntemler kullanılarak istenilen boyutlarda ve yapıda malzeme elde edilmektedir. Yukarıdan aşağıya metodu ile hassas yapıların elde edilmesine imkân sağlanabilmektedir. Elektronik teknolojisinde kullanılan CMOS yapıları buna iyi bir örnektir. Fakat bu yöntemde elde edilecek yapıların boyutları küçüldükçe imalat maliyeti ve sistemin karmaşıklığı artmaktadır. Bu sebeple hem maliyet hem de karmaşıklığın önüne geçilebilecek yeni yöntem arayışları devam etmektedir (Uzun, et al. 2019). Yukarıdan aşağıya yaklaşımında nanoboyutlarda malzeme üretilebilmesi için içerisinde mekanik ve kimyasal aşındırma gibi birçok farklı metot uygulanabilmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Yukarıdan aşağı sentez metotları

Lazer ablasyon yöntemi, karbon nokta yapıların sentezi için bir lazer ve bir karbon kaynağının kullanılmasını içeren sentetik bir yöntemdir. Lazer ablasyonu, karbon nanopartiküllerin organik çözücüler içinde hızlı lazer pasivasyonu anlamına gelir. Bu yöntemin avantajı, hazırlanan karbon nokta yapıların parlak, ayarlanabilir ve kararlı fotolüminesans özelliklerine sahip olmasıdır. Dezavantajı ise lazer ablasyon ile hazırlanan karbon nokta yapıların genellikle ışılama, oksidasyon ve pasivasyon işlemlerine ihtiyaç duymasındır. Hazırlama yöntemi karmaşıktır, karbon nokta yapıların çıkışı düşüktür, parçacık boyutu dağılımı eşit değildir ve saflık düşüktür.

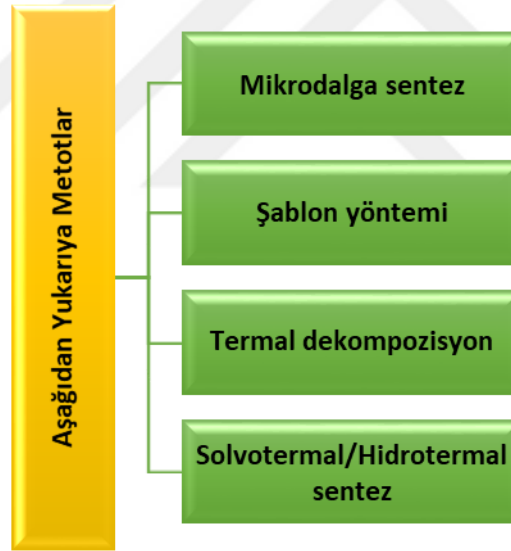
Karbon nokta yapıları hazırlamanın en eski yöntemi ark deşarj yöntemidir. Bu yöntemde belirli bir voltaj koşulunda gaz yüklü parçacıklar iletken olarak kullanılır ve güçlü bir akım ve yüksek sıcaklık üretilerek reaksiyon hızlandırılır. Hazırlanan karbon nokta yapıları küçük parçacık boyutuna ve yüksek oksijen içeriğine sahip olmasına rağmen, ark deşarjının bileşenlerinin karmaşık olması ve birçok safsızlık olması, bu nedenle hazırlanan karbon nokta yapıların ayrılması ve saflaştırılmasının zor olması, verimin çok düşük olması ve floresans kuantum veriminin de çok düşük olması bu yöntemin dezavantajlarıdır.

Elektrokimyasal/kimyasal oksidasyon, karbon nanotüpler ve grafit gibi bazı karbon malzemeleri elektrolize ederek karbon nokta yapıları hazırlama yöntemidir. Karbon nokta yapıların boyutunun ve lüminesans özelliklerinin akım yoğunluğunu değiştirerek ayarlanabilmesi, hazırlama maliyetinin düşük ve verimin yüksek olması gibi avantajları olan bu metotta, ürünün floresans kuantum verimi düşüktür (Chai, et al. 2022).

Ultrasonik yöntem çeşitli karbon nokta yapıları geliştirmek için etkili bir teknik olarak tanımlanmış olup literatürde bu yöntemle karbon nokta yapıların senteziyle ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bu teknikte, asit, alkali ve diğer oksidanlarla birlikte karbon öncülleri, karbon parçacıklarının çok küçük nanoparçacıklara kırılması için yüksek ultrason dalgaları altında tutulur. Ultrasonik dalgaların yüksek enerjisinin kullanılması, karmaşık işlem sonrası süreci ortadan kaldırır ve böylece küçük boyutlu karbon nokta yapıların kolay sentezi gerçekleştirilir (Khayal et al. 2021).

Aşağıdan Yukarı Sentez Metotları

Bu metotlarda küçük nano ölçekli bloklar kullanılarak daha büyük nano yapılar elde edilir. Bu yöntem ile yapı üzerinde daha fazla esneklik sağlanabilirken daha kontrollü üretim sağlanabilmektedir (Uzun, et al. 2019). Çevremizde ve kâinata var olan nanomalzemelerin çoğu bu yöntem ile oluşmuştur. Bu sebeple genellikle aşağıdan yukarıya üretim yöntemi organik malzemelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu metot altında birçok farklı yöntem geliştirilmiştir (Şekil 8).



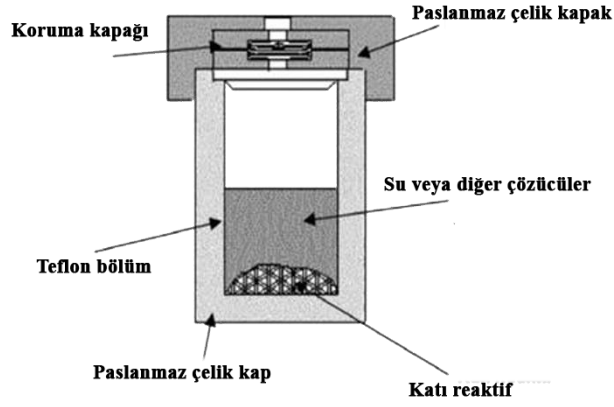
Şekil 8. Aşağıdan yukarı sentez metotları

Mikrodalga ısıtma, karbon nokta yapıları oluşturmak üzere tepken monomerleri polimerize etmek ve karbonize etmek ve sıcaklığı kısa sürede hızla yükseltmek için mikrodalga kullanan bir yöntemdir. Karbon noktaların sentezi için yeni ve hızlı bir yöntem sağlar. Deneyler, sabit yüksek basınçlı reaksiyon kabının, CDs'ın parçacık boyutu dağılımını ve fotolüminesans özelliklerini kontrol etmek için en iyi yöntemlerden biri olduğunu göstermektedir. Avantajları, uygun ve hızlı olması, hazırlama koşullarının basit olması, hammaddelerin kolayca bulunabilmesidir. Dezavantajı ise reaksiyon prosesinin kararsız olması, reaksiyon sıcaklığının kontrol edilmesinin zor olması ve floresans kuantum veriminin düşük olmasıdır.

Şablon sentezinin avantajı, karbon nokta yapıların boyutunun şablonun boyutu tarafından kontrol edilebilmesi ve sentez sürecinde karbon noktalarının kümelenmesinin azaltılabilesidir. Hazırlanan karbon noktaları, tekdüze bir boyuta ve yüksek floresans kuantum verimine sahiptir. Bu yöntemin dezavantajı ise bazı şablonların CDs'dan ayrılmasının zor olmasıdır ve CDs'ın floresans performansının, şablonları çıkarmak için asit temelli aşındırma veya ısıtma sürecinden etkilenebilmesidir.

Termal ayrışma tekniği, araştırmacılar tarafından CDs'ı sentezlemek için başka bir geleneksel aşağıdan yukarıya yaklaşım olarak kullanılmıştır. Bir malzeme veya bileşik, ısı etkisiyle sıradan termal ayrışmada kimyasal olarak ayrışır. Ayrışmaya yönelik termal reaksiyonlar tipik olarak endotermiktir. Bu tür ayrışma reaksiyonu ya geri döndürülemez ya da tersine çevrilebilir. Bu yöntemin avantajları arasında kullanım kolaylığı, daha az zaman alma, ucuz fiyat ve büyük ölçekli üretim sayılabilir (Khayal et al. 2021).

Hidrotermal yöntem, karbon kaynağı ve çözücüyü (su) karıştırarak ve otoklavda ısıtarak CDs hazırlamak için kullanılır. Hidrotermal yöntem CDs hazırlamak için en yaygın kullanılan yöntemdir. Reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi, CDs'ın optik özelliklerini ve kuantum verimini doğrudan etkileyen en önemli iki parametredir. Avantajları, hammadde kaynağının çok geniş olması, reaksiyon ekipmanının basit olması ve reaksiyon koşullarının kontrol edilmesinin kolay olmasıdır. Reaksiyon kapalı bir reaktörde gerçekleştirildiğinden, havadaki safsızlıkların etkisi önlenir (Şekil 9). Hazırlanan CDs nispeten üniformdur ve hidrotermal yöntemle sentezlenen CDs'ın çoğu iyi suda çözünürlüğe sahiptir. Dezavantajı, hidrotermal su ısıtıcısının sınırlı hacmi nedeniyle, bir seferde hazırlanan CDs'ın miktarının sınırlı olması ve hazırlanan CDs'ın daha fazla safsızlık üretmesidir. Bu da CDs'ın ayrılmasını ve saflaştırılmasını zorlaştırır. Bu nedenle büyük ölçekli endüstriyel üretim için uygun değildir. Hazırlanan CDs'ın boyutunun kontrol edilmesi zordur, bu da bu yöntemin kullanımını bir ölçüde sınırlamaktadır. Ek olarak, organik çözücülerin kullanılması nedeniyle solvotermal yöntem, yüksek sıcaklıkta hidrotermal yöntemden daha tehlikelidir ve reaksiyondan sonra aşırı organik çözücülerin son işlemi de özel dikkat gerektirmektedir (Chai, et al. 2022).



Şekil 9. Hidrotermal sentez kabı (otoklav) genel şeması (Kamacı, et al 2019)

Bu tez çalışmasında, literatürde yaygın olarak tercih edilen hidrotermal sentez yöntemi kullanılarak doğal materyal olarak ilk kez ıskın bitkisinden CDs sentezlenmiştir.

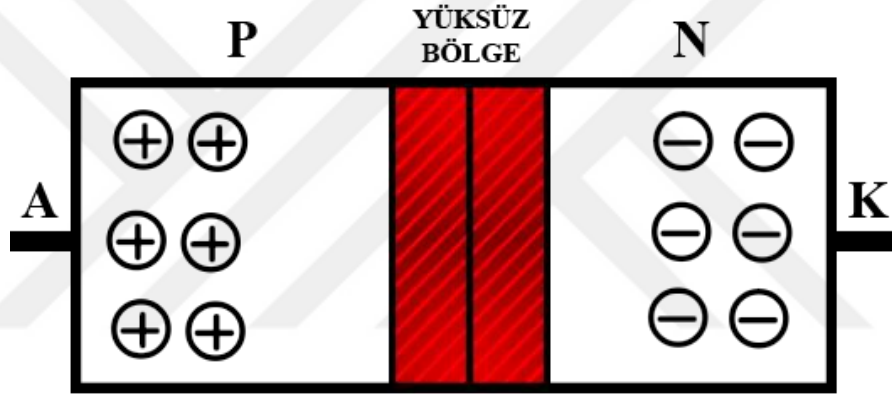
Kuzukulağıgiller familyasından olan ve halk arasında “ıskın, ılgın, uşgun ya da uçgun” olarak isimlendirilen *Rheum ribes* özellikle Türkiye’nin doğusu, İran, Irak, Lübnan, Afganistan ve Pakistan’a kadar olan bölgelerde 1000-4000 m yükseklikteki taş, kaya ve yamaçlar arasında yabani olarak yetişen bir bitki türüdür. Sarımsı-beyaz renkte çiçekleri olan 40-150 cm uzunluğunda çok yıllık otsu bu bitki Mayıs-Haziran aylarında yetişmektedir. Ülkemizde sekiz cins ve 70 türü bulunan bu aileden *Rheum ribes* Türkiye’de yetişen tek *Rheum* türüdür. Yapısındaki flavonoidler, stilbenler ve antrakinonlar bu bitkiye potansiyel bir antioksidan etki sağlayan başlıca fenolik bileşenlerdir. Bu özelliğinden dolayı ıskın bitkisinin genç sürgün ve yaprak sapları ishal, mide ağrıları ve mide bulantısına karşı kullanılırken, kök gibi diğer kısımları ise kızamık, çiçek, hemoroit tedavisinde ve safra söktürücü olarak kullanılmaktadır. Türkiye’nin doğusunda halk arasında hazmı kolaylaştırıcı ve iştah açıcı olarak da kullanılan ıskının taze kök ve yaprak sapları sebze olarak tüketilirken, kurutulmuş kökleri ise tek başına antihelmintik ve balgam söktürücü olarak, ülser, hipertansiyon ve obezitenin tedavisinde de kullanılmaktadır (Çınar, 2018).

Diyotlar

Karbon nokta yapıların uygulama alanlarından birisi de ilginç elektriksel yapılarından dolayı diyotlardır. Diyotlar yarıiletken yapıda malzemelerdir. Yarıiletkenlerde iletkenlerden farklı olarak hem boşluk hem de serbest elektronların bulunmaktadır. Yapıda bulunan serbest elektron ve boşluk sayıları ile verim artışı gözlenmekte ve bu amaçla katkılama yapılarak bu sayılar artırılmaktadırlar. Katkılanma sonucunda sayıca üstünlük eğer elektronlarda ise yapı n-

tipi, boşluklarda ise yapı p-tipi yarı iletken olarak adlandırılır. N tipi yarı iletken üretebilmek için genelde fosfor gibi 5. Grup elementleri kullanılmaktadır. Silisyumun dış yörüngesinde 4, fosforun dış yörüngesinde 5 elektron olduğu için, fosforun fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verir ve serbest hale geçer. P tipi silisyum elde etmek için ise, eriyiğe 3. gruptan bir element (alüminyum, indiyum, bor gibi) eklenir. Bu elementlerin son yörüngesinde 3 elektron olduğu için kristalde bir elektron eksikliği oluşur, bu elektron yokluğuna **hol** ya da **boşluk** denir ve pozitif yük taşıdığı varsayılır (Teközgen, et al. 1981).

