

OCAK 2020

Yüksek Lisans Tezi-Biyoloji

MERAL DİKBAŞ

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SENTEZLENMİŞ KARBON NANO NOKTALARIN *TRITICUM*
AESTIVUM L. CV. GOLIA'DAKİ FİZYOLOJİK VE
HİSTOKİMYASAL ETKİLERİ

BİYOLOJİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERAL DİKBAŞ
OCAK 2020

**SENTEZLENMİŞ KARBON NANO NOKTALARIN *TRITICUM*
AESTIVUM L. CV. GOLIA'DAKİ FİZYOLOJİK VE
HİSTOKİMYASAL ETKİLERİ**

Gaziantep Üniversitesi

Biyoloji

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Doç. Dr. Muhittin DOĞAN

İkinci Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mikail ASLAN

Meral DİKBAŞ

Ocak 2020



©2020[Meral DİKBAŞ]

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANA BİLİM DALI

Tezin Başlığı : Sentezlenmiş Karbon Nano Noktaların *Triticum aestivum*
L. cv. Golia'daki Fizyolojik ve Histokimyasal Etkileri

Öğrencinin Adı Soyadı : Meral DİKBAŞ

Sınav Tarihi : 30.01.2020

Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. A. Necmeddin YAZICI
Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof. Dr. Filiz ÖZBAŞ GERÇEKER
Enstitü Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımızca okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Mikail ASLAN
İkinci Tez Danışmanı

Doç. Dr. Muhittin DOĞAN
Tez Danışmanı

Bu tez tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzası

Doç. Dr. Muhittin DOĞAN

.....

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa PEHLİVAN

.....

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa SEVİNDİK

.....

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilmek suretiyle tezde yer aldığını beyan ederim.

Meral DİKBAŞ

ABSTRACT

PHYSIOLOGICAL AND HISTOCHEMICAL EFFECTS OF SYNTHESIZED CARBON NANODOTS IN *TRITICUM AESTIVUM* L. CV. GOLIA

DİKBAŞ, Meral

M.Sc. in Biology

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Muhittin DOĞAN

Co-Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mikail ASLAN

January 2020

70 pages

The aim of the present study is to evaluate the effects of synthesized carbon nanodot concentrations on some physiological and histochemical parameters in *T. aestivum* L. cv. Golia. We synthesized carbon nanodots from tangerine juice by using hydrothermal method. For microstructural characterization, we applied XRD and TEM analyzes. The XRD and TEM analyzes show that carbon nanodot was synthesized successfully. The modeling of carbon nanodots was done by using Density Functional Theory (DFT) method to examine the structure at the level of nano or atomic scale. According to the obtained results, the peaks in the DOS analysis are very intense. The high peaks in the DOS analysis indicate that carbon nanodots are unstable and may have ability to react with many inorganic materials in the plant. Before the experiment, the seeds were sterilized with 5% sodium hypochloride solution for 15 min, and washed with sterile water three times. Three replicas of 20 seeds for each synthesized carbon nanodot treatment, or for the control, non-treated seeds, were placed on two layers of filter paper in 120 mm sterile petri dishes. The seeds were moistened with distilled water for controls and with aqueous solutions for each treatment (25, 50, 100, 250, 500 and 1000 mg/L). The petri dishes were incubated in a growth chamber. Net findings, the applications negatively affected the root and shoot developments. Non-protein SH groups and H₂O₂ contents were found to increase with the applied synthesized carbon nanodot concentrations. Similarly, malondialdehyde contents showed an increase in the effect of carbon nanodot concentrations. In order to assess the existence of oxidative stress in wheat roots due to carbon nanodot application, histochemical analyses were performed. In particular, the staining in roots following high concentrations were observed. Therefore findings prove the carbon nanodot induced oxidative damage in wheat tissues.

Key Words: Nanoparticles, Nanomaterials, Synthesized Carbon Nanodots, XRD, TEM, DFT, Wheat, Physiological Effect, Histochemistry Effect

ÖZET

SENTEZLENMİŞ KARBON NANO NOKTALARIN *TRITICUM AESTIVUM* L. CV. GOLIA'DAKİ FİZYOLOJİK VE HİSTOKİMYASAL ETKİLERİ

DİKBAŞ, Meral

Yüksek Lisans Tezi, Biyoloji

Danışman: Doç. Dr. Muhittin DOĞAN

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mikail ASLAN

Ocak 2020

70 sayfa

Bu çalışmada, mandalina suyundan sentezlenen karbon nano noktaların, ülkemize ekimi yapılan ekmeklik buğday çeşitlerinden *Triticum aestivum* L. Golia'daki fizyolojik ve histokimyasal etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Karbon kaynağı olan mandalina suyundan hidrotermal yöntem ile nano ölçekte karbon noktaları sentezlendi. Karbon nano noktaların karakterizasyonu için XRD ve TEM analizleri yapıldı. XRD ve TEM çalışmaları karbon nano noktaların başarıyla üretildiğini gösterdi. Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi (YFT) yöntemi kullanılarak karbon nano noktaların modellenmesi yapılarak nano/atomik ölçekte karbon nano noktaları incelendi. Elde edilen YFT sonuçlarına göre, DOS analizindeki tepe noktalarının fazla olması karbon nano dotun kararsız olduğunu ve bitkide tepkimeye girebilme özelliğini göstermektedir. Çimlenme deneylerine başlanılmadan önce, tohumlar %5'lik sodyumhipoklorit'te 15 dakika steril edilmiştir. Tohumlar sonra üçer defa distile sudan geçirilerek yüzeylerindeki hipokloritten arındırılmıştır. Araştırmamız steril petri kaplarında (120 mm) yürütülmüştür. Tohumlar sentezlenmiş karbon nano noktaların farklı derişimleri (0, 25, 50, 100, 250, 500 ve 1000 mg/L) ile sulanmıştır. Kontrol olarak distile su kullanılmıştır. Uygulamalar kontrollü şartlarda 24±1 °C'de bir iklimlendirme dolabında yürütülmüştür. Farklı karbon nano noktaların derişimlerinin etkisinde test edilen buğday fideleri yedinci günün sonunda hasat edilmiştir. Sentezlenmiş nano nokta derişimlerinin uygulanması sonucunda buğday kök ve sürgünlerinin uzunlukları artan derişimle birlikte azalmıştır. Protein olmayan sülfidril gruplar ve hidrojen peroksit miktarları karbon nano nokta derişimlerinin etkisinde artmıştır. Benzer olarak fide organlarının MDA miktarları da karbon nano nokta derişimlerinin etkisinde artmıştır. Karbon nano noktaların buğday köklerinde oksidatif strese neden olup olmadığını belirlemek amacıyla histokimyasal analizler yapılmıştır. Özellikle yüksek derişimlerin etkisinde köklerde boyanmaların olduğu açıkça görülmüştür. Bu sonuçlar uygulanan karbon nano noktaların buğday dokularında oksidatif hasara neden olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Nanoparçacıklar, Nanomalzemeler, Sentezlenmiş Karbon Nano Noktalar, XRD, TEM, YFT, Buğday, Fizyolojik Etki, Histokimyasal Etki



“Canum aileme”

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince tüm bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşmaktan kaçınmayan, her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen ve tezimde büyük emeği olan, Gaziantep Üniversitesi öğretim üyelerinden kıymetli ve saygıdeğer danışman hocam, **Doç. Dr. Muhittin DOĞAN**'a,

Tez çalışmalarım sırasında benden desteğini esirgemeyen ikinci tez danışmanım saygıdeğer hocam, **Dr. Öğr. Üyesi Mikail ASLAN**'a

Çalışmalarım boyunca yardımını hiç esirgemeyen değerli arkadaşım **Gülcan ÇINAR**'a,

Çalışmalarım süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan çok sevdiğim **Canım Aileme**,

Sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ABSTRACT	v
ÖZET	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
KISALTMALAR LİSTESİ	xiv
BÖLÜM 1: GİRİŞ	1
1.1 Nanoteknoloji	1
1.1.1 Nanoteknolojinin Uygulama Alanları.....	2
1.1.2 Çevre Uygulamalarında Nanoteknoloji	2
1.2 Nanomalzemeler/Nanomateriyaller.....	4
1.2.1. Nanomateriyallerin Özellikleri	4
1.2.2 Nanomateriyallerin Sınıflandırılması.....	5
1.2.3 Nanomalzemelerin Çevresel Etkileri	6
1.2.4 Nanopartiküllerin Bitkiler Tarafından Alınımı, Taşınımı ve Birikimi .	7
1.2.5 Nanopartiküllerinin Fitotoksisitesi.....	8
1.3. Karbon Nano Materyaller	10
1.3.1 Karbon Nanomalzemelerinin Çevredeki Durumu	10
1.4 Karbon Nano Noktalar	12
1.4.1 Karbon Nano Noktaların Sentezi	13
1.4.2. Karbon Nano Noktaların Bitkilere Etkisi	19
1.5 Çalışmanın Amacı	20
BÖLÜM 2: LİTERATÜR ÖZETLERİ	21
BÖLÜM 3: MATERYAL VE YÖNTEM	27
3.1 Karbon Nano Noktaların Sentezi	27
3.1.1 Karbon Nano Noktaların Simülasyonu	27
3.2 Deney Ortamı ve Uygulama	28

3.3 Ölçümler	28
3.4 Analizler	29
3.4.1 Protein Analizi	29
3.4.2 Toplam Karbonhidrat Analizi	29
3.4.3 Toplam Fenolik Bileşik Analizi.....	29
3.4.4 Protein Olmayan Sülfidril Grupların Analizi.....	29
3.4.5 Hidrojen Peroksit Analizi	30
3.4.6 Malondialdehit Analizi	30
3.4.7 Histokimyasal Analizler.....	30
3.4.8 İstatistiksel Analiz.....	31
BÖLÜM 4: BULGULAR	32
4.1 Karbon Nano Nokta.....	32
4.2 Genel Bulgular	35
4.3 Büyüme Üzerine Etkisi	37
4.4 Toplam Karbohidrat Miktarı	38
4.5 Protein Miktarı	38
4.6 Toplam Fenolik Bileşik Miktarı	40
4.7 Protein Olmayan Sülfidril Grupların Miktarı	40
4.8 Hidrojen Peroksit Miktarları	41
4.9 Lipid Peroksidasyon Miktarları.....	41
4.10 Histokimyasal Analiz Sonuçları	43
BÖLÜM 5: TARTIŞMA VE SONUÇ	44
KAYNAKLAR	50

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1	Nanoteknolojinin uygulama alanları	3
------------------	--	---