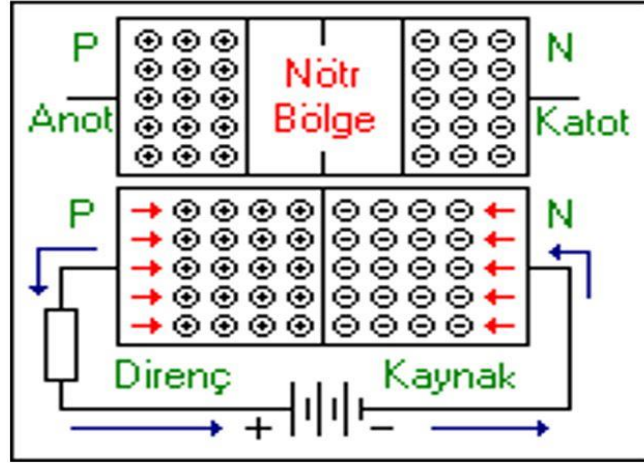
P ve N tipi yarı iletkenler bir araya getirilerek eklem oluşturulurlar. Eklem olduğu anda n tipinde bulunan serbest elektronlar difüzyon ile p tipine geçerler. Bu geçiş işleminin ardından p bölgesi negatif, n bölgesi ise pozitif yüklenmiş olur. Fakat orta kısımda nötr bir bölge oluşmuştur. Bu bölgeye yükten arındırılmış bölge ya da geçiş bölgesi adı verilmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Diyotun genel şeması

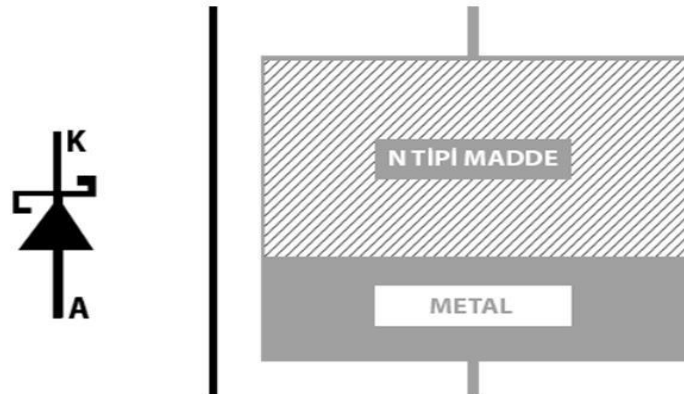
Diyotlar ise n ve p tipi iki yarı iletken birleştirilmesinden oluşmaktadırlar. Diyotlar kullanım amacı ve yapılarına göre birçok çeşitleri olmakla birlikte elektronik devrelerde tek yönlü akıma izin vermelerinden ötürü genellikle doğrultucu amacıyla kullanılmaktadırlar. Tek yönlü akıma izin vermelerinin temelinde uçlarına uygulanan gerilimin polaritesinden kaynaklanan durum yatmaktadır. Doğru polarlama durumunda, diyotun p tarafına yani anot ucuna pozitif gerilim, n tarafına yani katot ucuna ise negatif gerilim uygulanması durumunda negatif gerilimden dolayı katot tarafında bulunan serbest elektronlar anota doğru itilecek ve sonuçta elektrik akışı gözlemlenecektir (Şekil 11). Ters polarlama durumunda ise, bu durumun aksine anot kutbuna negatif, katot kısmına ise pozitif gerilim uygulanır. Bu durumda boşluklar ve serbest elektronlar kutuplara doğru çekilirler ve sonuç olarak orta kısımda bulunan nötr bölge genişler. Nötr bölge daha önce de söylendiği gibi yalıtkan bölgedir ve bu bölge genişledikçe

elektron akışı azalır. Sonuçta ters polarlama durumunda yapı elektron akışına izin vermez (Güneş et al. 2014).



Şekil 11. Diyotun doğru polarlanması durumu (Güneş et al. 2014)

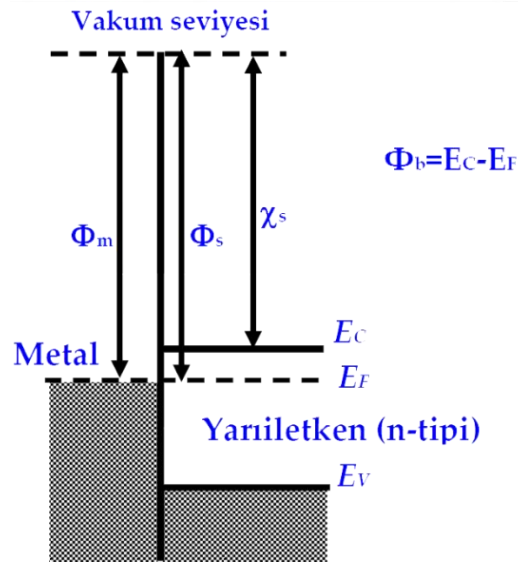
Diyotların yukarıda belirtilen temel özelliklerinden ötürü kullanım alanlarına göre zener diyot, kristal diyot, schottky diyot gibi birçok çeşidi bulunmakta ve her bir çeşit farklı özelliklerde olup farklı amaçlarla kullanılmaktadırlar. Bu çeşitler içerisinde bizim çalışmamızın kapsamına giren schottky diyotlar (SD) incelenecektir. Genel olarak özetlenecek olursa schottky diyotlar bir metal ile yarı iletken tabakanın kaplama vb. yöntemler ile elektriksel olarak kontak yapılması sonucunda oluşan doğrultma işlemi gören yapılardır. Bu yapıların kullanım alanları ve fonksiyonları yönünden iki farklı tip yarıiletken malzemelerden oluşan kontak yapılar kadar geniştir. Metal yarı iletken kontak oluşumu esnasında birbirleri arasında meydana gelen elektron akışı ile yarı iletken tarafında bu akışı engelleyen bir bariyer/engel oluşur. Bu diyot çeşidine, temel fiziksel yapısını çözen Alman bilim adamı Walter H. Schottky'ye ithafen “Schottky diyot” adı verilmiştir (Şekil 12).



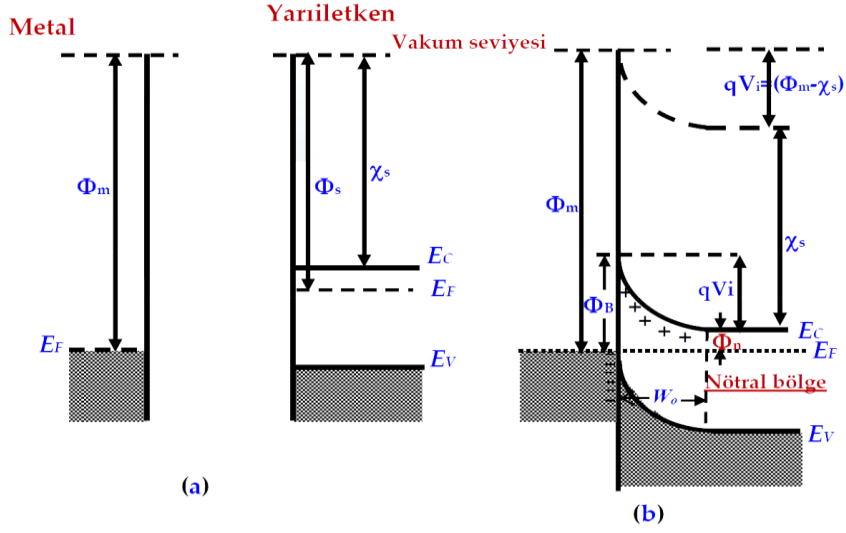
Şekil 12. Schottky diyotun temel yapısı

Schottky ve Mott birbirlerinden bağımsız olarak Schottky diyotlar üzerine çalışmış ve ayrı ayrı bu yapı üzerinde oluşan engel gerilimini açıklamışlardır. Fakat engelin fiziği ilk olarak Schottky tarafından önerildiği için bu engele Schottky Engeli adı verilmiştir. Her iki bilim adamı da bu engelin oluşma mekanizmaları üzerinde çalışarak bu yapıyı açıklamaya çalışmış ve bu amaçla belirli şekiller önermişlerdir. Daha sonrasında bilim adamı Bethe tarafından elektrik akımının bu engelin üzerinden aktığını ifade eden “Termiyonik Emisyon” teorisi açıklanmıştır.

Metal ve n tipi yarı iletken malzeme birbirlerine kontak edildiği zaman normal şartlar altında elektrik akışı gözlemlenecektir. Fakat elektrik akışının olmadığı kabul edilirse iki kontağın enerji bant diyagramları Şekil 13’te belirtildiği gibi olacaktır. Şekilde 13’te görüldüğü gibi bu yapıda beklenen engel yüksekliği $\phi_B = E_C - E_F$ kadar olacaktır. Bilindiği gibi metallerde iletkenlik bandı kısmen dolmuş ve fermi enerji seviyesi iletkenlik bandının içine kaymıştır. İdeal durumlar altında böyle bir metal ile n tipi yarı iletken malzemenin kontak edilmesi durumunda elektronlar sadece $\phi_B = E_C - E_F$ kadarlık bir bariyeri aştıktan sonra rahat bir şekilde yarı iletkene doğru akacaktır. Fakat akış esnasında ideal durumdan farklı olarak hareketli yüklerin bir kısmı yarı iletkenin üzerinde birikecek bir kısmı ise uzaklaşacaktır. Bu durum ise yukarıda belirtilen ideal durumun aksine enerji bant diyagramında bant bükülmelerine yol açacaktır (Şekil 14).



Şekil 13. İdeal bir metal-n-tipi yarı iletken kontağın enerji bant diyagramı (Aydoğan, et al 2014)



Şekil 14. $\phi_m > \phi_s$ için metal/n-tipi yarı iletken kontağı enerji bant diyagramları; (a) Malzemelerin birbirinden ayrı iken denge durumları. (b) Malzemelerin kontak sonrasındaki denge durumu (Aydoğan, et al 2014)

İki malzeme kontak olmasının ardından elektron akışı olacak ve bu akış neticesinde yarı iletken malzeme yüzeyinde serbest yükleri olmayan nötral bir bölge oluşacaktır. Bu kısımda oluşan engel yüksekliğini açıklamak için yukarıda da söylediğimiz gibi hem Schottky hem de Mott tarafından modeller önerilmiştir. Bu modellere göre iki malzeme arasında oluşan bu engelin sebebi iki ayrı malzeme olan metal ile yarı iletkenin iş fonksiyonlarının farklı olmasıdır. İş fonksiyonu, malzeme de fermi enerji seviyesinde bulunan elektronları vakum seviyesine çıkarılması için gerekli enerji miktarıdır. Şekil 14a'da iş fonksiyonu ϕ_m olan metal ile iş fonksiyonu kendisinden daha düşük olan (ϕ_s) n-tipi yarı iletkenin kontak oluşumundan önce denge durumlarındaki enerji bant diyagramları gösterilmektedir. Şekilde belirtilen vakum seviyesi ise malzemenin tam yüzeyindeki sıfır kinetik enerjiye sahip bir elektronun sahip olduğu enerji seviyesini göstermekte ve referans enerji seviyesi olarak kabul edilmektedir. Şekil 14b'de metal ile n-tipi yarı iletkenin kontak hali sonrasındaki denge halini göstermektedir. Bu yapıda metalin iş fonksiyonu yarı iletkenin iş fonksiyonundan daha büyük olmasından ötürü yarı iletkende bulunan elektronlar metalde bulunan elektronlara göre daha yüksek enerjiye sahiptirler. Birleşim anında, termodinamikteki sistemin daha kararlı hal olan daha düşük enerjili hali tercih eder kuralından ötürü yarı iletkenindeki elektronlar daha kararlı ve daha düşük enerjili olan metale doğru geçeceklerdir. Bu geçişten ötürü yarı iletken yüzeyindeki elektron konsantrasyonu azalacak ve bu sebeple E_c , E_f ve E_v seviyeleri düşecektir. Bu duruma karşın metalde bulunan serbest elektron sayısının çok yüksek olması sebebiyle ($\sim 10^{23}$) yarı iletken geçen elektronlar sebebiyle metaldeki elektron değişimi ihmal edilebilecek düzeylerde olacaktır. Denge durumuna gelindiğinde sistemin artık tek bir fermi enerji seviyesi (E_F) olacak

ve yarı iletken yüzeyinde metale verilen elektronlardan dolayı pozitif yüklü, yüksek dirençli, serbest elektron olarak fakir ve yalıtkan bir bölge oluşacaktır. Sonuçta Şekil 14b’de görülen enerji bant diyagramı oluşacaktır. Şekilden de anlaşılacağı gibi iki malzeme arasında yükten arınmış bir yapı oluşmuş ve sistem bu hali ile sandviçe benzemiştir. Elektron transferi için elektronların geçmesi gereken engel bu engeldir ve genel olarak schottky engeli olarak adlandırılabilir.

İdealite faktörü (n), diyodun ideal özelliklerden sapmasını gösteren boyutsuz bir parametredir. İdeal bir diyet için bu faktör yaklaşık olarak 1’e eşit olmalıdır. Grafiklerin doğru beslem bölgesindeki lineer kısmına fit edilmesiyle elde edilen doğrunun eğimi ve düşey eksen kestiği noktadan doyma akımı yardımıyla termiyonik emisyon teorisinden idealite faktörleri ve engel yükseklikleri elde edilir. Bu teoriye göre idealite faktörü Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$I = I_0 \left[\exp \left(\frac{qV}{nkT} \right) - 1 \right] \quad (1)$$

Burada I; dış devre akımı, I_0 ; doyma akımı, q; elektronun yükü, V; uygulanan gerilim, n; idealite faktörü, k; Boltzman sabiti ve T; Kelvin cinsinden sıcaklık olup doyma akımı;

$$I_0 = AA^*T^2 \exp \left(-\frac{q\Phi_B}{kT} \right) \quad (2)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte Φ_B sıfır gerilimde engel yüksekliği olarak tanımlanmaktadır. Engel yüksekliği;

$$\Phi_B = \frac{kT}{q} \ln \left(-\frac{AA^*T^2}{I_0} \right) \quad (3)$$

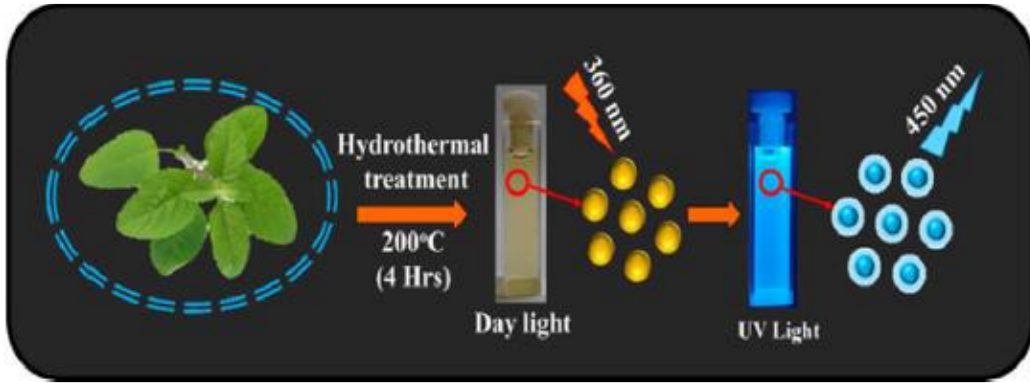
eşitliği yardımıyla hesaplanır. Burada A; diyet alanı, A^* ; Richardson sabiti, T; Kelvin olarak sıcaklık, k; Boltzmann sabiti ve q; elektronun yükü olarak tanımlanmıştır (Yıldırım, N., Durumlu, E. 2017.).

Tez çalışmamız kapsamında ışkın bitkisinde ilk kez sentezlenen CDs yarıiletken materyal olarak kullanılmış metal (Au)-yarıiletken CDs/ substrat (Si) ince film aygıt tasarlanmıştır.

KURAMSAL TEMELLER

Doğal ve organik kaynaklar kullanılarak karbon nokta yapıların (carbon dots-CDs) yeşil sentez ile üretildiği çalışmalar nanoteknolojiye büyük katkılar sağlamaktadır. CDs'ın boyutları değişikçe optiksel ve kimyasal özelliklerinin değişmesi, farklı çalışmalarda kullanılmalarına imkân vermektedir. Bu konuda son yıllarda birçok çalışma yapılmış olup bunlar aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir;

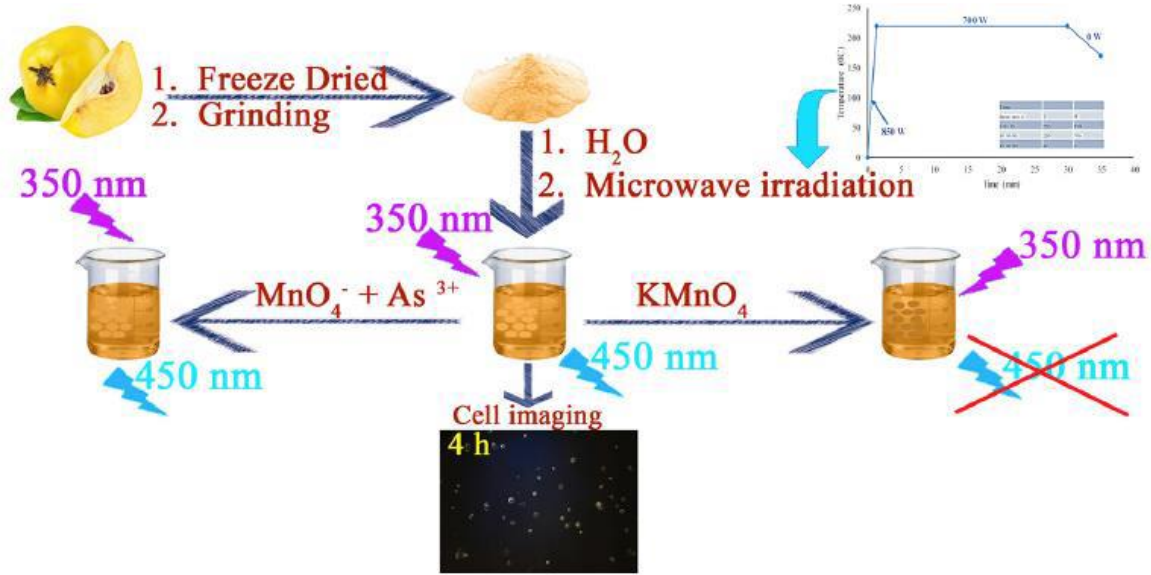
Paul ve grubu tarafından yapılan çalışmada, fesleğen bitkisinin yaprakları kullanılarak hidrotermal yöntem ile karbon kuantum nokta yapılar hazırlanmış (Şekil 15) ve Cr^{+6} iyonunun seçici olarak algılanmasındaki potansiyeli incelenmiştir. Elde edilen bu karbon kuantum nokta yapıların, alınan TEM görüntüleri ile küresel morfolojide oldukları ve boyutlarının yaklaşık olarak 5 nm olduğu belirlenmiştir. Elementel analiz, IR, XRD ve Raman ölçümleri ile de yapıdaki elementler ve fonksiyonel gruplar aydınlatılmıştır. UV-vis. absorpsiyon ve floresans çalışmaları sonucunda karbon kuantum nokta yapıların spektral özellikleri belirlenmiştir. Yapısal ve optiksel olarak karbon kuantum nokta yapıların elde edildiği belirlendikten sonra iyon dedeksiyon çalışmaları yapılmıştır. Cr^{+6} varlığında, karbon kuantum nokta yapıların floresans spektrumunda 4,5 ppb algılama limiti ile 1,6 μM -50 μM aralığında iyi bir lineer statik sönümlenme gözlenmiştir. İçme ve musluk suyu kullanılarak gerçek numune testleri de yapılmıştır (Paul, et al. 2018).



Şekil 15. Fesleğen bitkisinin yapraklarından floresans karbon kuantum nokta yapı sentezi

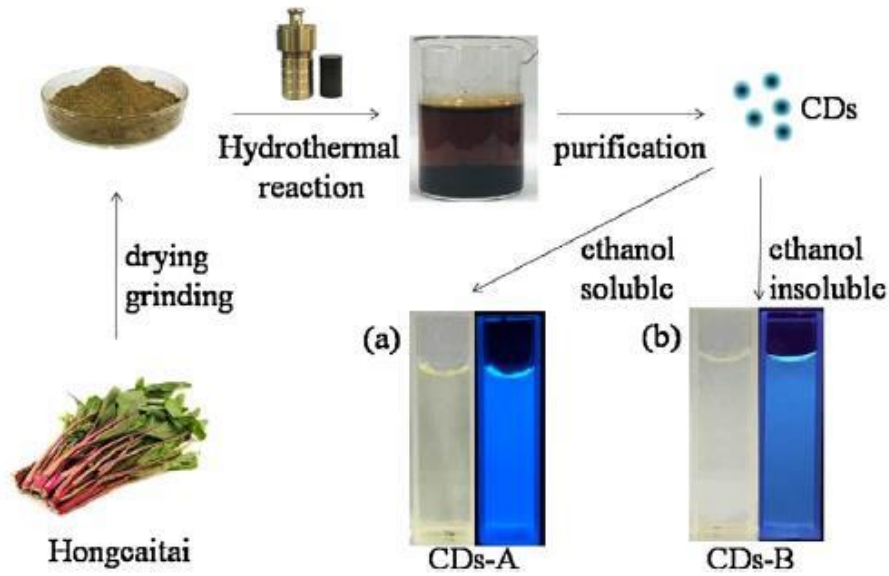
2018 yılında yapılan bir başka çalışmada, karbon kaynağı olarak ayva meyvesi kullanılmış ve hem mikrodalga hem de hidrotermal yöntemler ile karbon kuantum nokta yapılar (CDs) elde edilmiştir (Şekil 16). Hazırlanan CDs çeşitli mikroskopik ve spektroskopik teknikler kullanılarak tanımlanmıştır. Sonuçlar, hazırlanan parçacıkların ortalama büyüklüğünün $4,85 \pm 0,07$ nm ve 350 nm'de uyarılmaları durumunda %8,55 kuantum verimi ile 450 nm'de maksimum emisyon yoğunluğuna sahip olduklarını göstermiştir. Çalışılan katyonlar arasında Fe^{+3} 'ün ve

anyonlar arasında ise MnO_4^- 'ın, karbon kuantum nokta yapının 450 nm'deki fotoluminesansı kuvvetle söndürdüğü belirlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında ayva meyvesinden elde edilen karbon kuantum nokta yapılar, As^{+3} iyonlarının MnO_4^- ile oksidasyonu temel alınarak ortamda bulunabilecek As^{+3} iyonlarının belirlenmesi için florometrik bir sensör olarak kullanılmıştır (Ramezani, et al. 2018).



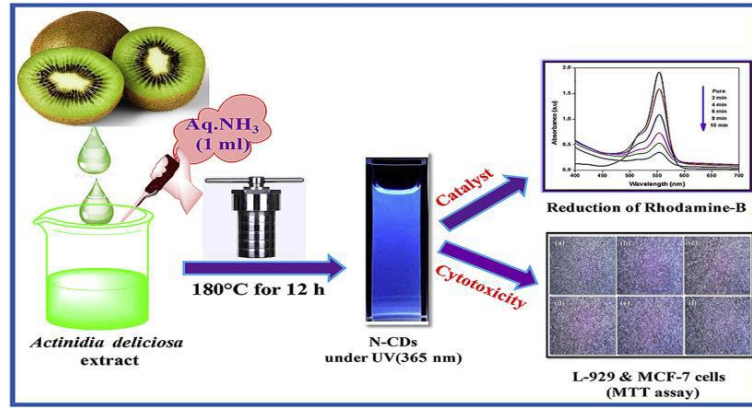
Şekil 16. Ayva meyvesi floresans karbon kuantum nokta yapı sentezi

Çin'in Hubei eyaletindeki popüler ve ucuz sebzelerden biri olan Hongcитай (Brassica compestris L. var. Purpurea Bailey), hidrotermal yöntemle karbon kuantum nokta yapıların (CD) sentezi için karbon öncüsü olarak denenmiştir (Şekil 17). Elde edilen CD'lar etanoldeki çözünürlüklerine göre CD-A (etanolde çözünür) ve CD-B (etanolde çözünmez) olarak iki bölüme ayrılmış ve morfolojik ve spektroskopik analizleri ilgili ölçümler yardımıyla yapılmıştır. CD-A'ların, ClO^- iyonlarına; CD-B'lerin ise Hg^{+2} iyonlarına karşı duyarlı oldukları belirlenmiştir. CD-A'ların, 0,015 μM algılama limiti ile musluk suyunda ClO^- belirlemede, CD-B'lerin ise 0,06 μM algılama limiti ile nehir suyunda Hg^{+2} belirlemede başarılı olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, düşük toksisiteleri sayesinde, her iki CD'nın da HepG2 hücrelerinde hücresel etiketleme için uygun olduğu ifade edilmiştir (Li, et al. 2018).



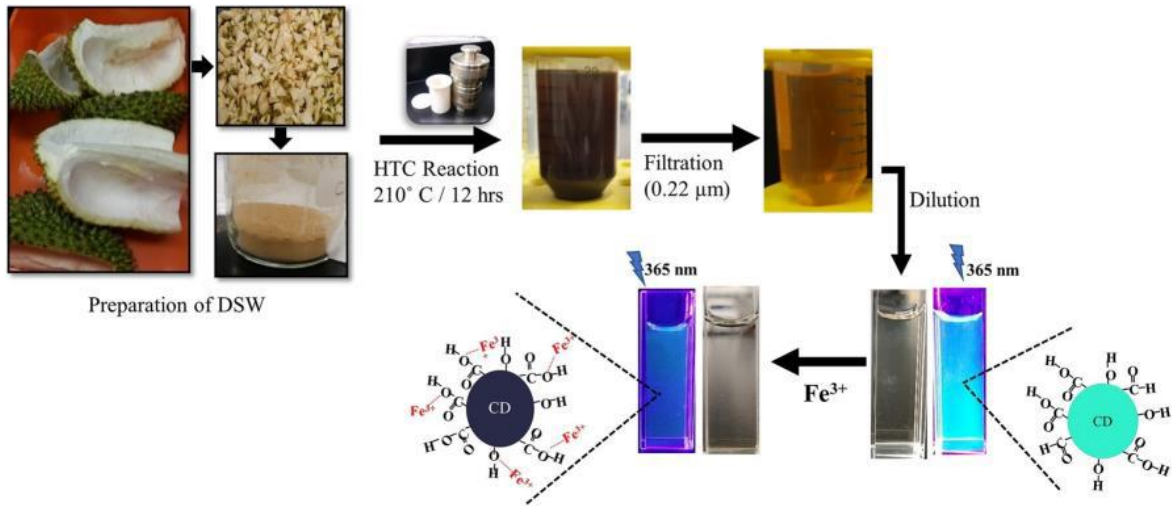
Şekil 17. Hongcaitai'den floresans karbon kuantum nokta yapı sentezi

Arul ve Sethuraman tarafından yapılan çalışmada, karbon kaynağı olarak kivi meyvesinin özü ve bir azot dopantı olarak sulu amonyak kullanılmış, hidrotermal yöntemle floresans azot katkılı karbon kuantum noktaların (N-CD) yeşil sentezi yapılmıştır (Şekil 18). Sentezlenen N-CD'lar, yüksek çözünürlüklü transmisyon elektron mikroskobu (HR-TEM), enerji dağılım spektroskopisi (EDS), seçilen alan elektron kırınımı (SAED), UV-vis. absorpsiyon spektroskopisi, floresans spektroskopisi, Fourier dönüşüm kızılötesi spektroskopi (FT-IR), X ışını difraksiyonu (XRD), Raman spektroskopisi ve X ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) teknikleri ile karakterize edilmiştir. N-CD'ların ortalama büyüklüğü yaklaşık 3,59 nm ve hesaplanan tabakalar arası mesafenin 0,21 nm olduğu bulunmuştur. Sentezlenen N-CD'ların, sodyum borhidrat kullanılarak Rhodamine-B'nin indirgenmesinde mükemmel katalitik aktivite gösterdiği bulunmuştur. MTT deneyi, N-CD'ların L-929 ve MCF-7 hücrelerine karşı sitotoksitesini ve biyoyumluluğunu değerlendirmek için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, N-CD'lerin hem L-929 hem de MCF-7 hücrelerinde düşük sitotoksite ve üstün biyoyumluluk sergilediği bulunmuştur (Arul, et al. 2018).



Şekil 18. Kivi meyvesinden floresans karbon kuantum nokta yapı sentezi

Wun ve grubu tarafından, Durian meyvesinin kabukları kullanılarak hidrotermal yöntem ile floresans karbon kuantum nokta yapılar sentezlenmiştir (Şekil 19). Elde edilen bu karbon kuantum nokta yapıların, alınan TEM görüntüleri ile yarı küresel ve iyi dağılmış morfolojide oldukları ve boyutlarının yaklaşık olarak 3,2 nm olduğu belirlenmiştir. FTIR, XRD ve Raman ölçümleri ile yapıdaki fonksiyonel gruplar aydınlatılmıştır. Sentezlenen karbon kuantum nokta yapıların çalışılan on iki iyon arasında sadece Fe^{+3} iyonlarına seçici olduğu belirlenmiştir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar kapsamında, 128 nM gibi düşük bir algılama limiti ve gerçek su numunelerinde iyi bir geri kazanım ile karbon kuantum nokta yapıların iyon sensör potansiyeli tartışılmıştır (Wun, et al. 2019).



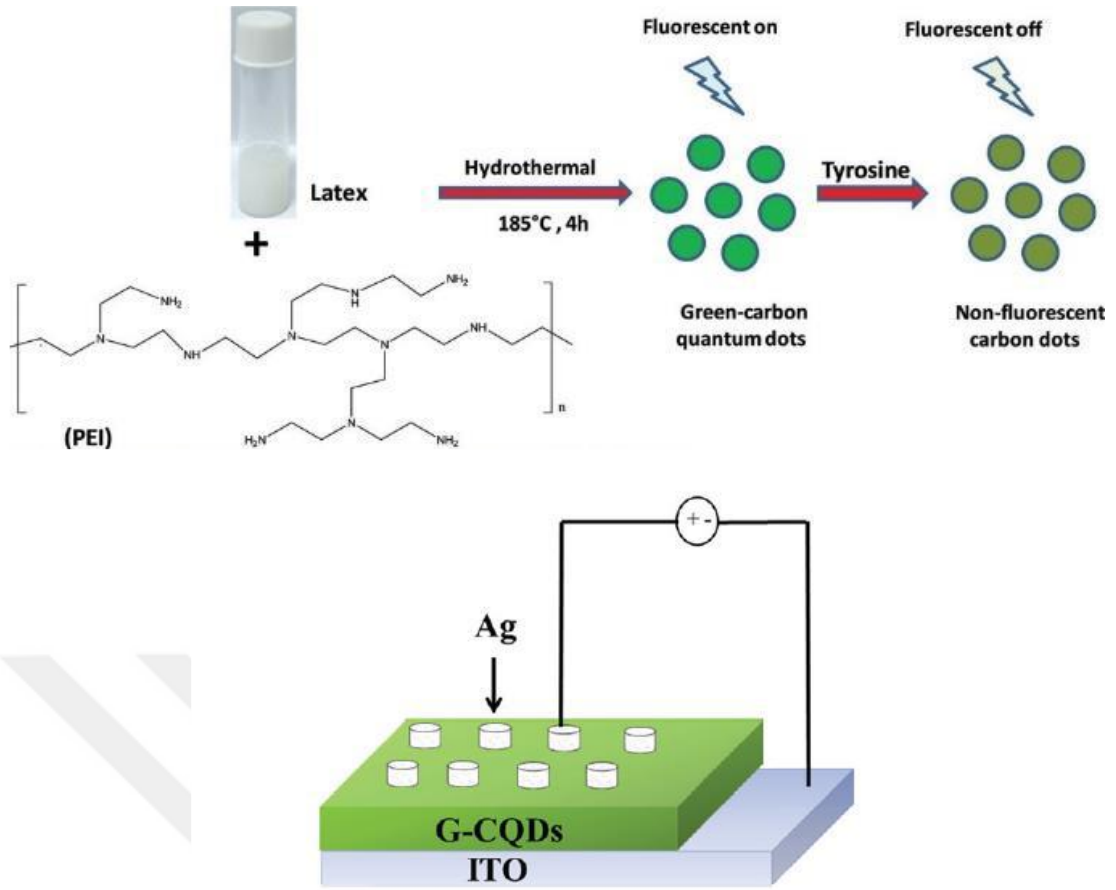
Şekil 19. Durian meyvesi kabuklarından floresans karbon kuantum nokta yapı sentezi

Choudhury ve grubu tarafından 2019 yılında yapılan bu çalışmada limon suyu ve gliserolden termal dekompozisyon yöntemiyle floresans karbon kuantum nokta yapılar elde edilmiştir. Elde edilen karbon kuantum nokta yapıların floresans şiddeti üzerine nitrobenzen ve Hg^{+2} iyonlarının etkisi incelenmiştir. Nitrobenzen ve Hg^{+2} iyonlarının karbon kuantum nokta

yapıların floresansının sönümlenmesini sağladığı gözlenmiş olup Stern-Volmer eşitliği ile kuenceleşmenin mekanizması aydınlatılmıştır. Karbon kuantum nokta yapıların floresans şiddetindeki azalmanın nitrobenzen varlığında dinamik mekanizma ile gerçekleşirken, Hg^{+2} iyonları varlığında ise hem statik hem de dinamik mekanizma üzerinden yürüdüğü belirlenmiştir (Choudhury, et al. 2019).