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	Nanomalzemelerinin boyutlarına göre kategorize edilmesi	5
Şekil 1.2	Çeşitli C-dotların sentezinin şematik gösterimleri	14
Şekil 1.3	Grafen nanodotları/karbon nanodotlarının (A) yukarıya aşağıya yöntemi ve (B) aşağıdan yukarıya yöntemi ile sentezi.....	15
Şekil 1.4	Hidrotermal yöntemleri ve elde edilen ürünler	17
Şekil 3.1	Hidrotermal yöntem ile karbon nano noktaların hazırlanması	27
Şekil 3.2	Buğday tohumlarına uygulanan karbon nano nokta derişimleri.....	28
Şekil 4.1	Karbon nanodot modeli	32
Şekil 4.2	Karbon nanodot DOS analizi.....	33
Şekil 4.3	Karbon nanodot'un XRD analizi.....	34
Şekil 4.4	Karbon nanodot'un TEM Görüntüsü.....	34
Şekil 4.5	Farklı derişimlerde karbon nano nokta uygulanmış buğdayların deney sonu genel görünümüleri.....	35
Şekil 4.6	Farklı derişimlerde karbon nano nokta uygulanmış buğday tohumlarının çimlenme sonrası genel görünümüleri.....	36
Şekil 4.7	Farklı karbon nano nokta derişimlerin etkisindeki buğday fidelerinin kök ve sürgün uzunlukları.....	37
Şekil 4.8	Farklı karbon nano nokta derişimlerin etkisindeki buğday fidelerinin kök/ sürgün oranları	38
Şekil 4.9	Farklı karbon nano nokta derişimlerin etkisindeki buğday fide kök ve sürgünlerinin toplam karbonhidrat miktarları.....	39
Şekil 4.10	Farklı karbon nano nokta derişimlerin etkisindeki buğday fide kök ve sürgünlerinin protein miktarları	39
Şekil 4.11	Farklı karbon nano nokta derişimlerin etkisindeki buğday fide kök ve sürgünlerinin toplam fenolik bileşik miktarları	40
Şekil 4.12	Farklı karbon nano nokta derişimlerin etkisindeki buğday fide kök ve sürgünlerinin protein olmayan SH grup miktarları.....	41
Şekil 4.13	Farklı karbon nano nokta derişimlerin etkisindeki buğday fide kök ve sürgünlerinin hidrojen peroksit miktarları	42

Şekil 4.14	Farklı karbon nano nokta derişimlerin etkisindeki buğday fide kök ve sürgünlerinin malondialdehit (MDA) miktarları 42
Şekil 4.15	Farklı karbon nano nokta derişimlerin etkisindeki buğday fidelerinin köklerindeki lipid peroksidasyonun histokimyasal olarak belirlenmesi.. 43
Şekil 4.16	Farklı karbon nano nokta derişimlerin etkisindeki buğday fidelerinin Köklerindeki membrane hasarının histokimyasal olarak belirlenmesi 43



KISALTMALAR LİSTESİ

NT	Nanoteknoloji
NM	Nanomalzeme/Nanomateriyal
MNP	Mühendislik Nanoparçacık
MNM	Mühendislik Nanomalzeme
NP	Nanopartikül
KNP	Karbon Nanopartikül
TNP	Tasarlanmış Nanopartikül
KNT	Karbon Nanotüp
TDKNT	Tek Duvarlı Karbon Nanotüp
ÇDKNT	Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
KNP	Karbon Nanoparçacık
KNM	Karbon Nanomalzeme
KBM	Karbon Bazlı Malzeme
KN	Karbon Nanonokta/Karbon Nanodot
sçKNN	Suda Çözünür Karbon Nanonokta
GO	Grafen Oksit
C₆₀	Fulleren
HC	Hidrotermal Yöntem
YFT	Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi
SD	Schrodinger denklemi
ROT	Reaktif Oksijen Türleri
TEM	Transmisyon Elektron Mikroskopisi
MDA	Malondialdehit
SH	Protein Olmayan Sülfidril
DOS	Durum Yoğunluğu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Nanoteknoloji

Nanoteknoloji (NT) terimi ilk olarak 1959'da Richard Feynman tarafından ileri sürülmüştür. Feynman, bilim adamlarının tekli atomları ve molekülleri kullanabilecekleri ve kontrol edebilecekleri bir süreci tanımlamıştır. Kısa bir süre sonra, ultra hassas işleme konusundaki araştırmalarında Profesör Norio Taniguchi, NT terimini kullanmıştır (Hulla vd., 2015). NT, geniş bir uygulama yelpazesinde muazzam potansiyele, tamamen yeni özelliklere ve fonksiyonlara sahip yeni ürünler üretme imkanı nedeniyle, gelişen bir teknolojidir (Sattler, 2010; Logothetidis, 2012).

Nanoteknoloji, yapıları önemli ölçüde yeni ve gelişmiş; fiziksel, kimyasal, biyolojik özellikler ve nano ölçekli boyutlarından dolayı işlevsellik gösteren malzemelerle ilgilidir (Wang, 2000). Maddenin atomik, moleküler ve supramoleküler seviyelerde görülmesi, ölçülmesi ve manipüle edilmesi ile çalışmayı amaçlayan bir araştırma ve geliştirme olarak tanımlanabilir (NSTC, 2004). Nanoteknoloji, Dünya'da yapılan araştırmaların merkezi haline gelmiştir. Bu ölçekte çalışmanın avantajı, elementlerin normal ölçekte sahip olduklarından tamamen farklı özelliklere sahip olmaları veya özelliklerinin güçlenmiş olması ve yeni fiziko-kimyasal özelliklere sahip olmalarıdır (Hussain vd., 2015).

Fiziko-kimyasal özelliklerindeki bu değişikliklerden dolayı, sağlık, endüstri, çevre, enerji, vb. alanlarda kullanımları gelişmiştir. Günümüzde NT, Bilişim, Fizik, Tıp, Biyoloji, Mühendislik ve Kimya gibi farklı alanlardan gelen bilgileri içerdiği için yeni bilimsel alanlardan biridir (ISO, 2010). Üretilen nanomalzemeler, geleneksel teknolojilerle tedavi edilemeyen zor problemleri çözebilen fiziko-kimyasal, yüzeysel ve optik elektronik özellikler sunmaktadır. Yeni ürünler oluşturmak, mevcut metodları değiştirmek; yüksek performans sağlamak ve daha az enerji tüketimi ile yeni malzemeler ve kimyasallar üretmek için yenilikçi yöntemlerin geliştirilmesinde

önemli bir rol oynamaktadır (Logothetidis, 2012; Ramsden, 2013; Srivastava vd., 2015).

1.1.1 Nanoteknolojinin Uygulama Alanları

Nanoteknoloji hızla ilerlemektedir ve yakında trilyon dolarlık bir endüstri haline gelebileceği düşünülmektedir (Nel vd., 2006). Sonuç olarak da, büyük miktarda mühendislik nanoparçacıklarının (MNP) çevreye salınması kaçınılmazdır. MNP yaygın olarak 1 nm ila 100 nm arasında en az iki boyutlu malzemeler olarak kabul edilir (ASCM, 2006; SCENIHR, 2007). Nanoteknoloji, kozmetik, farmasötik, enerji, katalitik malzemeler ve çevre uygulamaları gibi çeşitli alanlarda kullanılan yeni malzemelerin üretiminde bir devrimi körüklemiştir (Sattler, 2010; Logothetidis, 2012; INPI, 2009) (Tablo 1.1).

Nanoteknoloji, tıp, mühendislik, çevre teknolojisi pigmentleri, gıda, elektronik aletleri, biyolojik ve farmasötik uygulamalar ve daha birçok alanda nano ölçekli minerallerin ticari uygulamasında fark yaratmıştır. Bu teknoloji aynı zamanda hem hayvan hem de insan modellerinde biyoloji (moleküler ve hücresel), biyoteknoloji, mineral beslenme, fizyoloji, üreme, farmakoloji vb. alanlarda yeni bir araç olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, patojen tespiti için kullanılabilmektedir. Bu nedenle, tarım bilimi, hayvancılık ve gıda sistemlerinin mühendisliği de dahil olmak üzere çeşitli alanlarda nanoteknolojinin kullanımı vardır. Pek çok ülkenin ekonomisi tarıma bağımlıdır ve gelecekteki hayvancılık ve beslenme için nanoteknoloji çok önemli bir pozisyona gelecektir (Sri Sindhura vd., 2014). Nanoteknolojinin tıp, elektronik, tekstil, kozmetik ve mühendislik alanındaki uygulamaları günlük hayatımızı iyileştirebilme potansiyeli vardır (Caruthers vd., 2007; Sawhney vd., 2008).

1.1.2 Çevre Uygulamalarında Nanoteknoloji

Nanomalzemeler, geniş yüzey alanları ve yüksek reaktiviteleri nedeniyle mükemmel adsorbanlar, katalizörler ve sensörlerdir. Bazı nanoteknoloji uygulamaları neredeyse ticarileştirilmiştir. Bunlar arasında aşınmayı önleyen nano-sensörler ve nano-ölçekli kaplamalar, korozyonu önleyen daha kalın, daha israfli polimer kaplamanın yerini almak için nano-ölçekli kaplamalar, sudaki toksinlerinin tespiti için nano-sensörler, çevresel izleme ve saflaştırma için akıllı parçacıklar ve çevre temizliği için yeni

fotokatalist olarak nanopartiküller sayılabilmektedir (Bhawana ve Fulekar, 2012; Falahi ve Abbasi, 2013; Khan vd., 2014; Chirag, 2015).

Tablo 1.1 Nanoteknolojinin uygulama alanları (INCID, 2008)

ALANLAR	UYGULAMALAR
OTOMOTİV	Hafif yapı; katalizörleri; boyama; lastikler; sensörleri; ön cam ve karoser kaplamaları
İNŞAAT	Malzemeler; yalıtımı; alev geciktiriciler; yüzey kaplamaları; harç
ELEKTRONİK	Görüntüler; veri belleği; lazer diyotları; Fiber optik; optik anahtar; iletken kaplamaları filtreler; antistatik kaplamalar; transistörler.
MÜHENDİSLİK	Alet makineleri için koruyucu kaplamalar; yağsız rulmanlar
YİYECEK VE İÇECEK	Ambalaj; depolama ömrü sensörleri; katkı maddeleri; meyve suyu arıtıcılar
TIP	İlaç dağıtım sistemleri; kontrast madde; hızlı test sistemleri; protezler ve implantlar; antimikrobiyal ajanlar; vücut içi teşhis sistemleri
TEKSTİL	Yüzey kaplamaları; " akıllı " kıyafetler (kırıksıklık önleyici, leke tutmaz sıcaklık kontrollü)
KİMYASAL	Boyalar için dolgu maddeleri; kompozit malzemeler; kağıtların emprenye edilmesi; yapıştırıcılar; manyetik sıvılar
MAKYAJ MALZEMELERİ	Güneş kremi; Ruj; Cilt kremleri; Diş macunu
ENERJİ	Aydınlatma; Yakıt hücreleri; Güneş hücreleri; Piller; kondansatörler
ÇEVRE	Çevresel izleme; Toprak ve yeraltı suyu iyileştirilmesi; Toksik maruz kalma sensörleri; Yakıt değiştiren katalizörler; Yeşil Kimya
EV HALKI	Ütüler için seramik kaplamalar; Koku gidericiler; Cam, seramik, metal temizleyicileri
SPOR DALLARI	Kayak mumu; Tenis racketleri; Golf kulüpleri; Tenis topları; Tekneler için zehirli boyalar; Gözlük camları için köpük önleyici kaplamalar
ASKERİ	Kimyasal silahlar için nötralizasyon malzemeleri, kurşun geçirmez koruma

1.2 Nanomalzemeler/Nanomateriyaller

Nanomalzemeler (NM), doğada var olan ve aynı zamanda laboratuvarda üretilen metallerden, oksitlerden ve tuzlardan oluşan inorganik parçacıklardır. Nanomalzemeler en az bir boyutu 1 ila 100 nm aralığında olan partiküllerdir. Değişik şekil, boyut, yüzey alanına sahip olan bu nanopartiküller (NP'ler); teknolojik ve biyomedikal alanda farklı mekanik, kimyasal, elektriksel ve optik özelliklere sahiptir. İşlevselleştirilmiş NM'ler, birkaç kimyasal fonksiyonel gruba yüzeylerine bağlayarak elde edilebilir (Subbiah vd., 2010). Ek olarak, kirli yüzeylerden ağır metal emicileri olarak yüzey fonksiyonlu NM'lerin kullanımına ilgi artmaktadır (Kong vd., 2014).