Biçer ve grubu tarafından 2020 yılında yapılan çalışmada doğal materyal olan kırmızı soğandan karbon kuantum noktaları sentezlenmiştir. Bu amaçla satın alınan kırmızı renkli soğanlar, kabukları ile rondodan geçirilmiş ve sıvı azot ile birlikte dövülerek belirli miktarda su ile 8 saat boyunca 133 °C de bekletilmiştir. Sonrasında oluşan madde 0.22 µm inceliğindeki membrandan geçirilerek stok çözeltileri hazırlanmıştır. Bu çözeltideki CD'ların kuantum verimleri belirlenmiştir. Elde edilen bu numunelerin kuantum nokta yapısını kanıtlamak için XRD ve FTIR spektrumları alınmış ve bu spektrumlardan numunelerin karbon kuantum noktalar olduğu anlaşılmıştır. CD'ların ortalama partikül boyutu 8,21 nm, yüzey yükleri ise -9,66 mV olarak ölçülmüştür (Biçer, et al. 2020).

Yadav ve grubu tarafından 2021 yılında yapılan çalışmada karbon kaynağı olarak banyan inciri olarak bilinen ficus benghalensis kullanılarak floresans karbon kuantum nokta yapılar elde edilmiştir (Şekil 20). Karbon kuantum noktaları karakterize etmek için TEM, XRD, FT-IR ve XPS gibi çeşitli enstürmantel teknikler kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen karbon kuantum noktalar %41,2 kuantum verimi ile yeşil floresans özelliği sergilemiş ve ortalama partikül boyutu 3,7 nm olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada üretilen karbon kuantum noktalar yarı iletken özelliklerinden dolayı indiyum katkılı kalay oksit substratı üzerine uygulanmış ve bir schottky bariyer diyotu üretilmiştir (Yadav, et al. 2021).



Şekil 20. Banyan incirinden floresans karbon kuantum nokta sentezi ve schottky diyot fabrikasyonu

Yukarıda verilen literatürlerde özetlendiği gibi floresans karbon nokta yapılar oldukça önemli uygulama alanlarına sahiptir. Bu tez çalışmasında; literatürde bulunmayan ışık bitkisinde floresans karbon nokta yapılar sentezlenmesi ile bu alana yeni bir materyal kazandırılmakla birlikte bu sentezin schottky diyot uygulamasından elde edilecek sonuçlar da literatürde nadir olan karbon nokta yapıların diyot fabrikasyonunda kullanılması alanına büyük katkılar sağlayacaktır.

MATERYAL VE METOD

Kullanılan Kimyasal Maddeler, Alet ve Cihazlar

Deneysel çalışmalarda kullanılan Altın ve Alüminyum Alfa Aesar, Silisyum Sigma firmalarından temin edilmiş, kullanılan alet ve cihazlar Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar

Cihaz Adı	Marka/Model
Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM)	Hitachi HighTech HT7700
Parçacık Boyutu ve Zeta Potansiyel Ölçüm Cihazı	Malvern Zetasizer Nano ZSP
X-Işını Kırınım Cihazı (XRD)	PANalytical Empyrean XRD
FT-IR Spektrometre (FTIR)	Bruker VERTEX 70v
X-Işını Fotoelektron Spektrometre (XPS)	Specs-Flex XPS
Mikro Raman Spektrometre	WITech alpha 300R
Spektrofotometre	Shimadzu UV-1800
Spektroflorofotometre	Agilent Cary Eclipse
PVD Termal Buharlaştırma	VAKSIS PVD Handy
I-V/C-V Ölçüm Sistemi	KEITLEY 2400 Picoammeter/Voltage source
Santrifüj Cihazı	Allegra X-30R
Saf su cihazı	Merck Millipore Direct-Q5
Ultrasonik Karıştırıcı	Isolab
Otomatik Pipetler	Ependorf

Numunelerin Hazırlanması

Pazardan alınan ışkın bitkisi yıkanıp kurutulduktan sonra toz haline getirilmiştir. Toz haline gelmiş olan bu bitkiden 2,5 gr. alınarak üzerine 50 ml saf su eklenmiştir. Bu sulu çözelti otoklav cihazına alınarak 12 saat 125 °C’de hidrotermal sentez gerçekleştirilmiştir. 12 saat sonunda reaksiyonun tamamlanmasının ardından sulu süspansiyon oda sıcaklığına getirilerek süzme işlemlerine tabi tutulmuştur (Şekil 21).



Şekil 21. Hidrotermal sentez aşamaları

Hidrotermal sentez sonucu oluşan sulu süspansiyon adi süzgeçten geçirilmiş ve bu sayede büyük parçacıklar ayrılmıştır. Daha küçük parçacıkları süzmek için 0,22 μm 'lik membran filtre kullanılmıştır (Şekil 22). Adi süzgeç kâğıdında kalan katı kısım XRD, FTIR, XPS ve Mikro Raman ölçümleri için kurutulmuş, porselen havanda toz haline getirilmiştir.



Şekil 22. Sulu süspansiyonun süzülme aşamaları

Mikro filtreden geçirildikten sonra elde edilen süzüntü 10000 rpm'de 30 dk santrifüjlenerek süzüntü içerisindeki kalmış parçacıkların çöktürülmesi sağlanmıştır (Şekil 23). Santrifüj cihazından çıkarılan karışımındaki sıvı kısım dekantasyon yardımıyla alınmış ve çalışmalarda kullanılmak üzere stok çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan stok çözelti, kontaminasyonun önüne geçilmesi amacıyla 4 °C'de saklanmıştır.



Şekil 23. Süzüntünün santrifüj işlemine tabi tutulması

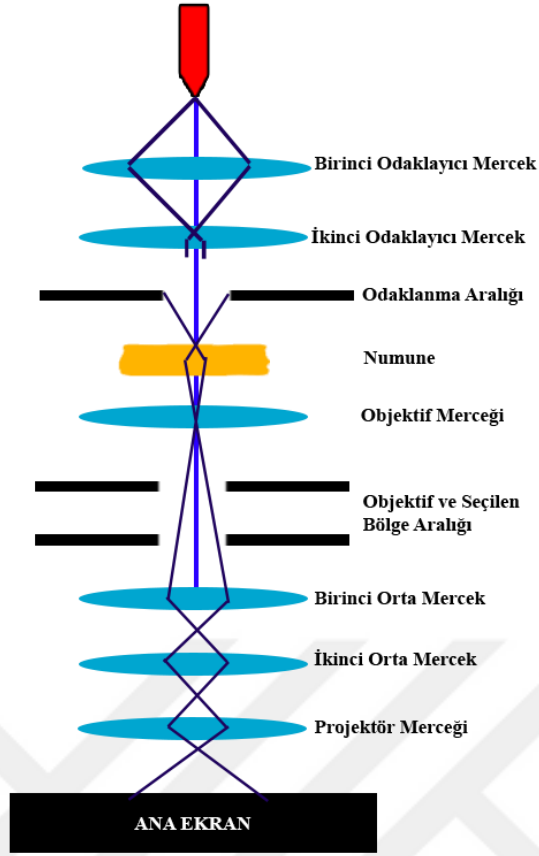
Karbon Nokta Yapıların Morfolojik ve Yapısal Karakterizasyonu

Işkın bitkisinde elde edilen yeni CDs'ın morfolojisi, boyutları ve yüzey yükü, Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM) ve Zeta Potansiyel Tayin Cihazı (Zetasizer) ile belirlenmiş olup yapısal karakterizasyonu ise X-Işını Kırınım Cihazı (XRD), X-ışını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS), FT-IR Spektrofotometresi ve Mikro Raman Spektroskopisi cihazları ile gerçekleştirilmiştir.

Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM)

Hazırlanan CDs stok çözeltisinden 10 µl alınarak 1,5 ml saf suda çözülmüş ve TEM görüntüleri alınmıştır.

Bu mikroskop atom seviyesinde görüntüleme yapılmasına olanak sağlayan bir mikroskop türüdür. Taramalı Elektron Mikroskobundan (SEM) farklı olarak her ikisinde de elektron demeti kullanılmasına rağmen SEM'de malzemedan yansıyan elektronlar aracılığı ile görüntü alınırken, TEM'de malzemedan geçen elektronlar üzerinden görüntü alınmaktadır. Bu elektronlar izlenilerek yapının görüntüsü oluşturulmaktadır. Görüntü alınması için temel şartın elektronların numune yüzeyini geçmesi gerektiğidir bu sebeple numune kalınlığının 100 nm'den fazla olmaması gerekmektedir. Elektron kaynağında oluşturulan elektronlar toplayıcı lensten geçtikten sonra numune üzerine düşürülür. Düşen elektronlar numune yüzeyinden ayrılırken atom çekirdeğindeki manyetik alandan ötürü belirli bir kırınımına uğrarlar. Objektif lensler tarafından kırınımına uğrayan elektronlardan numuneye ait görüntü ve kırınım desenlerini oluşturur. Bu desenler birkaç lens yardımı ile büyütülür ve ekranda izlenebilir vaziyete getirilir (Şekil 24) (Erkoç, et al. 2007)

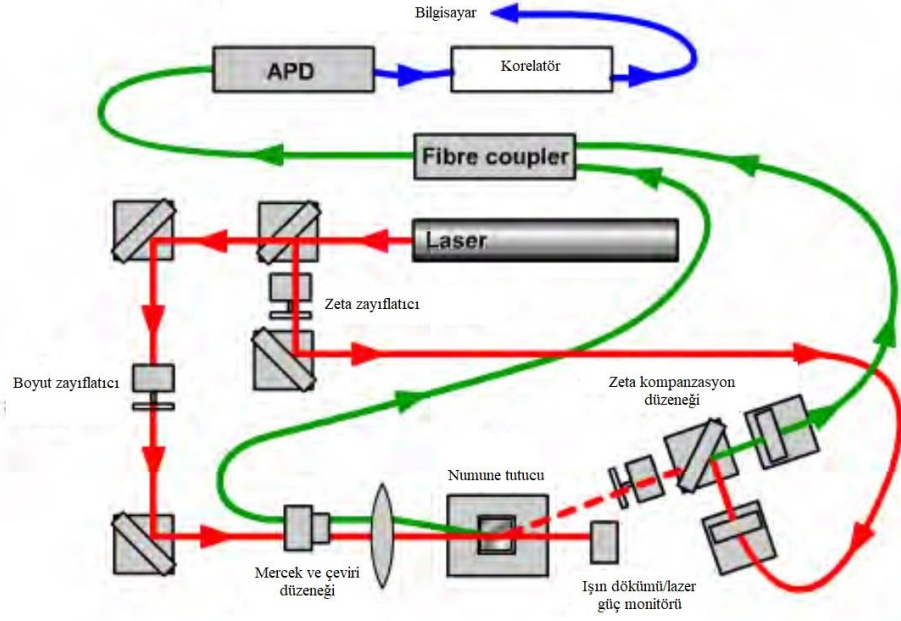


Şekil 24. Geçirimli Elektron Mikroskobunun (TEM) basit şeması

Parçacık Boyutu ve Zeta Potansiyel Ölçüm Cihazı

Hazırlanan CDs stok çözeltisinden 10 μ l alınarak 1,5 ml etanolde çözülmüş ve zeta potansiyeli ölçülmüştür.

Bu cihaz kolloidal, nanopartikül ve makromolekül karakterizasyonu için kullanılan bir sistemdir. Parçacık boyutu dağılımını, parçacık zeta potansiyelini (parçacık yüzeyindeki elektrik yükünün büyüklüğü ile ilgili) ve suda dağılmış büyük polimerik maddelerin moleküler ağırlığını belirleyebilir. Zeta potansiyelinin önemi, değerinin koloidal dispersiyonların stabilitesiyle ilişkili olabilmesidir. Zeta potansiyeli, bir dispersiyondaki bitişik, benzer şekilde yüklü parçacıklar arasındaki itme derecesini gösterir. Yeterince küçük olan moleküller ve parçacıklar için, yüksek bir zeta potansiyeli kararlılık sağlayacaktır, yani çözelti veya dispersiyon topaklaşmaya karşı koyacaktır. Potansiyel düşük olduğunda, çekim itmeyi aşar, dağılım kırılır ve topaklanır (Anonymous).

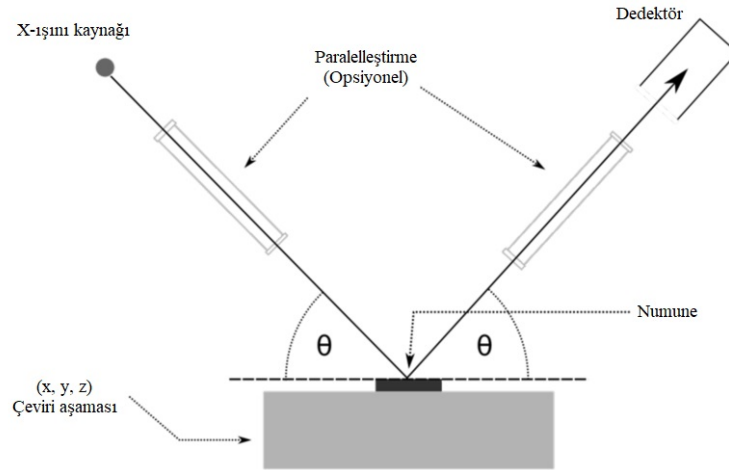


Şekil 25. Zetasizer'in optik konfigürasyonu (Hoffman, 2010)

X-Işını Kırınım Cihazı (XRD)

Sentez aşamasında elde edilen katı kısım kurutulmuş ve toz haline getirildikten sonra XRD ölçümleri alınmıştır.

X-ışınları kırınımı, tek renkli X-ışınlarının ve bir kristal numunenin yapıcı girişimine dayanır. Bu X-ışınları bir katot ışını tüpü tarafından üretilir, monokromatik radyasyon üretmek için filtrelendirir, konsantre olmak için paralelleştirilir ve numuneye yönlendirilir. Gelen ışınların numune ile etkileşimi, koşullar Bragg Yasasını sağladığında ($n\lambda = 2d \sin \theta$) yapıcı girişim (ve kırınımlı bir ışın) üretir. Bu yasa, elektromanyetik radyasyonun dalga boyunu, kristal bir numunedeki kırınım açısı ve kafes aralığı ile ilişkilendirir. Bu kırılan X-ışınları daha sonra algılanır, işlenir ve sayılır. Numune 2θ açı aralığında taranarak, toz halindeki malzemenin rasgele oryantasyonu nedeniyle kafesin tüm olası kırınım yönleri elde edilmelidir. Tüm kırınım yöntemleri, bir X-ışını tüpünde X-ışınlarının üretilmesine dayanır. Bu X-ışınları numuneye yönlendirilir ve kırılan ışınlar toplanır. Tüm kırınımın temel bir bileşeni, gelen ve kırılan ışınlar arasındaki açıdır. Toz ve tek kristal kırınımı, enstrümantasyonda bunun ötesinde değişiklik gösterir (Dutrow and Clark).

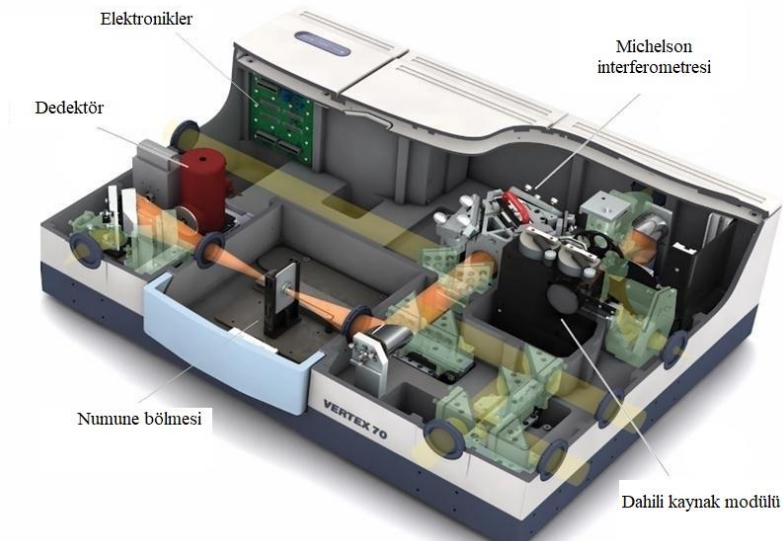


Şekil 26. Bir X-ışını kırınım cihazının şeması (Kuhlmann, 2018)

FT-IR Spektrometre

Sentez aşamasında elde edilen katı kısım kurutulmuş ve toz haline getirildikten sonra FTIR ölçümleri alınmıştır.

Kızılötesi (IR) Spektroskopisi temel olarak kızılötesi ışığın incelenen madde tarafından soğurulmasına dayanır. Soğurulma, moleküldeki bağların titreşimi ve dönüşleri için gerekli miktarda dalga enerjisinin, cihaz tarafından elektromanyetik spektrumun kızılötesi bölgesinden gönderilmesiyle gerçekleşir.

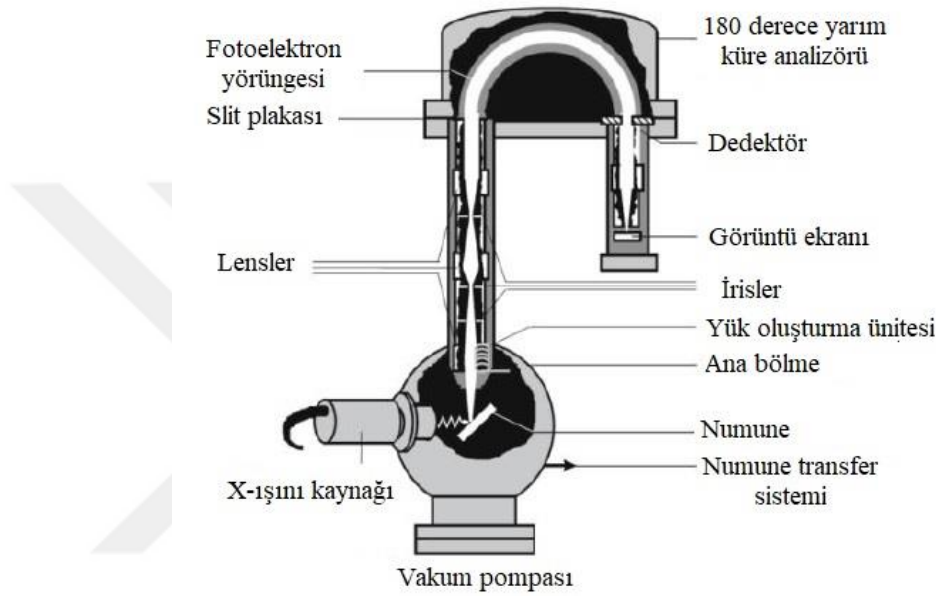


Şekil 27. Bruker Vertex 70 FTIR spektrometre (Vandenbroucke, 2015)

X-Işını Fotoelektron Spektrometre (XPS)

Sentez aşamasında elde edilen katı kısım kurutulmuş ve toz haline getirildikten sonra XPS ölçümleri alınmıştır.

Yapının yüzeyinde bulunan atomlar hakkında bilgi sahibi olmak için X-ışını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS) cihazı kullanılmaktadır. Bu cihazın temel mantığında yüzey X ışını bombardımanına tabi tutulmakta ve yüzeyden saçılan elektronların kinetik enerjisinin ölçülmesi sayesinde yüzey atomları hakkında bilgi edinilebilmektedir.



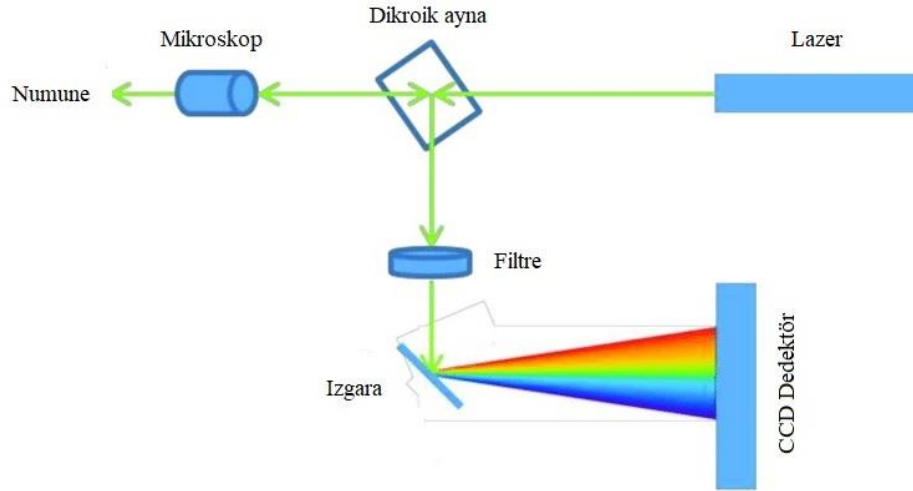
Şekil 28. Tipik bir X-ışını fotoelektron spektrometrenin yapısı (Vandenbroucke, 2015)

Mikro Raman Spektrometre

Sentez aşamasında elde edilen katı kısım kurutulmuş ve toz haline getirildikten sonra Mikro Raman ölçümleri alınmıştır.

Raman spektroskopisi, genellikle kimyasal bilgi sağlayan bir lazer kaynağından gelen tek renkli ışığın elastik olmayan saçılmasına dayanan bir tekniktir. Işık bir numune ile etkileşime girdiğinde, molekülleri harekete geçirerek salınım yapan dipollerini indükler ve genellikle enerji, elastik veya Rayleigh saçılmasında herhangi bir değişiklik olmaksızın saçılır. Ancak 10^6 fotondan 1'inde, frekansta elastik olmayan veya Raman saçılması olarak bilinen kayma gerçekleşir. Frekanstaki kayma, Raman-aktif moduna aktarılan foton enerjisinin bir kısmının bir sonucu olabilir ve ortaya çıkan saçılan ışığın frekansı azalır (Stokes saçılması). Diğer durumda, bir foton, hâlihazırda uyarılmış titreşim durumunda olan Raman-aktif bir molekül tarafından emilir. Sonuç olarak, uyarılmış Raman-aktif modun aşırı enerjisi açığa çıkar

ve saçılan ışığın ortaya çıkan frekansı artar (Anti-Stokes saçılması). Moleküller belirli bir frekans setinde titreştiklerinden, bu değişiklik moleküllerdeki titreşim, dönme ve diğer düşük frekanslı geçişler hakkında bilgi sağlar. Bu nedenle, malzemenin parmak izi olarak nitelendirilen Raman spektrumu moleküllere özgüdür (Anonymous).



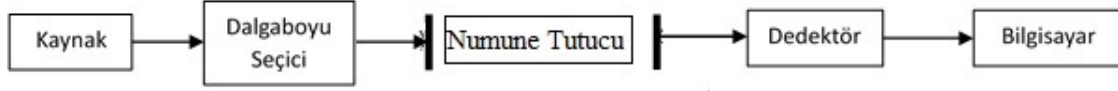
Şekil 29. Mikro raman cihazının yapısı (He, et al. 2018)

Absorpsiyon ve Floresans Spektrumlarının Alınması

Işkın bitkisinden elde edilen CDs'ın optiksel özelliklerinin belirlenmesi için hazırlanan CDs stok çözeltisinden 10 µl alınarak 5 ml saf suda çözölmüş ve oda sıcaklığında absorpsiyon ve floresans spektrumları alınmıştır.

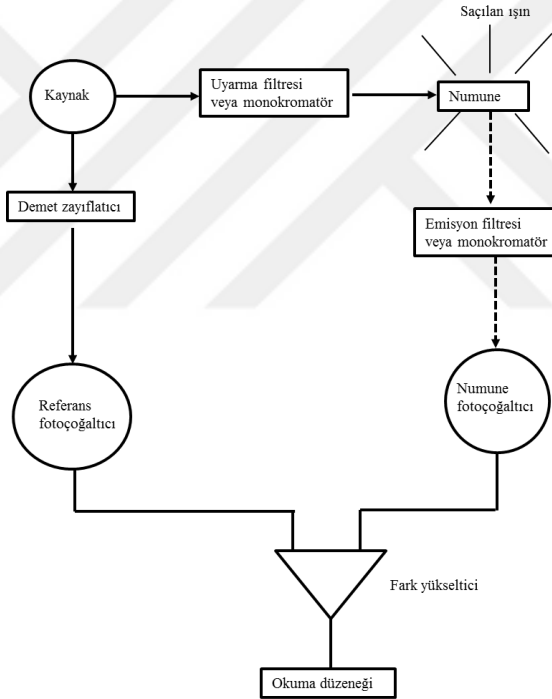
Absorpsiyon, singlet temel halden singlet uyarılmış hale (spin değişikliği gerektirdiğinden ihtimali az olarak triplet uyarılmış hale) yaklaşık 10^{-15} saniyede gerçekleşen elektronik bir geçiştir (Lakowicz 2006). UV-görünür bölge spektrofotometresi kullanılarak absorpsiyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 30). Bir absorpsiyon spektrofotometresinin bileşenleri;

- 1-) Işık kaynağı; ultraviyole için hidrojen/döteryum, görünür bölge için tungsten lamba
- 2-) Dalgaboyu seçici; monokromatör, filtre ya da prizma
- 3-) Numune ve referans hücreleri
- 4-) Dedektör; fotokatot ya da foton çoğaltıcı
- 5-) Bilgisayar



Şekil 30. Tek ışık yollu ultraviyole-görünür bölge spektrofotometresi

Molekülde singlet uyarılmış halden singlet temel hale ışımalı olarak yaklaşık 10^{-8} saniyelik bir zaman aralığında gerçekleşen geçiş floresans olarak adlandırılmaktadır (Lakowicz 2006). Floresans ölçüm cihazlarındaki bileşenler ultraviyole-görünür bölge fotometreleri veya spektrofotometrelerinde bulunanlarla benzerdir (Şekil 31). Fakat absorpsiyon olayında geçen ışık, floresansta ise saçılan ışık ölçülmektedir ve saçılma numuneden bütün yönlerle doğru meydana gelmektedir. En iyi floresans, uyarma ışınına dik açıdan gözlemlendiği için cihazda kaynak ile numune birbirine dik konumda yer almaktadır (Skoog 1998).

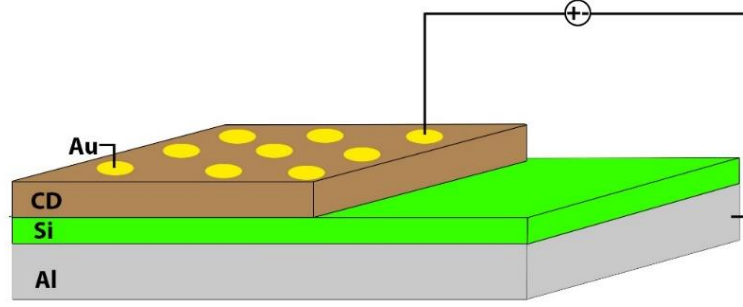


Şekil 31. Bir florometre ya da spektrofluorometrenin bileşenleri

Schottky Diyot Fabrikasyonu

Işkın bitkisinden elde edilen CDs numunesi yarıiletken tabaka olarak kullanılarak bir Schottky diyot tasarlanmıştır. Schottky diyot fabrikasyonu için n-tipi silisyum altlık kullanılmıştır. İlk adımda yaklaşık 1 cm^2 boyutlarında kesilen silisyum altlık sırasıyla 10'ar dakika aseton, metanol ve saf su içerisinde yıkanarak temizlenmiştir. Temizlenen numune üzerine PVD Termal Buharlaştırma cihazında 1×10^{-7} Torr vakum altında alüminyum ile omik

kontak yapılmıştır. Ardından, CDs stok çözeltisinden yaklaşık 30 μ l alınarak 5 ml saf su ile seyreltilmiş ve bu çözeltiden silisyum üzerine 100 μ l damlatılıp oda sıcaklığında buharlaştırılmıştır. Son aşamada oluşturulan CDs film üzerine gölge maske tekniği ile altın buharlaştırılarak diyot yapısı elde edilmiştir (Şekil 32).