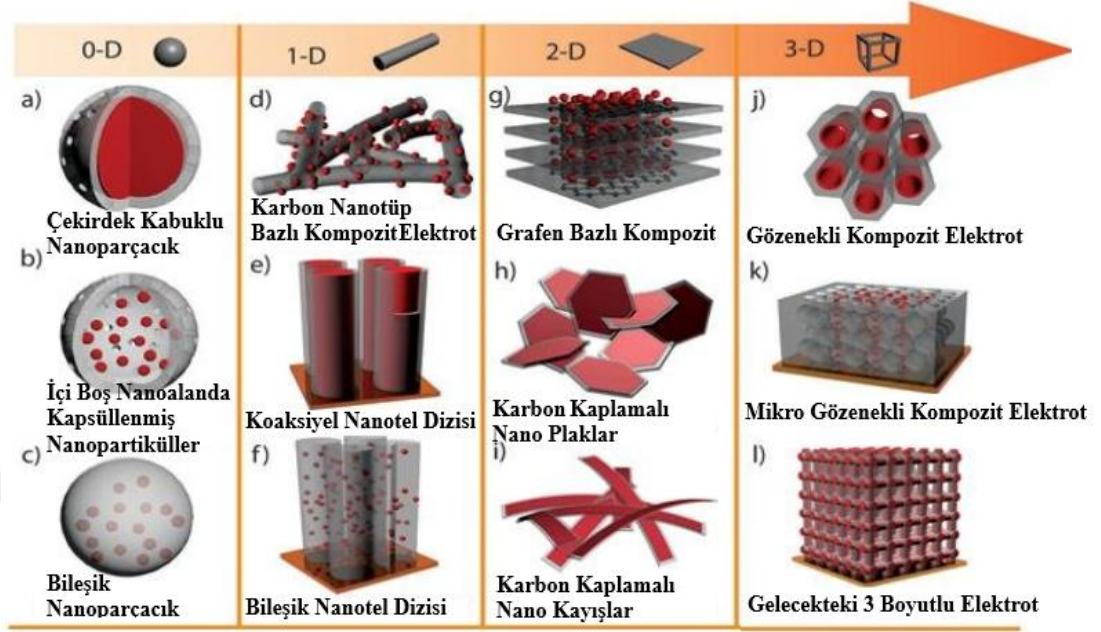
Bazı çalışmalar, hayvanların ve bitkilerin NM'lere karşı hassas olmalarına özellikle dikkat çekmektedir (Poma vd., 2014; Husen vd., 2014). Ancak bitkilerdeki penetrasyon, yer değiştirme ve toksisite mekanizmaları hala tam olarak anlaşılmamıştır. Bunlar bitkiye girdikten sonra insan için avantajlı etkilerin yanı sıra zararlı etkiler de üretilebilecekleri düşünülmektedir.

1.2.1. Nanomateriyallerin Özellikleri

Nanomalzemeler, daha çok nano ölçekli niteliklere sahip olmaları nedeniyle benzersiz özelliklere sahiptirler. Nanopartiküller, yüksek yüzey / hacim oranlarından dolayı tamamen yeni özellikler sergileyebilirler. Bu da onları aynı malzemelerin dökme formlarından daha reaktif kılar (Mukherjee, 2016). Nano boyutlu bir formda olan bir materyal (örneğin bir metal), aynı materyalin nano ölçekli olmayan bir formundayken olanlardan tamamen farklı özellikler gösterebilir. Nanomalzemenin büyüklüğü azaldığında farklı fizikokimyasal özellikler göstermektedir (Gillett, 2002; Mukherjee, 2016).

Elemental özellikler, nano ölçekli aralıkta belirgin şekilde değişebilir. Bazıları renk değiştirir. Bazıları ısı iletme veya ışığı yansıtmakta daha iyi hale gelebilir. Bazıları ise güçlenir ve bazıları manyetik özellikleri değiştirir veya geliştirirler (Hochella ve Madden, 2005). Nanometre aralığındaki bazı plastikler çelik kuvvetine sahiptir. Tenis raketi imalatçıları, ekipman performansını artırmak için nano-silikon dioksit kristallerini kullanmaktadır (Nanowerk, 2013; Heera ve Shanmugam, 2015). Bu nano ebatlardaki malzemelerin benzersiz özellikleri, biyomedikal, ilaç, kozmetik ve çevre

gibi çeşitli alanlarda birçok uygulama için avantajlara sahiptir (Loos, 2015). Şekil 1.1’de nanomalzemelerin boyutlarına göre kategorize edilmesi verilmiştir.



Şekil 1.1 Nanomalzemelerin boyutlarına göre kategorize edilmesi (Tiwari vd., 2013).

Karbon nanomalzemeler (KNM'ler), tipik yüzey morfolojisi, küçük yüzey alanı, yüksek kimyasal reaktivite vb. dahil olmak üzere yeni fizikokimyasal özelliklere sahiptir. Bu özellikler, kütlede karşılık gelen özelliklerden belirgin bir şekilde farklılık gösterir ve varyasyonlar tipik olarak topaklanma şekli, yüzey yapısı ve küçük boyuttaki farklılıklardan kaynaklanır. (Wang vd., 2016). KNM'lerin spesifik özellikleri, kararlı moleküler yapılarına ve bunların uygulandığı ortamda homojen dağılım karakteristiğine bağlıdır (Niazi vd., 2015; Mohajeri vd., 2019).

KNM, olağanüstü optik, elektriksel, mekanik ve termal özellikleri nedeniyle artan uygulamaları ile iyi bilinen bir mühendislik nanomalzemeleri (MNM) sınıfıdır (Hurt vd., 2006; Bennett vd., 2013; Srivastava vd., 2015). Nanomalzemeler, küçük boyutları ve mükemmel özellikleri sayesinde, tarımsal endüstrisi ve biyoloji alanlarında büyük potansiyel uygulamalara sahiptir (Yao vd., 2014).

1.2.2 Nanomateryallerin Sınıflandırılması

Kirletici partiküller arasında nanopartiküller (NP'ler) ve karbon nanomalzemelerden (KNM'ler) oluşan nanomalzemeler vardır. NP'ler 1-100 nm boyutunda olan parçacıklardır (Dietz ve Herth., 2011).

KNM'lerin uzunluğu onlarca nanometreden birkaç santimetreye kadar değışebilir ve aşağıdakilerden oluşur:

- 1) Genellikle 2 nm'yi aşmayan tek duvarlı karbon nanotüpler (TDKNT'ler) olarak adlandırılan tek katmanlı silindirler,
- 2) Çapı 80 nm'yi aşmayan ve çok duvarlı karbon nanotüpler (ÇDKNT'ler) olarak adlandırılan çoklu eşmerkezli silindir katmanları,
- 3) 1 nm'den küçük içi boş küreler olan fullerener,
- 4) Altıgen şeklindeki yapıların bal peteğı olarak tekrarlanmasında düzenlenmiş tek bir atom katmanından yapılmış bir karbon allotropu olan grafen.

Bu tasarlanmış nanopartiküller (TNP'ler) metal veya karbon bazlı olabilir. Metal bazlı TNP'ler metal oksitler, metaller ve kuantum noktaları olarak gruplandırılabilir (Verma vd., 2018). KNM'ler nanodotlar, nanotüpler, nanohornlar, fullerener, nanopartiküller, nano boncuklar, nano elyaflar ve nano elmaslar gibi çeşitli kategorilere ayrılır (Kumar vd., 2018).

Çeşitli uygulamalar için en sık üretilen KNM'ler arasında; fullerener (C_{60}), karboksidiolgular, fulleroller, grafen, grafen oksit (GO), karbon nanoparçacıkları (KNP'ler), karbon nanodotlar (KND'ler), karbon nanoparçacıkları (KNP'ler), nanokarbon sol (KNS), suda çözünür karbon nano soğanları (ws-KNO'lar), karbon nano lifleri (KNF'ler), floresan karbon noktaları (FKN'ler), karbon nanotüpleri (KNT'ler) vb. sayılabilir.

1.2.3 Nanomalzemelerin Çevresel Etkileri

Nanoteknoloji, gelişmiş materyallerin ve yeni cihazların geliştirilmesinde etkili olmuştur. Çevresel remediasyon alanındaki yeni uygulamalar için araştırmalar başlanmıştır (Colvin vd., 2003; Ke vd., 2007). Bununla birlikte, nanomalzemelerin büyük ölçekli üretimi ve ticarileşmesi, insan sağlığı konusundaki endişeleri artırırken, yoğun araştırmalar nanoparçacıkların biyolojik sistemlerdeki davranışlarını açıklama çabasına girmiştir. Nanomalzemeler çevreye boşaltıldığında, fiziksel, biyokimyasal ve biyolojik dönüşümlerle doğal dengeyi değiştirebilir ve dolayısıyla ekolojik türler için bir tehdit oluşturabilir (Hyuang vd., 2007; Liu vd., 2009).

Nanomalzemelerin üretiminden sonraki kaderini anlamak, nanoteknolojinin sürdürülebilirliği için gereklidir (Maynard vd., 2006). Son zamanlardaki çalışmalar, nanomalzemelerin sitotoksitesi, genotoksitesi ve ekotoksitesi üzerine odaklanmıştır. Nanotoksitenin genellikle nanomalzemelerin fizyokimyasal özelliklerinden kaynaklandığını ve bunların bulundukları ortamla etkileşmesinin sonucunda ortaya çıktığı genel olarak vurgulanmıştır (Shang vd., 2009).

1.2.4 Nanopartiküllerin Bitkiler Tarafından Alınımı, Taşınımı ve Birikimi

Tasarlanmış nanopartiküllerin bitkiler tarafından alınmasının ve biriktirilmesinin önemi araştırmacılar tarafından giderek daha fazla tanınmakta ve son zamanlarda bazı bilimsel çalışmalar yayınlanmaktadır. İlk rapor Zhu vd. (2008) tarafından yayınlanmıştır. Yapılan bir çalışma demir oksit nanoparçacıklarının (Fe_3O_4) kabak (*Cucurbita maxima*) kökleri tarafından açıkça alındığını ve bitki dokularında yer değiştirdiğini göstermiştir. Deney sonunda nanopartiküllerin yaklaşık % 45,5' inin köklerde biriktiğini ve nanopartiküllerin yaklaşık % 0,6'sının yapraklarda tespit edildiğini göstermiştir. Farklı bir bitki türü olan lima fasulyesi (*Phaseolus limensis*) aynı araştırmacılar tarafından test edildiğinde, demir oksit nanopartiküllerinin alınımı ve taşınımı gözlenmiştir. Karbon nanomalzemelerinin pirinç bitkileri (*Oryza sativa*) tarafından alınımı ve yer değiştirmesini araştırmışlardır ve fulleren C_{70} 'in kökler tarafından kolayca alınabileceğini ve sürgünlere taşınabileceğini bulmuşlardır (Lin vd., 2009). Ayrıca, C_{70} 'in bitki yaprakları yoluyla bitkilere girmesi durumunda, C_{70} 'in yapraklardan köklere, floem yoluyla potansiyel olarak aşağı doğru taşınabileceğini bulunmuştur. Ancak ~100 nm çaplı KNT'lerin hücre içine alınımı kapsamlı bir şekilde gözlemlenememiştir. ZnO nanoparçacıklarının *Lolium perenne* tarafından alınımı araştıran diğer araştırmacılar, ZnO nanoparçacıklarının köklerden sürgünlere doğru yukarı doğru bir şekilde yer değiştirdiğini fark etmemişlerdir (Lin ve Xing., 2008).