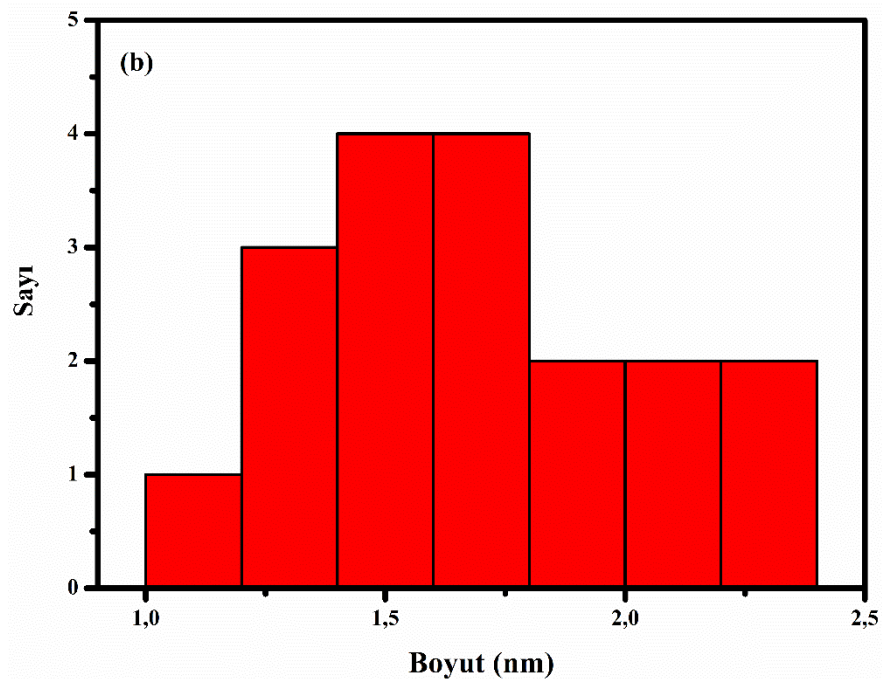
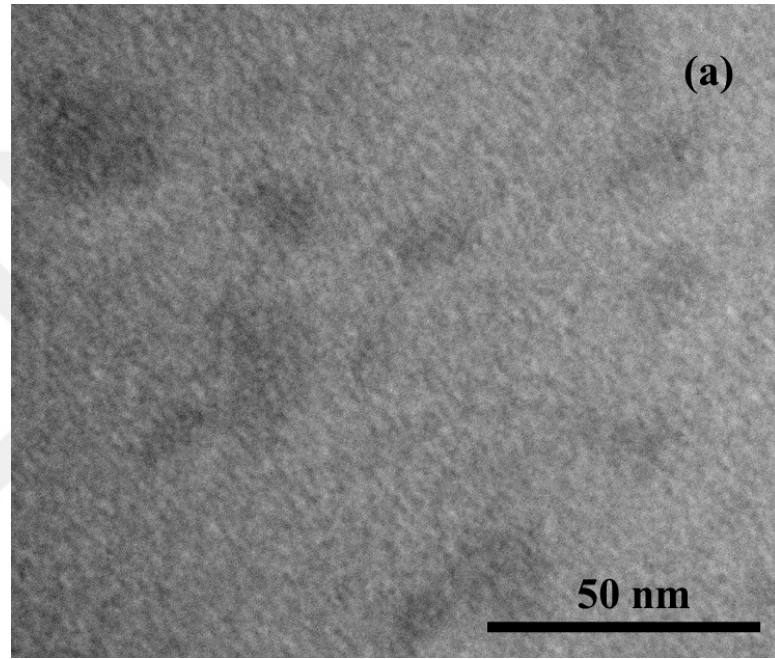


Şekil 32. Karbon nokta yapılara dayalı schottky diyot fabrikasyonunun şematik gösterimi

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

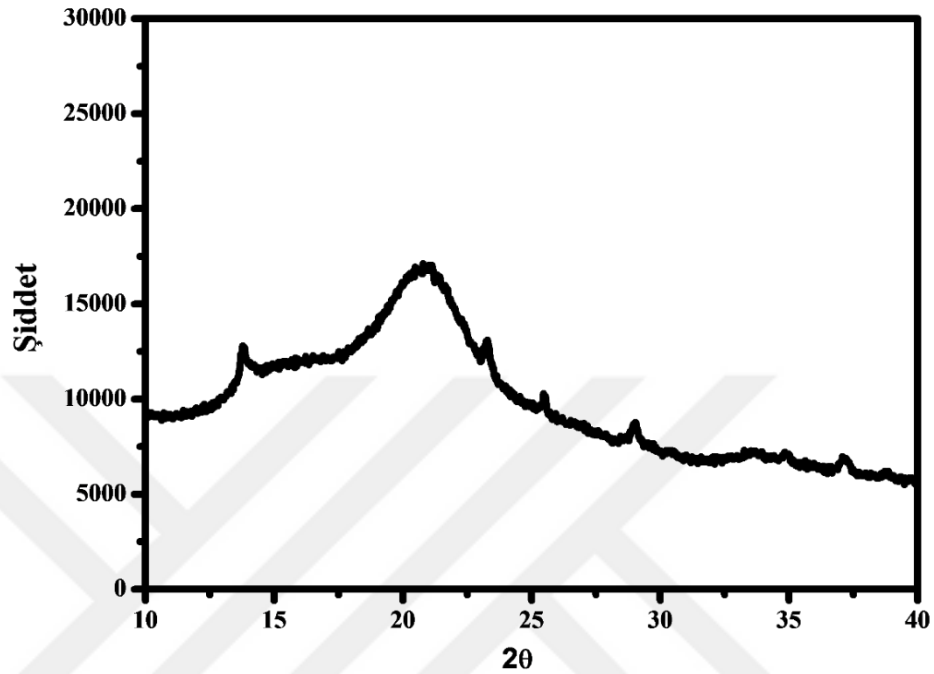
Sentezlenen Karbon Nokta Yapıların (CDs) Yapısal ve Optiksel Karakterizasyonu

Işkın bitkisinden ilk kez elde edilen CDs'ın morfolojik ve kimyasal yapıları TEM, FTIR, XRD ve XPS analizleri ile belirlenmiştir. Sentezlenen CDs için alınan TEM görüntülerinden monodispers dağılımlı ve küresel yapıda oldukları gözlenmiştir (Şekil 33a). Ayrıca, CDs'ın boyut dağılımını analiz etmek için ImageJ yazılımı kullanılmış ve CDs'ın çoğunun 1-2,5 nm aralığında ve ortalama 1,5 nm boyutunda olduğu belirlenmiştir (Şekil 33b).



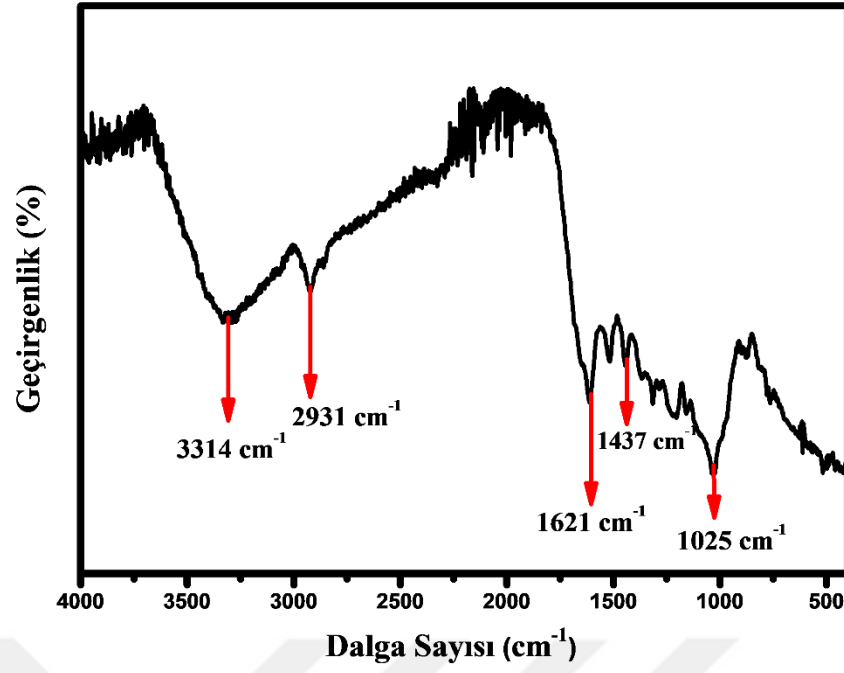
Şekil 33. Karbon nokta yapının (a) TEM görüntüsü (b) boyut dağılım diyagramı

Hazırlanan CDs'ın X-ışını kırınımı (XRD) modeli, Şekil 34'de gösterilmektedir. Yaklaşık $2\theta=21^\circ$ 'de gözlemlenen zayıf ve geniş tepe, sentezlenen yeşil CDs'ın zayıf kristal yapısı ve doğada amorf olduğunu gösteren grafit karbonun varlığından kaynaklanmaktadır (Rezaei and Ehtesabi, 2022).

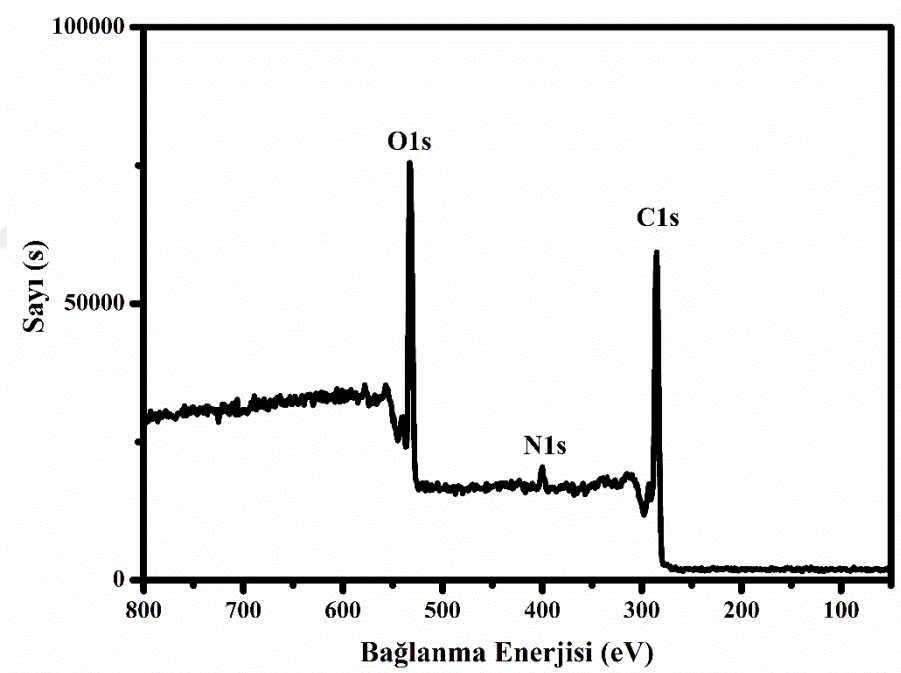


Şekil 34. Karbon nokta yapının XRD spektrumu

CDs'ın yüzeyindeki fonksiyonel grupların belirlenmesi için FTIR ölçümleri alınmıştır. Şekil 35'te görüldüğü gibi O-H, C-H, karbonil (C=O), aromatik C=N ve C-O-C gruplarının gerilme titreşimleriyle ilişkili pikler sırasıyla 3314 cm^{-1} , 2931 cm^{-1} , 1621 cm^{-1} , 1437 cm^{-1} ve 1025 cm^{-1} 'de gözlenmiştir. FTIR spektrumunu desteklemek için, CDs'ın element karakterizasyonu XPS ölçümü ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 36'da görüldüğü gibi, sırasıyla O1s, N1s, ve C1s'ye karşılık gelen 533, 399 ve 285 eV'de üç tepe noktası gözlenmiştir. Ayrıca CDs'ın yapısındaki elementlerin oranları %73,3 C, %24,0 O ve %2,7 N olarak belirlenmiştir. FTIR ve XPS sonuçlarının birbirini desteklediği görülmüştür.



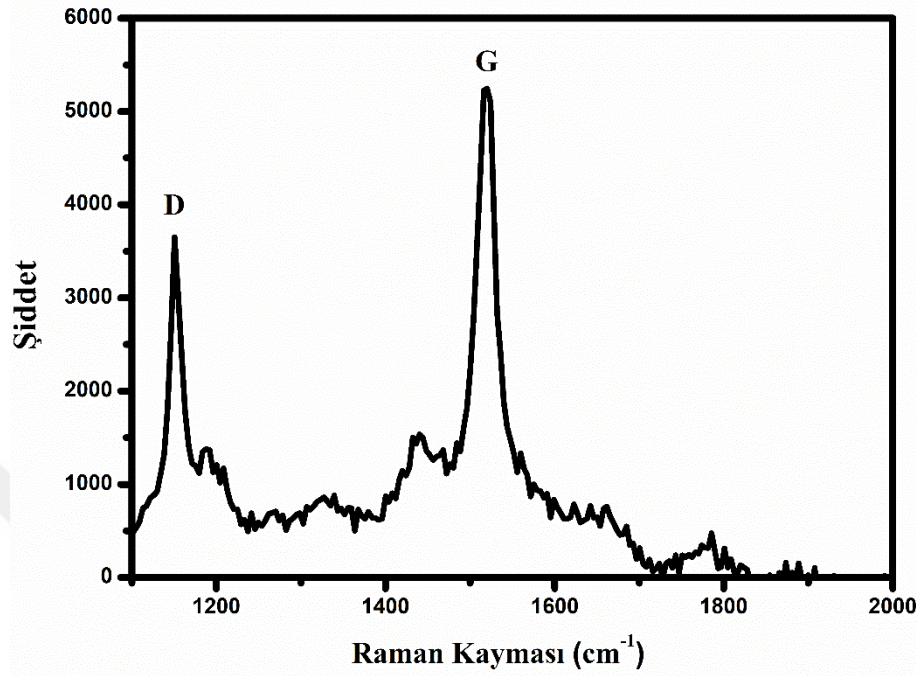
Şekil 35. Karbon nokta yapının FTIR spektrumu



Şekil 36. Karbon nokta yapının XPS spektrumu

Yeni sentezlenen CDs'daki aromatik karbonların varlığını doğrulamak için Raman spektrumu da alınmıştır. Şekil 37'de görüldüğü gibi CDs için 1150 cm⁻¹'de D-bandı ve 1519 cm⁻¹'de ise G-bandı gözlenmiştir. D bandı, karbon atomlarının sp³-hibridize karbon ağları olarak da adlandırılan grafit kafesteki kusurlarla ilişkilendirilirken, G bandı, 2D altıgen bir kafes içindeki sp²-bağlı karbon atomlarının titreşimine atfedilmektedir. CDs'ın grafit yapısındaki kusurun derecesi; düzensizlik bandı (D-bandı) ve kristal grafitik bant (G-bandı) olmak üzere

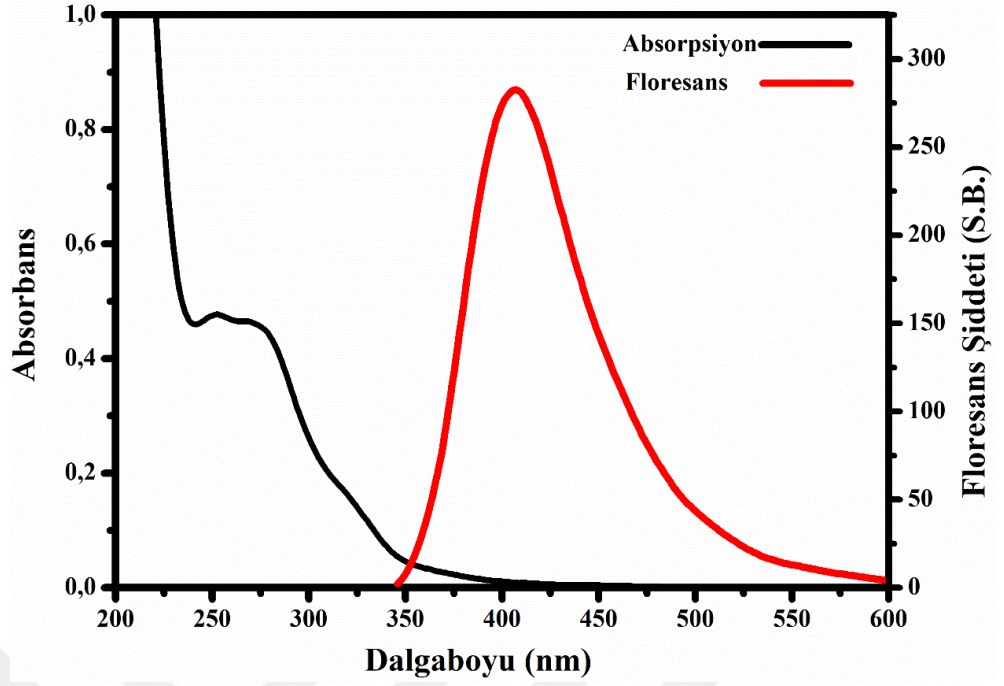
iki tepe noktasının nispi yoğunluk oranından (I_D/I_G) hesaplanabilir (Krishnaiah et al. 2022). I_D/I_G yaklaşık olarak 0,69 olarak hesaplanmış olup bu değer hazırlanan CDs'ın karşılaştırılabilir miktarlarda iki karbon türünü sergilediğini göstermektedir (Prasanna and Imae 2013).