Metalik nanopartiküllerden CuNP'in fasulye ve buğday bitkilerinin biyokütlelerine alınabildiği ve biriktirilebildiği saptanmıştır. Bitki dokularında ve büyüme ortamlarında biyolojik olarak biriken CuNP'ler arasında duyarlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Lee vd., 2008). Araştırmacılar ayrıca, büyüme ortamındaki daha yüksek CuNP konsantrasyonlarının, bitki dokularına daha yüksek alım ve birikimine yol açtığı ve bitki dokularındaki CuNP'lerin birikmesi ile büyüme

ortamındaki nanopartiküllerin konsantrasyonlarıyla da ilişkili olduğu doğrusal bir ilişki sunmuşlardır. Ancak bu çalışma agar ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu sonucun CuNP'lerin sıvı ortamda ve topraktan alımını ve biyoakümüleyonunu nasıl etkilediği bilinmemektedir. Laboratuvar çalışmalarımızda AgNP kolloidleri kullanılmış ve ilk veriler, AgNP'lerin çoğunluğunun kök şapkasına adsorbe olmasına rağmen, *Arabidopsis thaliana*'nın kökleri tarafından 40 nm kadar büyüklükteki AgNP'lerin alınabileceğini ve sürgünlere taşınabileceğini göstermiştir. İlerlemeler kaydedilmiş olmasına rağmen, bitki alımı ve nanoparçacık birikimi ile ilgili araştırmalar halen başlangıç aşamasındadır (Xingmao vd., 2010).

1.2.5 Nanopartiküllerinin Fitotoksisitesi

Tasarlanmış nanopartiküller (TNP'ler) çevreleriyle yakından etkileşime girerler. Bitkiler tüm ekosistemlerin temel bir bileşeni olduklarından, TNP kaçınılmaz olarak bitkilerle etkileşime girecek ve bitki tarafından alınacak ve biyokütlelerinde birikme gibi etkileşimler TNP'in kaderlerini ve çevrede taşınmasını büyük ölçüde etkileyecektir. TNP, ayrıca, bitki kökleriyle alınabilir ve bitkiler toksisiteye neden olabilir. TNP'in bitkilerle etkileşimi ile ilgili olarak son zamanlarda birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğu TNP'nin bitkilere olan potansiyel toksisitesi üzerinde odaklanmıştır. Ayrıca hem olumlu hem de olumsuz ya da önemsiz etkileri bildirilmiştir (Lin ve Xing, 2007; Battke vd., 2009). Yapılan bir çalışmada, 10-40 mg/L konsantrasyon aralığında çok duvarlı KNT'lerin, tohum çimlenmesini ve bitki büyümesini önemli ölçüde arttırdığını göstermiştir (Khodakovskaya vd., 2009). Araştırmacılar, çok duvarlı KNT'lerin olumlu etkisinin KNT'nin tohum kabuğuna nüfuz etme ve dolayısıyla su alımını artırma kabiliyetlerinden kaynaklandığını varsaymışlardır. Tohum çimlenmesinde su alımını kritiktir, çünkü olgun tohumlar nispeten kurudur ve hücrel metabolizmayı ve büyümeyi başlatmak için önemli miktarda suya ihtiyaç duyarlar. Tohumların ölçülen nem içeriği ve tohumların içindeki KNT'nin tespiti bu hipotezi desteklemiştir. Bununla birlikte, tohum kabuğu boyunca spesifik penetrasyon mekanizmaları ve KNT tarafından su alımının artırıldığı bildirilmemiştir. TiO₂ nanopartiküllerinin, ıspanakta fotosentez ve azot fiksasyon kabiliyetini artırarak büyümesini olumlu etkilediği gösterilmiştir (Yang vd., 2007). Benzer şekilde, düşük konsantrasyonlarda bir SiO₂ ve TiO₂ nanoparçacıklarının bir karışımı, soya fasulyesi rizosferinde nitrat redüktaz

aktivitesini arttırmış ve dolayısıyla soya çimlenme ve büyümesini hızlandırmıştır (Lu vd., 2002). Birkaç çalışma, TNP'in bitkiler üzerindeki önemsiz etkilerini de göstermiştir. Örneğin, söğüt ağacı ile yapılan bir çalışmada, TiO₂ nanopartiküllerinin, büyümeleri üzerinde, su kullanımı ve terleme açısından sınırlı etkileri olduğunu göstermiştir (Seeger vd, 2009). Benzer şekilde, alüminyum nanopartiküller, 17 mg/L'ye kadar konsantrasyonlarda *Phaseolus vulgaris* ve *Lolium perrene* üzerinde toksik etki göstermediği kanıtlanmıştır (Doshi vd., 2008). Ayrıca 4000 mg/L' ye kadar olan Al₂O₃ nanoparçacıkları, tohum çimlenmesinde hafif inhibisyona yol açtığı tespit edilmesine rağmen, kök uzaması ve *Arabidopsis*' in gelişimi üzerinde herhangi bir etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir (Lee vd., 2010).

Bununla birlikte, TNP ile yapılan çoğu çalışmada, özellikle yüksek konsantrasyonlarda, belirli derecede fitotoksikite etkisi olduğu belirlenmiştir. tek duvarlı KNT'ler, domates, lahana, havuç ve marulun kök uzamasını önemli ölçüde etkilerken; soğan ve salatalığın büyümesini ilk 24 ila 48 saatte teşvik etmiştir (Canas vd., 2008).

Yapılan bir çalışmada, çok düşük AgNP konsantrasyonlarının (≤ 1 ppm), maş fasulyesi gibi kök yapıları olan ve başka bir dikot olan *Arabidopsis thaliana* fideleri için toksik olabileceği belirtilmiştir. 20 nm ila 80 nm' lik AgNP'ler büyümeyi açıkça baskılamış ve bunların fitotoksikite konsantrasyona ve partikül boyutuna bağlı olduğu belirtilmiştir. Primer kökler AgNP'lere maruz kaldıklarında kök ucunun açık kahverengiye döndüğü gözlenmiştir. Metalik nanopartiküllerin ve bunların oksitlerinin fitotoksikitesinin belirlenmesi, metalik iyonların bu nanopartiküllerden potansiyel olarak çözünmesi ve metalik iyonların potansiyel toksisitesi ve alınımı nedeniyle karmaşıktır. Benzer şekilde, ZnO nanoparçacıklarının *Arabidopsis*'e fitotoksikitesi, aynı konsantrasyonda çözünür Zn içeren çözeltilerden çok daha güçlü olduğu gözlemlenmiştir (Lee vd., 2010). Yüksek konsantrasyonlarda ZnO nanoparçacıklarının neden olduğu morfoloji değişiklikler çavdar otu köklerinde belirlenmiştir (Lin ve Xing 2008).

Bitki büyümesinin inhibisyonunun, doğrudan nanopartiküllerin kimyasal fitotoksikitesinden kaynaklanmayacağı konusuna dikkat edilmelidir. Bunun yerine, toksikite, nanopartiküller ve bitkilerdeki hücreler arası taşınım yolları arasındaki fiziksel etkileşimlerden, yani hücre çeperi veya duvar porlarının tıkanması yoluyla

apoplastik taşınımının inhibe edilmesi veya nano boyutlu plazmodesimatların tıkanması yoluyla hücreler arasındaki simpatik bağlantıların bir sonucu olabilir. Başka bir çalışmada, bentonit ve TiO₂ nanoparçacıklarının mısır fidelerinin (*Zea mays L.*) yapraklarında transpirasyonunun inhibe edilmesinin temel olarak hidrolik iletkenliğin azalmasından kaynaklandığını göstermiştir (Aslı ve Neumann, 2009). Fitotoksisite çalışmasında göz önünde bulundurulması gereken diğer bir faktör, çözücü etkisidir. Çözeltideki nanoparçacıkların süresi stabilizatörler olmadan çok kısadır ve çoğu ticari ürün belirli stabilizatörler içerir. Fitotoksisite çalışmalarında TNP ve stabilizatörlerin sinerjik etkileri dikkate alınmalıdır (Barrena vd., 2009).

Çoğu nanopartikülün bitkiler üzerinde gözlenebilir toksisiteye neden olması için nispeten yüksek konsantrasyonlarda olmalıdır. Toksisite eşiği tür spesifikdir (Lin ve Xing, 2007; Lee vd., 2008). Ayrıca birkaç araştırmada, nanoparçacıkların mevcut konsantrasyonlarının yerine parçacık büyüklüğü ve spesifik yüzey alanları gibi özelliklerinin, fitotoksisite göstergeleri için daha uygun olduğu gösterilmiştir (Barrena vd., 2009). Sonuç olarak, nanopartiküllerin fitotoksisite çalışmalarını standart hale getirmek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır (Xingmao vd., 2010).

1.3. Karbon Nano Materyaller

1.3.1 Karbon Nanomalzemelerinin Çevredeki Durumu

Artan ilgi ve araştırmalara rağmen, bu malzemelerin çevre üzerindeki olası olumsuz etkilerinin fazla olabileceği konusunda endişe duyulmaya başlanmıştır. Uygulamaya dayalı araştırma ve geliştirme ile karşılaştırıldığında, KNM'lerin ekotoksitesitesi ile ilgili çalışmalar oldukça sınırlıdır ve çok çeşitli test türleri ve malzemeleri, büyüme ortamı ve analitik teknikler içermektedir. Bazı araştırmacılar, benzersiz ve reaktif özellikleri nedeniyle, KNM'lerin yalnızca bireysel türleri etkilemekle kalmayıp aynı zamanda ekolojik dinamikleri de bozma potansiyeline sahip olduğunu tahmin etmektedir (Jackson vd., 2013).

Son yıllarda, küresel KNT üretiminin 55 ila 3.300 ton olduğu ve sadece oranının fullerenlerin 0.6 ila 1620 ton arasında değiştiği bildirilmiştir (Sun vd., 2014). Bu malzemeler çevreye yanlışlıkla ya da hava, su ve depolama alanlarındaki atık deşarjı olarak üretim işlemlerinden kaynaklanan emisyonlar yoluyla girebilir (Bello vd., 2009). İnsanların KNM'lere maruz kalması mesleki ortamlar veya hava, su ve toprak

gibi çeşitli çevresel matrisler yoluyla bir maruziyet oluşabilir. Nowack vd. (2013), baskın olan salınım yollarının tasarlanmış NM'lerin ilk sentezi ve kullanımı sırasında olduğunu ve bu nanopartiküllerin kazara salıverilmesi durumunda mesleki ve muhtemelen büyük ölçekli çevresel sonuçlarının olabileceğini ileri sürmüştür.

KNM stabilitesi ve taşınması sadece doğal materyal özelliklerine değil, aynı zamanda konjuge kompozitlerin özelliklerine ve çevre koşullarına da bağlıdır (Nowack vd., 2013). Geçtiğimiz birkaç yıl içerisinde, çevrede çeşitli tasarlanmış NM'lerin akışını değerlendirmek için, küresel/bölgesel üretimden başlayarak kullanım ve atık imhası yoluyla serbest bırakmaya ve son olarak da farklı ekolojik matrislerdeki kompartmentalizasyonuna yönelik kütle akış modelleme çalışmaları yapılmıştır (Mueller vd., 2013; Sun vd., 2014).

Tasarlanmış NM imhası için spesifik düzenlemelerin bulunmamasından dolayı, KNM kompozitleri sıklıkla yakılır ve bunları içeren aerosollerin veya hava kaynaklı partiküllerin oluşumu mümkün olmaktadır (Petersen vd., 2011; Nowack vd., 2013).

Yaşam döngüsü salımı modelleme çalışmalarına göre, toprağa/sedimentler ile depolama alanlarından çevreye salınan KNM'lerin yaklaşık % 80'inin sulara karıştığı bilinmektedir (Keller vd., 2013). Hidrofobiklikleri nedeniyle, KNM'ler genellikle organik çözücülerde kolayca çözünür. Bununla birlikte, toprak suyu ve diğer çeşitli toprak bileşenleri veya eş kirletici maddeler KNM kaderini ve dengesini etkileyebilirler (Bennett vd., 2013).

Süpfaktanların ve doğal organik maddenin KNT'leri sulu fazda stabilize ettiği, böylece toprak sistemlerinde materyal hareketliliğini arttırdığı bildirilmiştir (Hyung ve Kim, 2008; Bennett vd., 2013). pH, kil ve organik karbon içeriği ve mineraloji gibi toprak özellikleri de çevredeki KNM hareketliliğini etkileyebilir (Avanasi vd., 2014).

Bu noktada, toprak ortamında bulunan KNM'lerin kaderi üzerine genel sonuçların toprak fizikokimyasal özellikleri ve bileşiminin yanı sıra KNM'lerin özellikleri ve potansiyel reseptörlerin tanımlanabilirliği / duyarlılığı ile ilgili birçok faktöre bağlı olması nedeniyle zordur. KNM'ler ile ilgili risklerinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi, bu malzemelerin mevcut kullanımının düzenlenmesine yardımcı olmakla kalmayacak, aynı zamanda daha güvenli tasarımı nanomalzemelerin

imalatında da yardımcı olacaktır. Bugüne kadar, çevreye salınan nanomalzemelerin miktarı hakkında hala bilgi eksikliği vardır (Keller vd., 2013).

1.4 Karbon Nano Noktalar

Karbon noktaları (KN), yüksek oksijen içeriğine sahip ve çeşitli hacimsel oranlarda grafit ve türbostratik karbonun kombinasyonlarından oluşan, 2–10 nm çaplarında yarı küresel karbon nanoparçacıklarıdır (Jiang vd., 2012; Zhu vd., 2014). Karbon kuantum noktaları olarak da adlandırılan karbon noktaları, 10 nm'nin altında ultra ince boyutları olan yeni bir floresan karbon nanomalzemeleri sınıfını oluşturur. Karbon noktaları kompozisyonları ve biyouyumlulukları nedeniyle metal bazlı kuantum noktalara ümit verici bir alternatif haline gelmekte olduğu düşünülmektedir (Xu vd., 2004; Baker S. ve Baker G. 2010).

Karbon noktaları çoğunlukla sp³ hibritleştirilmiş karbon içerir ve genellikle şekilsiz niteliktedir. Karbon noktalarının en karakteristik ve en önemli özelliği, boyutlarına, uyarma dalga boyuna ve yüzey işlevselliğine bağlı olan nispeten güçlü fotoluminesanslılığıdır (Wang vd., 2014). Yeni bir flüoresan karbonik nanomalzeme maddesi olarak, karbon nanodotlar (karbon noktaları) genellikle çeşitli işlevsellikleri vasıtasıyla, yüzey pasifleştirici küçük karbon nanoparçacıklarıdır (Yang vd., 2009; Cao vd., 2012).

KN'ler ilk olarak 2004'te (Xu vd., 2004) tek duvarlı karbon nanotüplerin ayrılması ve saflaştırılması sırasında keşfedildiğinden beri, KN'lerin özellikleri, sentezi ve uygulamaları geniş çapta araştırılmıştır. Floresan KN'lerin temel özellikleri, uyarım / pH-bağımlı özellik, kimyasal stabilite ve foto-ağartmaya karşı direnç floresanını içerir (Ding vd., 2017; Miao vd., 2017; Gao vd., 2017). Her ne kadar birçok algılama stratejisi geliştirilmiş ve bazı incelemeler belirleme uygulamalarına odaklanmış olsa da (Dong vd., 2015; Guo vd., 2015; Xiao ve Sun, 2018), gıda güvenliğindeki KN problemlerine odaklanan az sayıda çalışma vardır (Qu vd., 2018). Aslında, farklı türdeki gıda kirleticileri, pestisitler (Hou vd., 2016), veteriner ilaçları (Feng vd., 2015), bakteriler (Wang vd., 2016) ve yasaklı katkı maddeleri (Lei vd., 2016) dahil olmak üzere, gıda analizlerinde KN problemleri kullanılarak tespit edilebilir.

Suda çözünebilme, kolay modifikasyon, kimyasal inertlik, mükemmel biyouyumluluk ve düşük sitotoksikite gibi doğal ve aynı zamanda benzersiz

özelliklere sahiptirler. Tüm bu avantajlara dayanarak, karbon noktaları kimyasal algılamada çok yönlü roller oynarlar (Gonçalves vd., 2010; Guo vd., 2015). Önceki çalışmalar, karbon noktalarının hayvanlara biyolojik toksisitesinin, 2200 mg/L' lik yüksek bir konsantrasyonda bile, çok düşük bir etkisi olduğunu ya da toksik olmadığını göstermiştir (Yang vd., 2009a,b).

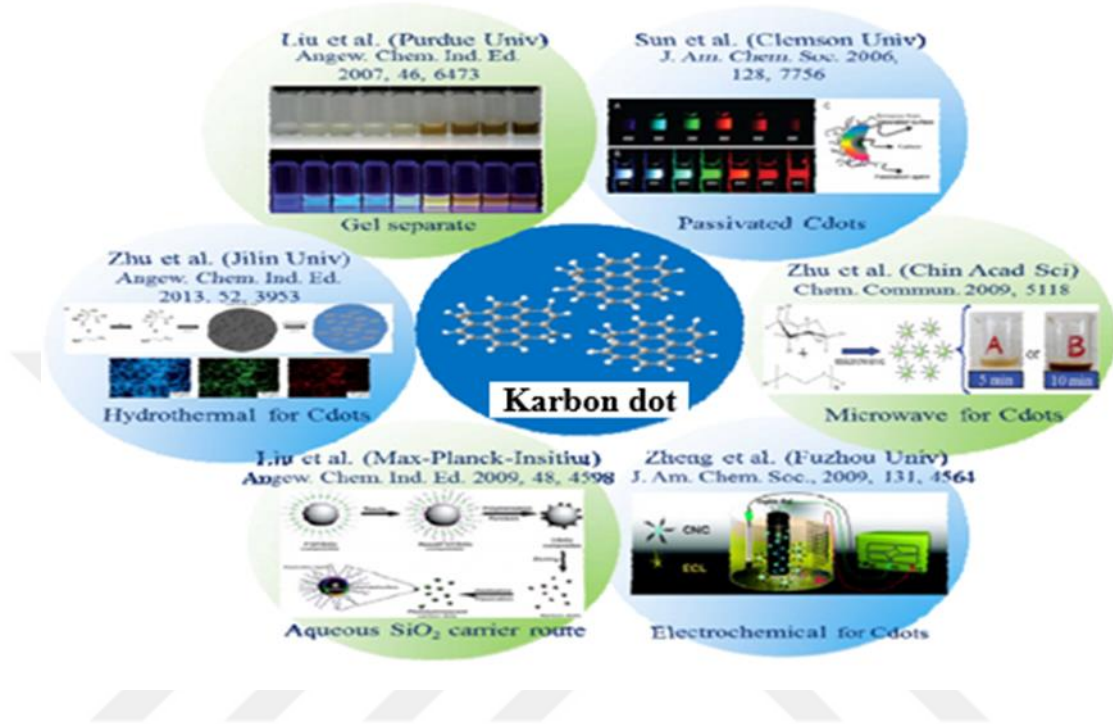
Bununla birlikte, bitkilerde, karbon noktalarının etkileriyle ilgili az sayıda çalışma yapılmıştır ve sınırlı sonuçlar sadece çimlenme aşamasıyla ilgilidir (Wang vd., 2012; Song vd., 2013; Li vd., 2014; Tripathi ve Sarkar, 2015). Birçok çalışmada ise sonuçlar tartışmalı olmuştur. Örneğin, 1500 mg/L' deki karbon noktalarının fasulye için toksik olmadığını, düşük konsantrasyonlu (1200 mg/L) karbon noktalarının aynı bitkinin, fide gelişimini önemli ölçüde engellediğini gözlemlemiştir (Qu vd., 2012; Li vd., 2014).

Bu nedenle, karbon noktalarının bitkilerdeki etkileri ve potansiyel mekanizmaları hakkında fenotipik ve fizyolojik seviyelerde halen daha fazla araştırmaya gerek vardır. Ek olarak, bitkilerde TNM'lerin alımını ve taşınmasını araştırmak çok önemlidir, çünkü bitki tarafından alınması TNM'lerin gıda zincirinde biyolojik olarak birikmesi için potansiyel bir yoldur. Geçtiğimiz birkaç yılda, özellikle floresan özellikleri bitkilerde alımlarını ve hareketlerini gözlemlemekte yardımcı olan kuantum noktaları için TNM'lerin kaderi üzerinde daha fazla araştırma yapılmıştır.

1.4.1 Karbon Nano Noktaların Sentezi

Karbon noktaları, mükemmel floresan özellikleri, iyi biyouyumluluk ve düşük toksisite nedeniyle biyosensörler (Lin vd., 2014), gen aktarımı (Liu vd., 2012), ilaç reseptörleri (Wang vd., 2015) ve biyolojik görüntüleme problemleri (Luo vd., 2013) olarak değerlendirilmektedir. Karbon nano noktalar uygun floresan özellikleri, analitik kimyadaki, özellikle çevresel ve biyolojik algılama ve görüntülemeledeki uygulamalar için büyük bir potansiyel göstermiştir (Luo vd., 2013; Sun vd., 2013; Ding vd., 2014; Holo vd., 2014; Wang vd., 2014; Zheng vd., 2015; Du ve Guo, 2016). Sun vd. (2006), polietilen glikol (PEG) pasivasyonu ile karbon dotların floresansını arttırmak için etkili bir yol sağlayan kimyasal-pasivasyon yöntemi ile yüksek kuantum verimine sahip karbon dot'lar elde etmişlerdir.

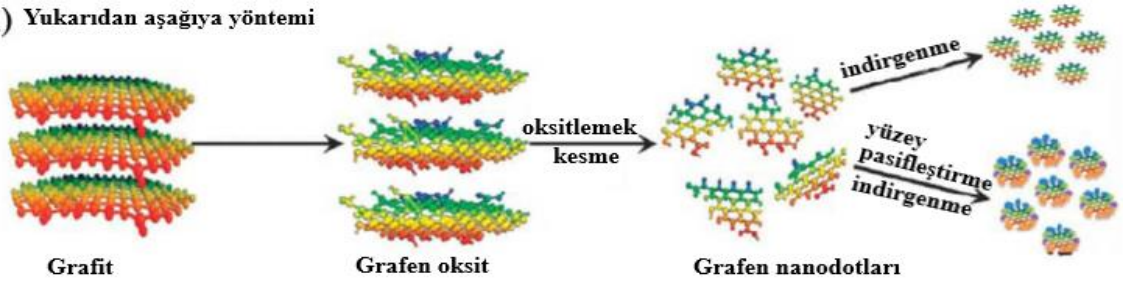
Liu vd. (2007), karbon dot'un floresan mekanizması için ayrıntılı bilgi sağlayarak, jel ayırma yoluyla farklı renk floresan karbon dot'ları elde etmişlerdir. Zheng vd. (2009), karbon dotları hazırlamak için elektrokimyasal bir yaklaşım kullanmış ve bu karbon dotların mükemmel elektrokimyasal (ECL) özelliklere sahip olduğunu bulmuşlardır.