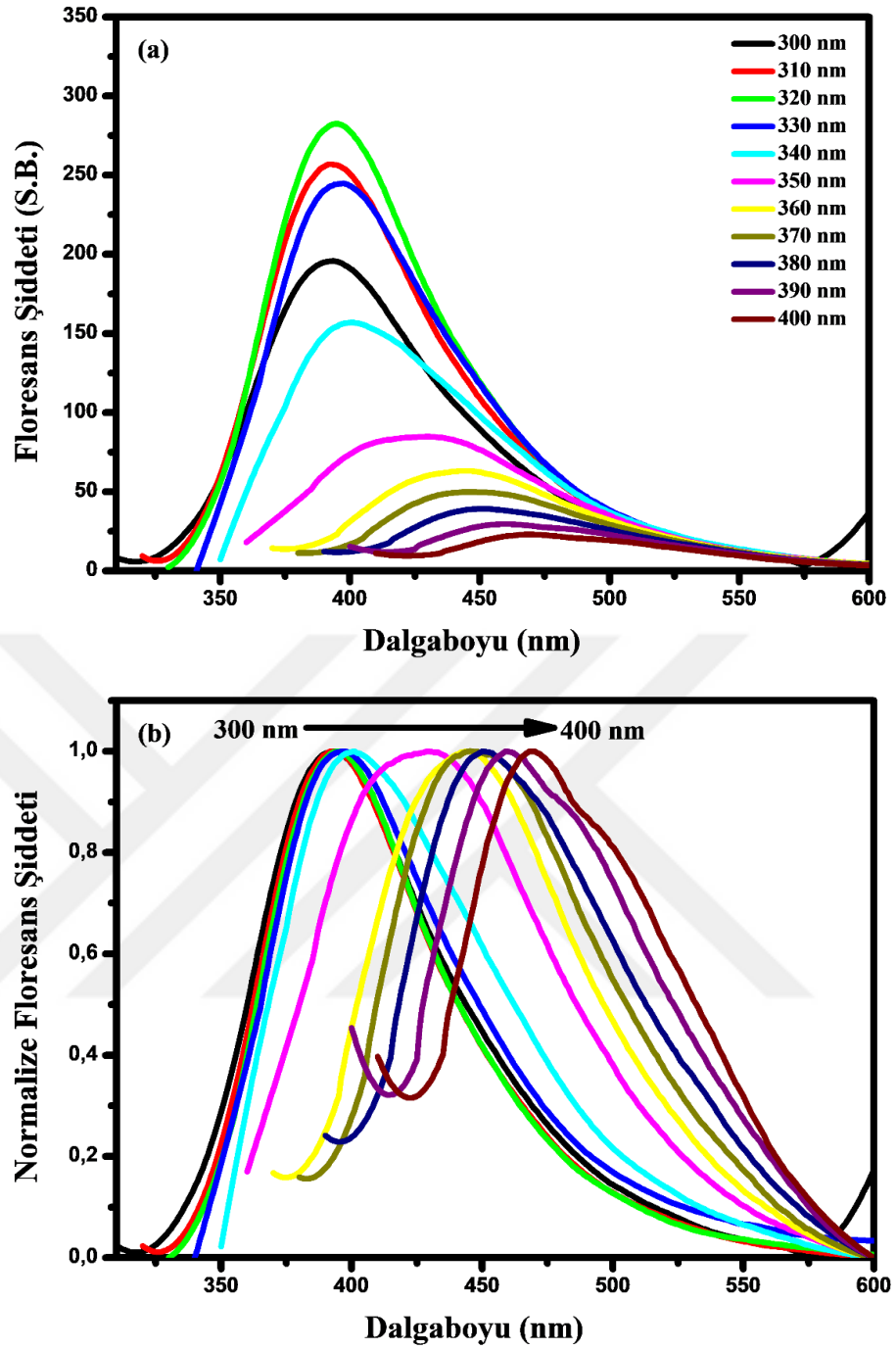
Şekil 37. Karbon nokta yapının Raman spektrumu

Ayrıca zeta potansiyeli ölçümleri ile sentezlenen karbon nokta yapıların yüzey yükleri de belirlenmiştir. Karbon nokta yapının yüzey yükü -5,77 mV olarak bulunmuştur. Bu değer, CDs'ın yüzeyinde pozitif yüklü amino gruplarından daha fazla negatif yüklü karboksil ve hidroksil grupları gibi oksijen içeren fonksiyonel grupların olduğunu göstermiştir (Ge et al. 2022).

CDs'ın optiksel karakterizasyonu için absorpsiyon ve floresans ölçümleri alınmıştır. Şekil 38'de görüldüğü gibi 229 ve 251 nm'de gözlenen absorpsiyon pikleri sırasıyla yapıdaki konjuge elektronun $\pi-\pi^*$, oksijen ve azot heteroatomlarının $n-\pi^*$ geçişlerinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, uyarma dalgaboyu 320 nm olduğunda, CDs'ın yaklaşık 394 nm'de güçlü bir floresans pikine sahip olduğu gözlenmiştir. CDs'ın floresans yoğunluğunun uyarma dalgaboyuna bağımlılığı da incelenmiştir. Bu amaçla 300-400 nm aralığında, 10 nm aralıklarla farklı uyarma dalgaboylarında floresans ölçümleri alınmıştır (Şekil 39a). Uyarma dalgaboyuna bağlı olarak CDs'ın floresans şiddeti azalırken, pik maksimumunun da kırmızıya kaydığı gözlenmiştir (Şekil 39b). Uyarma dalgaboyuna bağlı olarak CDs'ın floresansındaki bu değişimin, yapıdaki farklı boyutlardaki partiküller ya da yüzeydeki emisyon tuzaklarından kaynaklandığı belirtilmiştir (Wei et al. 2019).



Şekil 38. CDs'ın UV-vis. absorpsiyon ve floresans spektrumları ($\lambda_{eks}=320$ nm)

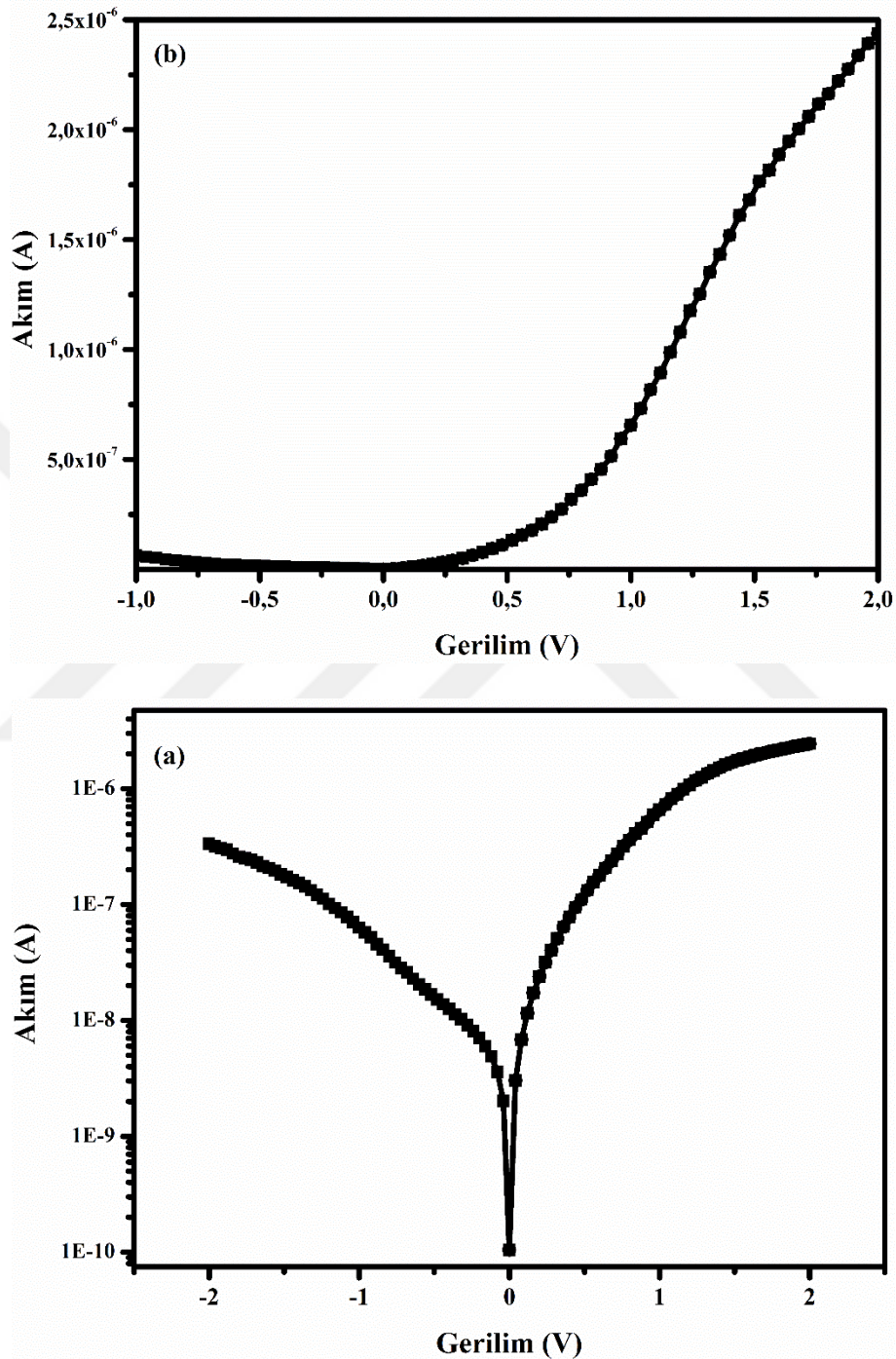


Şekil 39. 300-400 nm aralığında çeşitli uyarma dalgaboylarında CDs'ın (a) floresans (b) normalize floresans spektrumları

Sentezlenen Karbon Nokta Yapılardan (CDs) Schottky Diyot Fabrikasyonu

Yeni doğal materyallerden CDs sentezlemek kadar sentezlenen CDs'ın bir uygulama alanında kullanılabilirliğinin de tartışılması oldukça önemlidir. Bu amaçla ışkın bitkisinden sentezlenen karbon nokta yapıların (CDs) optik özelliklerini kullanarak metal (Au)-yarı iletken CDs bağlantı tabanlı ince film cihazı üretilmiş ve cihazın akım-gerilim (I-V) ve kapasitans-gerilim (C-V) özellikleri araştırılmıştır. CDs tabanlı ince film cihazının I-V ölçümleri oda

sıcaklığında -2,0 V ile +2,0 V arasında yarı iletken parametre analizörü yardımıyla incelenmiştir (Şekil 40). Au/CDs tabanlı ince film cihazının I–V özelliklerine bağlı olarak, Au/CDs arasındaki arayüz, bir schottky bariyer diyodunun oluşumunu gösteren doğrultma davranışı sergilediği belirlenmiştir (Yadav, et al. 2021).

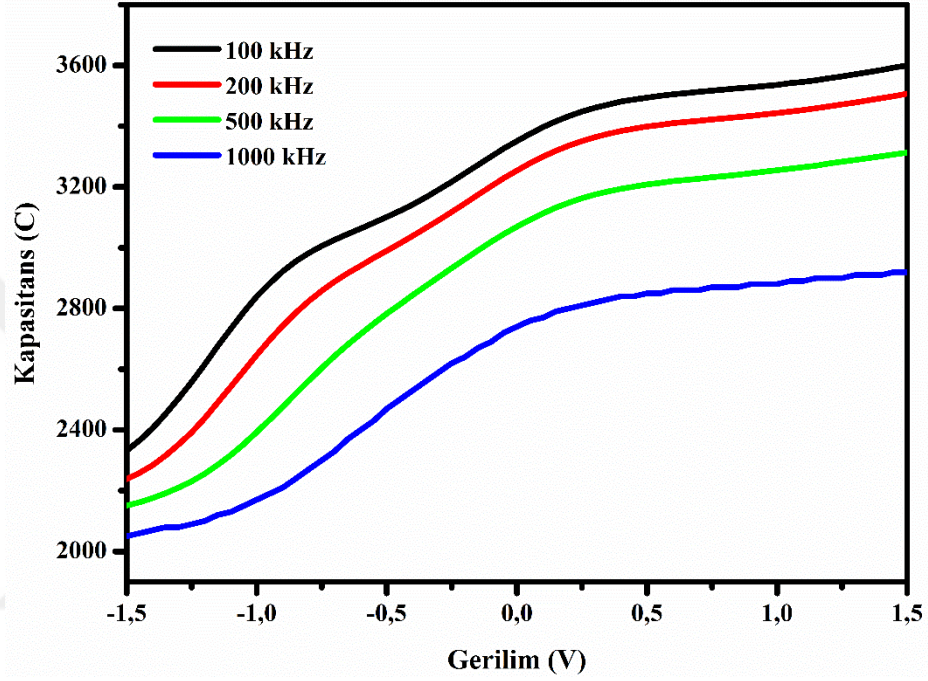


Şekil 40. Si/CDs/Au dayalı Schottky bariyer diodyu için (a) doğrusal (b) logaritmik I–V karakteristik grafiği

CDs için elde edilen I-V grafiğinin doğru beslem bölgesindeki lineer kısmına fit edilmesiyle elde edilen doğrunun eğimi ve düşey eksenini kestiği noktadan belirlenen doyma akımı

yardımla, Eşitlik (1), (2) ve (3)'te verilen denklemler kullanılarak üretilen cihazın engel yüksekliği hesaplanmıştır. CDs tabanlı cihaz için schottky diyot alanı $0,00785 \text{ cm}^2$ ve Richardson sabiti n-Si için $112 \text{ A/K}^2\text{cm}^2$ olup sentezlenen CDs'a dayalı schottky diyot için engel yüksekliği değeri $0,364 \text{ eV}$ olarak hesaplanmıştır.