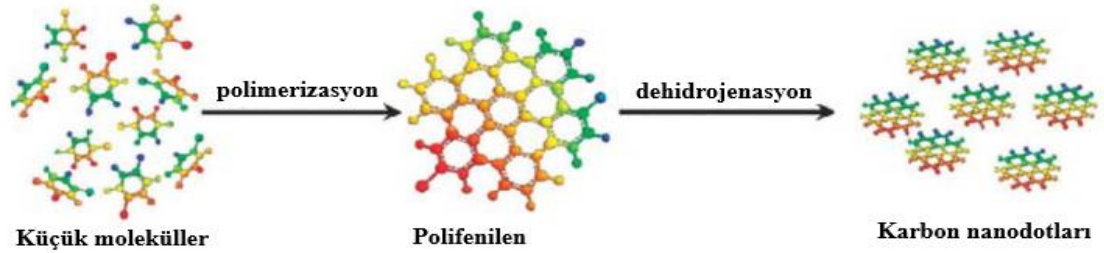
Şekil 1.2 Çeşitli Karbon dotların sentezinin şematik gösterimleri (Sun vd., 2006; Zhu vd., 2013).

Bu araştırmalar, fiziksel veya kimyasal yöntemler kullanarak karbon malzemeleri karbon dotlara bölmüş ve bu nedenle “yukarıdan aşağı” yöntem olarak adlandırılmıştır. Mikrodalga ve hidrotermal teknolojilerin gelişmesiyle, küçük moleküller, biyomoleküller ve biyokütleden karbon dotlar hazırlamak için çeşitli “aşağıdan yukarıya” yöntemleri araştırılmıştır. Mikrodalga yöntemi 10 dakika içinde karbon dotları hazırlamak için elverişli olduğu belirtilmiştir (Zhu vd., 2009). Zhu vd. (2013), karbon dotları hidrotermal yöntemle hazırlamışlardır ve oluşum mekanizmalarını, algılamalarını ve çok renkli görüntülemelerini incelemiştir.

A) Yukarıdan aşağıya yöntemi



B) Aşağıdan yukarıya yöntemi



Şekil 1.3 Grafen nanodotları / karbon nanodotlarının (A) yukarıdan aşağıya yöntemi ve (B) aşağıdan yukarıya yöntemi ile sentezi (Shen vd., 2012).

Karbon nanodotlar, "aşağıdan yukarı" polimerizasyon ile sakarit, sitrik asit ve amino asitten elde edilebilir. Ayrıca, yumurta, çimen, greyfurt kabuğu ve ipek karbon nanodotlarını sentezlemek için karbonize edilmiştir (Wang vd., 2012; Liu vd., 2012; Lu vd., 2012; Li vd., 2013; Wu vd., 2013). Karbon nanodotların üretiminin sentetik yöntemleri arasında hidrotermal yaklaşım, ultrasonik yaklaşım, mikrodalga ve nötrleştirme ısısı vb. yer almaktadır (Wang vd., 2010; Wang vd., 2011; Liu vd., 2011; Wu vd., 2013; Xu vd., 2013; Wei vd., 2014a; Wei vd., 2014b; Kang vd., 2015).

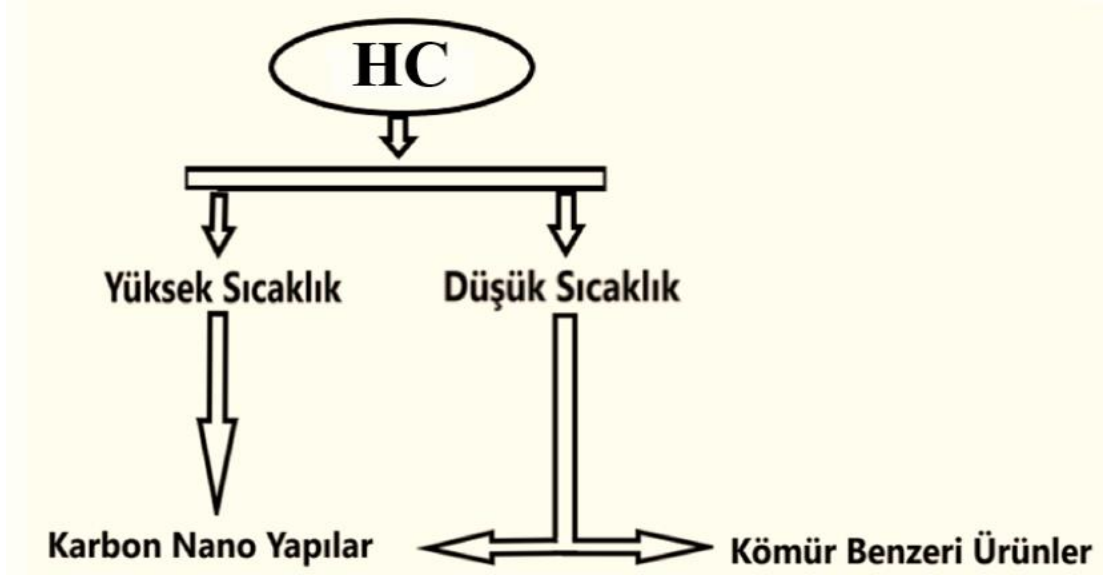
Hidrotermal yaklaşım nanomateriyallerin sentezlenmesinde popülerdir. Karbon nanodotları üretmek için çeşitli organik moleküller karbonize edilebilir. Li vd. (2014) tarafından 70-150 nm boyutunda bir karbon küresi hazırlanmıştır. Karbon küresinin oluşum mekanizması nükleer manyetik rezonans yöntemiyle başarılı bir şekilde ispatlanmıştır. Hidrotermal reaksiyon ile karbon nanodotları sentezlemek için karbon kaynağı olarak glukozamin kullanmışlardır (Yang vd., 2011a). Ayrıca, mavi ve yeşil renk yayan C-dotları sentezlemek için katalizör olarak fosfat kullanılmıştır (Yang vd., 2011b). Hidrotermal yaklaşım yüksek sıcaklık ve yüksek basınç altında yapıldığından, yumurta, çimen, greyfurt kabuğu ve ipek gibi bazı materyaller karbon nanodotları hazırlamak için de kullanılmıştır (Lu vd., 2012; Li vd., 2013; Wu vd., 2013). Grafen nanodotların sentez prosesi ile karşılaştırıldığında, karbon

nanodotların sentez prosesi kolaydır ve güçlü oksidanlar ve asitler gerektirmez. 3-(3,4-dihidroksifenil) -L-alanin, L-histidin, ve öncüler olarak L-arginin kullanıldığı bildirilmiştir (Xu, 2013).

1.4.1.1 Hidrotermal Yöntem

Hidrotermal yöntemi (HC), biyokütleden özellikle değersiz atık biyokütleden değerli karbon malzemelerin sentezlenmesinde güçlü bir teknik olarak kullanılmaktadır. Farklı reaksiyon şartları ve mekanizmasına göre HC işleminde iki farklı yol kullanılmaktadır (Şekil 1.4). Temel olarak biyokütle pirolizine benzer olan yüksek sıcaklık HC işlemi ile karbon nanotüpler, grafit, aktif karbon malzemeler yüksek sıcaklık ve basınç altında sentezlenebilirler. 250 °C sıcaklığa kadar gerçekleştirilen düşük sıcaklık hidrotermal karbonizasyon işlemi ise yüksek sıcaklık hidrotermal karbonizasyon işlemine göre basamaklı bir kimyasal dönüşüm sağlar. Ayrıca HC işleminde reaksiyon ortamının su olması, zehirli çözücülere ihtiyaç duyulmaması, işletme maliyetinin düşük olması, çıkış maddesinin fiyatının yani prosesin ucuz ve ölçeklendirilebilir olması gibi avantajları mevcuttur. Yapılan bu çalışmada karbonizasyon işlemi için düşük sıcaklık hidrotermal karbonizasyonu tercih edildi. Düşük sıcaklık hidrotermal karbonizasyon işlemiyle yüksek sıcaklık hidrotermal işlemine göre, çok daha farklı yapıda malzemeler sentezlemek mümkündür.

Düşük sıcaklık hidrotermal karbonizasyonu; farklı şekil, boyut ve morfolojide karbon içeriği yüksek malzeme sentezlemek mümkündür. Ayrıca bu yöntem çeşitli malzemeler ile birlikte kullanılarak, yüzeyi fonksiyonel gruplara sahip nano boyutlu malzemeler (nanoküre, nanotüp, nanofibril vb.), nanokompozitler, nanohibritler ve içi boş metal oksit küreler sentezlenebilmektedir. Düşük sıcaklıkta gerçekleştirilen hidrotermal 3 karbonizasyon işlemi, doğal kömürleşme işlemine oldukça çok benzemektedir ayrıca milyonlarca yılda oluşan kömür, bu işlem ile elde edilebilmektedir. Bu durum, atık biyokütlelerin değerlendirilmesinde bir öneme sahiptir.



Şekil 1.4 Hidrotermal yöntemleri ve elde edilen ürünler

1.4.1.2 Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi

Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi (YFT); çoklu cisimlerden oluşan sistemlerin özellikle atomların, moleküllerin ve yoğunlaştırılmış fazların elektronik yapılarını taban durumdaki enerjilerini temel alarak inceleyen, son yıllarda fizik, kimya ve malzeme bilimlerinde oldukça popüler olan hesaplamalı modelleme yöntemidir. YFT olarak ifade edilmesinin sebebi elektron yoğunluğunun fonksiyonellerinin kullanılmasından ötürüdür. YFT; yoğun madde fiziği, hesaplamalı fizik ve hesaplamalı malzeme alanlarında mevcut olarak kullanılan en popüler ve çok yönlü yöntemler arasında gösterilmektedir. YFT, malzeme katıhal fiziğinde 1970'lerden beri hesaplamalar için kullanılmaktadır (Sholl ve Steckel, 2009). Ancak, YFT 1990' lı yıllara kadar kuantum kimyasında hesaplamalar için yeterince doğru kabul edilmemiştir. Teoride; değiş tokuş ve korelasyon etkileşimlerinin yeniden düzeltilmesiyle birlikte, birçok durumda YFT'nin hesaplama sonuçları katı hal sistemler için deneysel verilerle oldukça uyum göstermektedir. Geleneksel yöntemlere kıyasla örneğin; Hartree-Fock Teorisi ve onun türevi olan karmaşık çok elektronlu dalga fonksiyonuna dayalı hesaplamalara göre maliyetinin daha düşük olması da YFT' nin bir başka tercih sebebi haline gelmiştir (Burke, 2007).

Kuantum mekaniğinde bir Ψ dalga fonksiyonu; bir sistemin enerjisi, momentumu, konumu ve sistemdeki parçacık yoğunluğu ile ilgili tüm bilgiler verir. Tek parçacıklı veya çok parçacıklı bir sistem için Ψ dalga fonksiyonunu hesaplarken bir $v(r)$

potansiyelini belirleyip Schrödinger denkleminde yazmak yeterlidir. Ψ dalga fonksiyonunu tek parçacıklı veya çok parçacıklı sistemler için hesaplamada bu iki durum arasındaki tek fark belirlenen $v(r)$ potansiyelinin karmaşıklığından ileri gelmektedir. Tek parçacıktan oluşan bir sistemin Schrödinger denklemi;

$$\left[\frac{-\hbar^2 \nabla^2}{2m} + v(r) \right] \varphi(r) = \varepsilon \varphi(r)$$

eşitliğiyle ifade edilir. Bu denklemde $\hbar$ Planck sabitini, m parçacığın kütlesini, $v(r)$ sistemin potansiyelini, Ψ dalga fonksiyonunu ve ε ise enerjiyi temsil etmektedir. Eğer birden fazla elektron varsa yani çok parçacıklı bir sistem için Schrödinger denklemi;

$$\left[\sum_k^T \left(\frac{-\hbar^2 \nabla_k^2}{2m} + v(r_k) \right) + \sum_{k < j} U(r_k, r_j) \right] \varphi(r_1, r_2, \dots, r_T) = E \varphi(r_1, r_2, \dots, r_T)$$

eşitliğiyle ifade edilir. Bu ifadede T elektron sayısını, $U(r_k, r_j)$ elektron etkileşimini temsil etmektedir. Bu ifadedeki tüm ölçülebilir nicelikler Schrödinger denklemi (SD) ile belirlenen bir operatörün beklenen değerinin kullanılmasıyla elde edilebilir. Bu durum;

" $v(r) \xRightarrow{SD} \varphi(r_1, r_2, \dots, r_T) \xRightarrow{(\varphi | \dots | \varphi)}$ ölçülebilir nicelikler" şeklinde özetlenir (Capelle, 2006).

Çok parçacıklı sistemlerde ilave elektron-elektron etkileşimlerini Schrödinger denklemiyle çözmeye çalışmak oldukça karmaşık ve simülasyon programlarında hesaplanmaya çalışılması ise maliyet ve zaman gerektiren bir iştir. Birkaç yüz elektrondan fazlasına sahip sistemler için çok parçacıklı bir tam dalga fonksiyonuna ait Schrödinger denklemini çözmeye çalışmak bugünkü modern hesaplama gücünün çok ötesindedir. Böyle bir durumda, bütün elektron-elektron etkileşimlerini ortadan kaldırarak çok parçacıklı bir sistemi tek parçacıklı bir sistem haline indirgeyen Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi alternatif bir yöntem olarak seçilebilir. Bu durumun temelinde Hohenberg-Kohn Teoremi ve Kohn-Sham eşitlikleri vardır (Hohenberg ve Kohn, 1964; Kohn ve Sham, 1965).

Kohn - Sham denklemi yoğunluk (ρ) düşünülerek çok parçalı sistemden tek parçalı sisteme dönüştürülerek yapının en küçük enerji düzeyleri hesaplanarak malzemenin modellenmesi yapılır.

$$E[\rho] = T_s[\rho] + V_{ext}[\rho] + V_H[\rho] + E_{xc}[\rho]$$

Burada, son terim değiş tokuş fonksiyonu olarak tanımlanır. Değişim korelasyonu işlevsel olarak temelde bir kullanımda yapılan hatanın toplamıdır.

1.4.2. Karbon Nano Noktaların Bitkilere Etkisi

Nanoteknoloji alanındaki dikkat çekici gelişmeler ile birlikte, karbon bazlı nanomalzemeler (KBM), bitki sisteminin farklı alanlarında sayısız uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. KBM'in birikimi, yer değiştirmesi, bitkilerin büyüme aşamasındaki tepkileri ve bitki sistemindeki stres modülasyonları hakkındaki mevcut anlayış yeterli değildir. Bitki-KNM etkileşimleri ve sonuçları hakkında daha yeni bilgiler edinmek araştırmacılar tarafından sürekli çaba sarf edilmiştir. Bitki biyoteknoloji uzmanları tarafından yapılan araştırma raporları, KNM'lere maruz kalmasının, bitki veriminin artmasından akut sitotoksisteye kadar olan karışık etkilerini ortaya koymuştur. Büyüme ve verim durumu türden türe değişmekte ve uygulanan KNM'lerin dozajına bağlı olmaktadır. Bitkilerin KNM'lere maruz kalması ve etkileşimleri, KNM'lerin büyüklüğü, tipi, şekli, yükü, kimyasal bileşimi, reaktivitesi, yüzey kaplaması ve dozu da dahil olmak üzere özelliklerine bağlı olarak seçilen bitki türlerinde çeşitli fizyolojik değişikliklere neden olabilmektedir. Belirli bir KNM türünün etkinliği bitkiden bitkiye değişir ve KNM-bitki etkileşimlerinin sonucu (önemsiz, faydalı, zıt) her zaman konsantrasyona bağlıdır. KNM'lerin bitkilerde yük, boyut, şekil, konsantrasyon, maruz kalma miktarı / süresi, bitki tepkilerini (önemsiz, pozitif, negatif), tohum çimlenmesini, fide büyümesini ve gelişimini ve ayrıca toksik etkilerini etkileyen rollerle ilgili olarak etkileri son zamanlarda, KNM'lerin çeşitli tiplerinin (fullerenler, fulleroller, KNP'ler ve KNT'ler) bitki büyüme düzenlenmesinde potansiyel kullanımlarından dolayı önem kazanmıştır. Çoğunlukla, KNM tiplerine bağlı olarak, bunların konsantrasyonu, maruziyet süresi, maruz kalan bitki türleri ve büyüme koşullarına bağlı olarak, artan araştırma raporları bitkiler üzerine zıt etkisi olduğu kadar faydalı etkisi olduğunu da göstermiştir. Bazı karbon bazlı NM'ler (KNM'ler: fullerenler, karbon NP'leri, fullerol

ve diğerlerinin yanı sıra tek duvarlı KNT / çok duvarlı KNT) bitki büyümesini düzenlemedeki olası uygulamaları nedeniyle yakın zamanda ilgi görmektedir (Khot vd., 2012).

Karbon noktaların toksisitesi son birkaç yılda geniş çapta araştırma konusu olmuştur (Yang vd., 2009; Anand vd., 2018). 3- (4,5-dimetiltiazol-2-il) -2,5-difeniltetrazolyum bromid (MTT) analizleri, in vitro ortamda ortak bir toksisite analizidir. Birçok grup, KN'ların toksisitesini MTT analizleriyle değerlendirmiştir. Hela hücrelerinde KN'lerin 50–400 µg / ml konsantrasyon aralığında ihmal edilebilir toksisiteye sahip olduğunu bulmuşlardır (Zhang vd., 2014). KN'lerin L929 hücre hatlarına toksik olmadıklarını ve uzun süreli inkübasyon süresi (72 saat) boyunca yüksek dozda (200 µg / ml) tolere edilebildiğini göstermişlerdir (Sahu vd., 2012).

İşlevselleştirilmiş KN'lerin toksisitesi de araştırılmıştır. Çünkü KN'lerin toksisitesi yüzey pasifleştirme ajanları (Wang vd., 2011), PEG (Yang vd., 2009), PAA (poli akrilik asit) gibi modifiye edilmiş materyallerle ilişkilidir (Wang vd., 2011). Ancak, sonuçlar açıkça bu KN'lerin hala in vitro ortamda düşük toksisitesi olduğunu göstermektedir. Ayrıca, KN'lerin in vivo toksisitesi de bazı gruplar tarafından değerlendirilmiştir.

1.5 Çalışmanın Amacı

Nanomateriyallerin çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri ile ilgili kaygılar ve riskler son zamanlarda önem kazanmıştır. Bunların çevrede ve canlılardaki durumları, taşınmaları, maruziyet kaynakları ve toksisiteleri ile ilgili yapılan araştırmalar oldukça günceldir. Bu nedenle, çalışmamızda mandalina suyundan sentezlenen karbon nano noktaların, ülkemizde ekimi yapılan ekmeklik buğday çeşitlerinden *Triticum aestivum* L. cv. Golia'daki fizyolojik ve histokimyasal etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÖZETLERİ

Wang vd. (2018) yaptıkları çalışmada, karbon noktaların (KN) farklı konsantrasyonlarında maş fasulyesi yetiştirerek bitki büyümesini ve fotosentezini incelemişlerdir. Karbon noktaların, kök gelişimi, gövde uzaması ve bitki biyokütlesi de dahil olmak üzere, maş fasulyesi fidelerinin büyümesi üzerinde bir doz-yanıt etkisi gösterdiğini belirlemişlerdir. Ayrıca optimum konsantrasyondaki karbon noktaların tohumların kök canlılığını ve nem seviyesini yükselttiğini belirterek, bu durumda bitki büyümesinin ve gelişiminin teşvik edilmesine yol açmış olabileceğini ileri sürmüşlerdir. Dahası, KN ile muamele edilmiş maş fasulyesi filizlerinin, kontrole kıyasla karbonhidrat içeriğinde % 21,9'a kadar bir artış olduğunu bulmuşlardır. Karbonhidratların artmasının, KN'nin fotosentezdeki rolüyle ilgili olabileceğini varsaymışlardır. Daha ileri araştırmalar ise, KN'nin elektron transfer hızını artırarak fotosistem etkinliğini artırabildiğini ortaya koymuşlardır. KN'nin uygulanması sonucunda ayrıca klorofil içeriği ve RUBİSCO aktivitesi gibi fotosentezdeki diğer kritik göstergeleri de etkilediğini görmüşlerdir. Bu bulguların biyolojik araştırmalar ve tarımsal üretim konusunda büyük umut vaat ettiğini belirtmişlerdir.

Hao vd. (2018) farklı oksijen içerikli bir dizi ~ 5 nm büyüklüğünde karbon noktalar pirinç bitkisinin büyümesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Karbon noktalar hücre çekirdekleri de dahil olmak üzere pirinç bitkilerinin tüm bölümlerine tutunduğu görülmüştür. Sistematik araştırmalar sonucunda tohum çimlenmesi, kök uzaması, fide uzunluğu, enzim (RuBisCO) aktivitesi ve karbonhidrat üretiminin arttığı tespit edilmiştir. Karbon noktalar hücreye girebilir, çekirdeğe ulaşabilir, DNA yapısını gevşetebilir ve nihayetinde pirinç bitkisinin hastalığa direnç kabiliyetini arttıran tiyonin (Os06g32600) gen ekspresyonunu arttırabildiği bulunmuştur.

Chen vd. (2016), yaptıkları çalışmada, suda çözünür karbon nano noktalarının (şçKNN) mısır (*Zea mays* L.) bitkisinde alımın ve taşınmasını incelenmişlerdir. Kum matrisinde 4-2000 mg/L arasında değişen konsantrasyonlarda şçKNN'ye 4 hafta boyunca maruz bırakmışlardır. şçKNN fitotoksitesinin konsantrasyona bağlı olduğunu bulmuşlardır. 250 ve 500 mg/L' deki şçKNN mısır bitkisi için toksisite göstermemiş olduğunu belirlemişlerdir. Bununla birlikte, 1000 ve 2000 mg/L derişimlerde, kökün taze ağırlığını % 57 ve % 68 oranında ve önemli düzeyde azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca sürgün taze ağırlığının ise sırasıyla % 38 ve % 72 oranında azalttığını saptamışlardır. Mısır köklerinin, 2000 mg/L'ye maruz kalması, H₂O₂ içeriğini ve lipid peroksidasyonunu (sırasıyla 6,5 ve 1,65 kat daha yüksek) ve ayrıca antioksidan enzimlerin aktivitelerini önemli ölçüde arttırmıştır. Öte yandan, floresans mikroskobu analiziyle yan köklerin şapka hücrelerinde, kök korteks ve iletim demetlerinde ve yaprakların mezofil hücrelerinde karbon nano noktalar gözlenmiştir. Bu da karbon noktalarının mısırdaki sistemik olarak emildiğini ve yer değiştirdiğini göstermektedir.