Ayrıca CDs'a dayalı schottky diyot için C-V ölçümleri de alınmış olup Şekil 41'de verilen grafikten, elde edilen diyot için çalışma voltajı yaklaşık $0,7 \text{ V}$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 41. Si/CDs/Au dayalı Schottky bariyer diyotu için C–V karakteristik grafiği

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında ülkemizde Doğu Anadolu Bölgesi'nde yabani olarak yetişen ışkın (*Rheum ribes*) bitkisi ilk kez karbon kaynağı olarak kullanılarak hidrotermal sentez yöntemi ile tek kademedede floresans karbon nokta yapılar (CDs) başarılı bir şekilde sentezlenmiştir. Literatürde portakal, muz kabuğı, limon, kamkat, süt, bal gibi birçok doğal kaynaktan karbon nokta yapıların sentezi çalışmaları yer almakta olup ışkın bitkisi hem yeni bir doğal malzeme olması hem de birçok karbon kaynağına kıyasla ekonomik olması açısından oldukça önem taşımaktadır (Hu et al. 2021; Atchudan et al. 2021; Ahmadian-Fard-Fini et al. 2018; Polatoğlu et al. 2021; Wang et al. 2014; Mandani et al. 2017). Sentezlenen bu yeni CDs'ın Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM) ve Zeta Potansiyel Tayin Cihazı (Zetasizer) ile morfolojisi, boyutları ve yüzey yükü belirlenmiş; X-ışını Kırınım Cihazı (XRD), X-ışını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS), FT-IR Spektrofotometresi ve Mikro Raman Spektroskopisi cihazları ile de yapısal karakterizasyonu yapılmıştır. TEM ölçümlerine göre, CDs'ın ortalama 1,5 nm boyutlarında monodispers dağılımlı ve küresel yapıda olduğu belirlenmiştir. XRD ölçümlerinden elde edilen $\sim 21^\circ$ 'deki geniş ve yayvan pik amorf karbonun varlığını, FTIR ve XPS sonuçları ise yapıda O-H, C-H, karbonil (C=O), aromatik C=N ve C-O-C gruplarının bulunduğunu göstermiştir. Ayrıca XPS ölçümlerinden CDs'ın yapısında sırasıyla %73,3, %24,0 ve %2,7 oranlarında C, O ve N elementlerin bulunduğunun belirlenmesi yapının karbon nokta yapı olduğunu doğrulamıştır. Mikro Raman sonuçlarına göre CDs'ın yapısındaki karbon atomlarının sp^2 ve sp^3 bağı karbonlar şeklinde olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçların literatürde doğal kaynaklardan sentezlenen CDs çalışmaları ile oldukça uyumlu olduğu gözlenmiştir (Zhang, et al. 2022; Kolaprath et al. 2023). Bu yeni sentezlenen CDs'ın optiksel özelliklerinin belirlenmesi için ise UV-vis. absorpsiyon ve durgun-hal floresans ölçümleri alınmıştır. Absorpsiyon spektrumunda yapıdaki konjuge elektronun $\pi-\pi^*$, oksijen ve azot heteroatomlarının $n-\pi^*$ geçişlerinden kaynaklanan 229 ve 251 nm'de iki pik gözlenmiştir. 300-400 nm aralığında, 10 nm aralıklarla farklı uyarma dalga boylarında floresans ölçümleri alınmış ve uyarma dalga boyu 320 nm olduğunda, CDs'ın yaklaşık 394 nm'de güçlü bir floresans pikine sahip olduğu belirlenmiştir.

Morfolojik, yapısal ve optiksel olarak karakterize edilen yeni CDs'ın uygulama alanı olarak diyot fabrikasyonunda kullanılabilirliği tartışılmıştır. Literatürde, çeşitli kimyasallar kullanılarak sentezlenen CDs'ın ışık saan diyot vb. elektronik aygıtlarda uygulamalarına dair çalışmalar bulunmasına rağmen doğal kaynaklardan elde edilen CDs için bu alandaki çalışmaların oldukça nadir olduğu bilinmektedir. Bu tez çalışması kapsamında ışkın bitkisinden ilk kez elde edilen CDs yarıiletken materyal olarak kullanılmış ve Si/CDs/Au diyot yapısı

dizayn edilmiştir. Diyotun akım-voltaj (I-V) karakteristiğini belirlemek için oda sıcaklığında alınan I-V ölçümleri tasarlanan cihazın schottky diyod davranışı sergilediği ve bu sonucun da literatürle uyumlu olduğu belirlenmiştir (Yadav, et al. 2021). Elde edilen sonuçlara göre bu yeni CDs'ın yarıiletken materyal olarak kullanılabileceğinin belirlenmiş olması, elektronik alanındaki çalışmalara büyük katkılar sağlanacağını göstermiştir.

Bu tez çalışması sonucunda;

- Özellikle ülkemize özgü yetişen endemik bitki, meyve vb. doğal kaynaklardan floresans şiddeti daha yüksek yeni CDs'ın sentezlenebileceği,
- Sentezlenen CDs'ın sensör çalışmalarının yanı sıra elektronik alanındaki uygulamalarının da daha çok geliştirilebileceği

önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Ahmadian-Fard-Fini, S., Salavati-Niasari, M., & Ghanbari, D. (2018). Hydrothermal green synthesis of magnetic Fe₃O₄-carbon dots by lemon and grape fruit extracts and as a photoluminescence sensor for detecting of E. coli bacteria. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 203, 481-493.
- Arul, V., & Sethuraman, M. G. (2018). Facile green synthesis of fluorescent N-doped carbon dots from *Actinidia deliciosa* and their catalytic activity and cytotoxicity applications. *Optical Materials*, 78, 181-190.
- Atabaev, T. S. (2018). Doped carbon dots for sensing and bioimaging applications: A minireview. *Nanomaterials*, 8(5), 342.
- Atchudan, R., Edison, T. N. J. I., Shanmugam, M., Perumal, S., Somanathan, T., & Lee, Y. R. (2021). Sustainable synthesis of carbon quantum dots from banana peel waste using hydrothermal process for in vivo bioimaging. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 126, 114417.
- Bhatt, S., Bhatt, M., Kumar, A., Vyas, G., Gajaria, T., & Paul, P. (2018). Green route for synthesis of multifunctional fluorescent carbon dots from Tulsi leaves and its application as Cr (VI) sensors, bio-imaging and patterning agents. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 167, 126-133.
- Biçer, A., & Biçer, K. B. (2020). Kırmızı soğandan karbon kuantum noktaların sentezi ve fotoluminesans özelliklerinin incelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(1), 48-56.
- Bingül, S., Yunus, Ö. N. A. L., & Gökbulut, İ. Geleceğin Malzemesi Olarak Doğal Biyokütlelerden Üretilen Karbon Kuantum Noktacık Ve Uygulama Alanları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 23-29.
- Çınar, İ. (2018). Rheum ribes L. Bitki Ekstrelerinin Kolorektal Kansere Hücre Hatlarında Antikanserojenik Etkisinin Araştırılması. Doktora Tezi. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- Dikme, R., Kankılıç, N., & Padak, M. (2022). Ateroskleroz Tanı ve Tedavisinde Nanoteknoloji. *Sağlık & Bilim 2022: Nanotıp*, 113.
- Dutrow, B. L. Louisiana State University and Clark, C. M. Eastern Michigan University https://serc.carleton.edu/msu_nanotech/methods.html (27.07.2023)
- Erkoç, Ş., 2007. Nanobilim ve Nanoteknoloji. ODTÜ Yayıncılık, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Toplum ve Bilim Merkezi, 3-5 p, Ankara. (Erkoç, Ş. (2007). Nanobilim ve nanoteknoloji. Apa formatı bu şekilde görünüyor!!!)
- Ge, G., Li, L., Chen, M., Wu, X., Yang, Y., Wang, D., Zuo, S., Zeng, Z., Xiong, W. and Guo, C. (2022). Green Synthesis of Nitrogen-Doped Carbon Dots from Fresh Tea Leaves for Selective Fe³⁺ Ions Detection and Cellular Imaging. *Nanomaterials*, 12(6), 986.
- Güneş, B. (2014) Genel amaçlı bir denetleyici tasarım ve üretimi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Gürmen, S., Ebin, B., & İtö, M. (2008). Nanopartiküller ve üretim yöntemleri-1. *Metallurji Dergisi*, 150, 31-38.
- Hakan, A. T. E. Ş., & Bahçeci, E. (2015). Nano malzemeler için üretim yöntemleri. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 3(2), 483-499.

- Hakan, A. T. E. Ş., & Bahçeci, E. (2015). Nano malzemeler için üretim yöntemleri. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 3(2), 483-499.
- He, M., Yeo, C. (2018). Evaluation of Thermal Degradation of DLC Film Using a Novel Raman Spectroscopy Technique. *Coatings* 8(4):143
- Hoffman, L. (2010). Synthesis and characterization of gold nanoparticles in poly(amidoamine) (PAMAM) dendrimers and potential therapeutic applications. PhD Thesis, Flinders University, Faculty of Science and Engineering, Adelaide, South Australia.
- https://www.cenimat.fct.unl.pt/sites/www.cenimat.fct.unl.pt/files/LAB/Characterization/flyer_micro-raman_final.pdf (27.07.2023).
- <https://www.iitk.ac.in/dordoldn/dynamic-light-scattering-particle-size-and-zeta-potential-analyzer> (27.07.2023)
- Hu, X., Li, Y., Xu, Y., Gan, Z., Zou, X., Shi, J., ... & Li, Y. (2021). Green one-step synthesis of carbon quantum dots from orange peel for fluorescent detection of Escherichia coli in milk. *Food Chemistry*, 339, 127775.
- Huang, H., Lv, J. J., Zhou, D. L., Bao, N., Xu, Y., Wang, A. J., & Feng, J. J. (2013). One-pot green synthesis of nitrogen-doped carbon nanoparticles as fluorescent probes for mercury ions. *Rsc Advances*, 3(44), 21691-21696.
- Pan, J. (2010). Chemical Vapor Deposition of One Dimensional Tin Oxide Nanostructures: Structural Studies, Surface Modifications and Device Applications (Doctoral dissertation, Universität zu Köln).
- Jayaweera, S., Yin, K., Hu, X., & Ng, W. J. (2019). Facile preparation of fluorescent carbon dots for label-free detection of Fe³⁺. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 370, 156-163.
- Kamacı, Y. (2019). Etkili yanma yöntemiyle metal oksit nanopartiküllerin sentezi (Master's thesis, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kolaparth, M. K. A., Benny, L. and Varghese, A. (2023). A facile, green synthesis of carbon quantum dots from *Polyalthia longifolia* and its application for the selective detection of cadmium. *Dyes and Pigments*, 210, 111048.
- Krishnaiah, P., Atchudan, R., Perumal, S., Salama, E. S., Lee, Y. R. and Jeon, B. H. (2022). Utilization of waste biomass of *Poa pratensis* for green synthesis of n-doped carbon dots and its application in detection of Mn²⁺ and Fe³⁺. *Chemosphere* 286, 131764.
- Kuhlmann, K. (2018). Development and Commissioning of a Prototype Neutron Backscattering Spectrometer with an Energy Resolution Enhanced by an Order of Magnitude using GaAs Single Crystals. Als Dissertation genehmigt von der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.
- Küçükyıldırım, B. O., & Eker, A. A. (2012). Karbon nanotüpler, sentezleme yöntemleri ve kullanım alanları. *Engineer & the Machinery Magazine*, (630).
- Lakowicz, J. R. (Ed.). (2006). Principles of fluorescence spectroscopy. Boston, MA: springer US.
- Lehn, JM (2004). Supramoleküler kimya: moleküler bilgiden kendi kendine organizasyona ve karmaşık maddeye doğru. *Fizikteki ilerleme raporları* , 67 (3), 249.
- Liu, J. Li, R. And Yang, B. (2020). Carbon dots: A new type of carbon-based nanomaterial with wide applications. *ACS Cent. Sci.* 6, 2179–2195.

- Mandani, S., Dey, D., Sharma, B., & Sarma, T. K. (2017). Natural occurrence of fluorescent carbon dots in honey. *Carbon*, 119, 569-572.
- Miray, G. Ü. R. (2010). Nanomimarlık bağlamında nanomalzemeler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 15(2).
- Erenler, R., Ojelade, R. A., Karan, T., Gecer, E. N., Genc, N., & Yaman, C. Facile, Efficient Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Salvia Absconditiflora*, Assessment of Their Antioxidant Capacity and Catalytic Activity. Efficient Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Salvia Absconditiflora*, Assessment of Their Antioxidant Capacity and Catalytic Activity. Pan M., Xie X., Liu K., Yang J., Hong L., Wang S. 2020. Fluorescent Carbon Quantum Dots—Synthesis, Functionalization and Sensing Application in Food Analysis. *Nanomaterials*, 10, 930. 1-25.
- Polatoğlu, B., Bozkurt, E. (2021). “Green synthesis of fluorescent carbon dots from Kumquat (*Fortunella margarita*) for detection of Fe³⁺ ions in aqueous solution”, *Research on Chemical Intermediates*, 47, 1865-1881.
- Prasannan, A. and Imae, T. (2013). One-Pot Synthesis of Fluorescent Carbon Dots from Orange Waste Peels. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 52, 44, 15673–15678.
- Ramezani, Z., Qorbanpour, M., & Rahbar, N. (2018). Green synthesis of carbon quantum dots using quince fruit (*Cydonia oblonga*) powder as carbon precursor: application in cell imaging and As³⁺ determination. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 549, 58-66.
- Rezaei, A., Ehtesabi, H. (2022). Fabrication of alginate/chitosan nanocomposite sponges using green synthesized carbon dots as potential wound dressing. *Materials Today Chemistry* 24, 100910.
- Sagun-Gököz, Berra, and Sevil Akaygün. "Üniversiteden liseye uzanan köprü: Bir nanobilim atölye çalışması." *Boğaziçi Üniversitesi Eğitim Dergisi* 31.2 (2013): 49-72.
- Sansar, A., & Akyol, A. A. Arkeolojik Alanlarda Mimari Kalıntıların Korunmasında Nanoteknoloji Kullanımı. *Toplantısı*, 11.
- Skoog, A.D., Holler F.J., Nieman T.A., 1998. Enstrümental analiz ilkeleri. Çeviri editörleri: Kılıç, E., Köseoğlu, F., Yılmaz, H. by Harcourt Brace&Company, 849 p, USA.
- Sondi, I., B. Salopek-Sondi, 2004. Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study
- Teközgen, E. (1981). DİYOTLAR.
- Tübitak Nanoteknoloji Strateji Grubu, (2004). Nanobilim ve Nanoteknoloji Stratejileri Vizyon 2023 Projesi, Ankara, 4. Grubu, N. S. (2023). Nanobilim ve nanoteknoloji stratejileri.
- Tüylek, Z. (2021). Nanoteknoloji uygulamalarında hayatımıza yansımalar. *Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(2), 69-79.
- Uzun, A. Silisyum karbür nanotel bazlı alan etkili transistörlerin (sicnw-fets) elektriksel iletim özelliklerine kanal uzunluğu ölçeklendirmesinin etkisi (Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Vandenbroucke, A. M. (2015). Abatement of volatile organic compounds by combined use of non-thermal plasma and heterogeneous catalysis. PhD Thesis, Ghent University, Faculty of Engineering, Ghent-Belgium.
- Wang, L., Zhou, H.S. 2014. “Green Synthesis of Luminescent Nitrogen-Doped Carbon Dots from Milk and Its Imaging Application”, *Analytical Chemistry*, 86, 8902-8905.

- Wei, X., Li, L., Liu, J., Yu, L., Li, H., Cheng, F., Yi, X., He, J. and Li, B. (2019). Green Synthesis of Fluorescent Carbon Dots from *Gynostemma* for Bioimaging and Antioxidant in Zebrafish. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 11, 9832–9840.
- Zafar, A., R. Rizvi, I. Mahmood, 2019. Biofabrication of silver nanoparticles from various plant extracts: blessing to nanotechnology. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 99(14), 1434-1445.
- Zhang, Q., He, S., Zheng, K., Zhang, L., Lin, L., Chen, F., Du, X. and Li, B. (2022). Green synthesis of mustard seeds carbon dots and study on fluorescence quenching mechanism of Fe^{3+} ions. *Inorganic Chemistry Communications*, 146, 110034.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Muhammed Taha DURMUŞ
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	
Lisans:	