Cano vd. (2016) 40 gün boyunca tek duvarlı karbon noktaların etkisini mısır bitkisinde iki farklı çalışma ile araştırmışlardır. Çalışma 1'de mısır, farklı işlevselliklere (fonksiyonel olmayan, OH-fonksiyonelleştirilmiş veya sürfaktan stabilize edilmiş) sahip çeşitli tek duvarlı karbon noktaların konsantrasyonlarına (0, 10 ve 100 mg / kg) maruz bırakılmıştır. 0,1 µg / g'da saptama sınırı olan saptalarda ve yapraklarda (2-10 µg / g) en az birikimle, köklerde (0-24 µg / g) biriken tek duvarlı karbon noktaları belirlemek için mikrodalga kaynaklı bir ısıtma yöntemi kullanmışlardır. Alımın fonksiyonel gruba bağlı olmadığını belirlemişlerdir. Çalışma 2'de mısır, optimum şekilde büyütülmüş veya su kıtlığı koşulları altında 10 mg/kg tek duvarlı KNT'lere (fonksiyonelleştirilmemiş veya COOH işlevli) maruz bırakmışlardır. Bitki fizyolojik stresi, çalışma 2 boyunca fotosentetik oranın ölçülmesi ile belirlemişlerdir. Kontrol ve tek duvarlı karbon noktaların uygulanması arasında anlamlı bir fark olmadığı belirlemişlerdir.

Floresan karbon noktaları biyobilim ve biyo-görüntülemeye geniş çapta kullanılmasına rağmen, bunların bitkiler üzerindeki etkisi nadiren araştırılmıştır. Wei vd. (2016) yaptıkları çalışmada, maş fasulyesi bitkilerinde kırmızı yayıcı karbon noktaların fitotoksitesini, alımını ve translokasyonunu incelemişlerdir. Karbon noktaların 0,1-10 mg/ml derişimlerinde fizyolojik yanıtlar indüklenmiş ve büyüme

üzerinde herhangi bir fitotosite oluşturmamıştır. Konfakol görüntleme ile karbon noktaların kökten gövde ve yapraklara vasküler sistem yoluyla apoplastik olarak taşındığı tespit edilmiştir. Çimlenme ve büyüme dönemlerinde karbon noktaların yoğun olarak maş fasulyesi tarafından inkübe edildiği kinetik alım çalışmalarıyla gözlemlenmiştir.

Tripathi ve Sarkar (2014), suda çözünür karbon nano noktalarının (sçKNN) aydınlık ve karanlık koşullar altında buğday bitkilerinin kök büyümesi ve sürgünleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. sçKNN'nin hem aydınlık hem de karanlık koşullarda kök ve gövdede büyümeiı attırıcı etki yaptığını gözlemlemişlerdir. SçKNN'nin kök büyümesi üzerindeki etkisinin, gövdeye kıyasla daha fazla olduğu saptanmıştır. Taramalı elektron ve Floresan mikroskopik analizi sonucunda, sçKNN 'lerin bitki bünyesine alındığını belirlenmiştir. Raman spektroskopisi de bunu doğrulamıştır. Bu çalışmada, sçKNN 'lerin buğday bitkisi için toksik olmadıklarını ve tahıl mahsulünün üretimini arttırmak için kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Li vd. (2014) karbon kuantum noktalarını (KKN) kullanarak dört karbon bazlı nanomalzemenin (değiştirilmemiş) toksisitesini incelemişlerdir. Fasulye filizini yetiştirmek için grafen kuantum noktaları, grafen oksit ve tek duvarlı karbon nanotüpleri kullanılmışlardır. Sonuçlar, bu dört karbon nanomalzemesinin toksisitesinin konsantrasyonun artması ve uygulama süresine bağlı olarak arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, karbon bazlı nanomalzemelerin sudaki etkisini incelemek için pH testi uygulamışlardır. Solüsyon pH'sının belirgin olmayan bir şekilde doza bağımlı olduğunu belirtmişlerdir. Ancak nanomalzemeler aslında düşük konsantrasyonda bile pH üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu da belirtmişlerdir.

Lahiani vd. (2013), çok duvarlı karbon nanotüplerin (ÇDKNT) üç farklı kültür bitkisinde (arpa, soya fasulyesi, mısır) tohum çimlenmesi, büyümesi ve gelişimi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırmalar steril agar ortamında yapılmıştır. ÇDKNT'ler uygulama ortamına eklendiğinde, erken tohum çimlenmesi ve fidelerde büyümenin aktivasyonu gözlemlemişlerdir. Benzer şekilde, ÇDKNT'ler tohum yüzeylerinde biriktiğinde test edilen tüm türleri için tohum çimlenmesinin aktive edildiği belirlenmiştir. ÇDKNT'lerin mısır, arpa ve soya fasulyesi tohum kabuklarına nüfuz etme kabiliyetleri, Raman spektroskopisi ve transmisyon elektron mikroskobu

(TEM) kullanılarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak ÇDKNT'lerin fidelerin çimlenmesi ve büyümesi üzerindeki olumlu etkisinin mahsul türleri arasında tekrar üretilebilir olduğunu göstermiştir. Bu tür çalışmalar, karbon nanotüplerinin çimlenme ve bitki büyümesinin düzenleyicileri olarak önemli potansiyelinin olduğunu kanıtlayabilmektedir.

Nair vd. (2012), sentezlenen nanomalzemelerin nihai kaderini, dağılımını ve potansiyel çevresel etkilerini anlaşılmasının gerektiğini belirtmişlerdir. Yüksek bitkilerin kullanıldığı fitotoksisite çalışmalarının, mühendislik nanomalzemelerin olumsuz etkilerini anlamak için önemli bir proses olduğunu düşünmüşlerdir. Bu araştırmacılar yaptıkları çalışmada, çeşitli boyutlardaki işlenmiş karbon nanomalzemelerinin (karbon nanotüpler, fulleren ve grafen) pirinç tohumlarının çimlenmesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bunların bir kısmının, özellikle nanotüplerin mevcudiyetinde, pirinç tohumlarında çimlenme oranında belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Çimlenme sırasında karbon nanomalzemelerin uygulandığı tohumlarda, kontrollere kıyasla su içeriğinin arttığı bulunmuştur. Uygulama yapılan fidelerin, kontrol fidelerine kıyasla kök ve sürgün sistemlerinin daha iyi geliştiğinin daha sağlıklı olduğunu belirlemişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda, uygulanan karbon nanomalzemelerin pirinç fidelerinin büyümesini artırıcı olarak olası kullanımını göstermişlerdir.

Khodakovskaya vd. (2012) karbon nanotüpler tohum çimlenmesi ve bitki büyümesinin düzenleyicileri gibi ümit vericidir. Bu çalışmada, çok duvarlı karbon nanotüplerin (ÇDKNT'ler) geniş bir konsantrasyon aralığında (5-500 µg/mL) tütün hücresi kültürünün büyümesini (kontrole göre % 55-64 artış) artırma yeteneğine sahip olduğunu göstermişlerdir. Aktif karbon sadece düşük konsantrasyonlarda (5 µg/mL) hücre büyümesini (% 16 artış) uyarırken, daha yüksek konsantrasyonlarda (100-500 µg/mL) hücresel büyümeyi önemli ölçüde inhibe ettiğini tespit etmişlerdir. Çok duvarlı KNT'lere maruz kalan hücre büyümesinin aktivasyonu ile hücre bölünmesi/ hücre duvarı oluşumu ve su taşınmasında rol oynayan genlerin upregülasyonu arasında bir korelasyon bulmuşlardır. Tütün akuaporin (*NtPIPI*) geninin ekspresyonu ve *NtPIPI* proteininin üretimi, kontrol hücrelerine veya aktif karbona maruz kalanlara kıyasla çok duvarlı KNT'lere maruz kalan hücrelerde önemli ölçüde arttığını göstermişlerdir. Hücre bölünmesi (*CycB*) ve hücre duvarı uzatması (*NtLRX1*) için marker genlerin ekspresyonu da kontrol hücrelerine veya

sadece aktif karbona maruz kalanlara kıyasla çok duvarlı KNT'lere maruz kalan hücrelerde upregüledir.

Tripathi vd. (2011), yaptıkları çalışmada suda çözünür karbon nanotüplerin, nohut (*Cicer arietinum*) bitkisinin büyüme oranının arttırıldığını göstermişlerdir. 6,0 µg/mL'ye maruz kalmış bitkinin kök, sürgün ve dallanması da dahil olmak üzere her bölgesinde artmış bir büyüme hızının olduğunu göstermişlerdir. Suda çözünür karbon nanotüplerin ile muamele edilmiş ve kontrol nohut tohumları arasında su alımında göze çarpan fark bulunmuştur.

Khodakovskaya vd. (2009), karbon nanotüplerin (KNT) domates tohumlarının çimlenme ve büyüme oranlarını etkilediği bulmuşlardır. Kontrolle kıyaslandığında KNT derişimlerinin çimlenmeyi önemli düzeyde artırmıştır. Sonuç olarak KNT'lerin kalın tohum kabuğuna nüfuz edebildikleri; böylece domates tohumlarının su alımlarına destek olabilecekleri gösterilmiştir.

Tan vd. (2009) yaptıkları çalışmada çok duvarlı karbon nanotüplerin (ÇDKNT'ler) bitki hücreleri üzerindeki olası toksik etkilerini araştırmışlardır. Süspansiyon pirinç hücreleri (*Oryza sativa* L.) ÇDKNT'ler ile muamale edilmiştir. ÇDKNT'nin kullanımının reaktif oksijen türlerini (ROT) arttırdığını ve pirinç bitkisinin hücre canlılığını ise azalttığı belirlenmiştir. Primer antioksidan olan askorbik asit, kültür süspansiyonuna verildiğinde, ROT içeriğinin azaldığı ve hücre canlılığının arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Tek duvarlı karbon nanotüpler birçok potansiyel faydalı kullanım alanına sahiptir ve yeni uygulamalar sürekli araştırılmaktadır. Bununla birlikte, benzersiz özellikleri, sadece insanlarda ve hayvanlarda değil aynı zamanda bitkilerde de toksisite konusunda potansiyel bir endişe yaratmaktadır. Canas vd. (2008), nanotüplerin bitkiler üzerindeki etkilerini belirlemeye yönelik protokollerin geliştirilmesine yardımcı olmak için, fonksiyonelleştirilmiş ve işlevsiz tek duvarlı karbon nanotüplerin altı mahsul türünün (lahana, havuç, salatalık, marul, soğan ve domates kök uzaması üzerindeki etkileri üzerine bir pilot çalışma yapmışlardır. Nanotüpler, poli-3-aminobenzen-sülfonik asit ile işlevselleştirilmiştir. Kök büyümesi, uygulamanın ardından 0, 24 ve 48. saatlerde ölçülmüştürler. Taramalı elektron mikroskobu, karbon nanotüplerin potansiyel alımını değerlendirmek ve nanotüplerin kök yüzeyi ile etkileşimlerini gözlemek için kullanılmışlardır. Genel olarak,

işlevselleşmemiş karbon nanotüpler kök uzunluğunu fonksiyonel nanotüplerden daha fazla etkilediğini belirlemişlerdir. İşlevselleşmemiş nanotüpler domatesde kök uzamasını inhibe etmiştir. Aksine salatalık ve soğanda ise kök uzamasını artırmıştır. İşlevselleştirilmiş nanotüplerin ise marulda kök uzamasını inhibe ettiğini belirlemişlerdir. Lahana ve havuçta ise nanotüplerin hiçbir şekilde etkisiz olduğu gözlemlenmiştir. Mikroskopi görüntüleri, kök yüzeylerinde nanotüp tabakalarının varlığını göstermiştir.

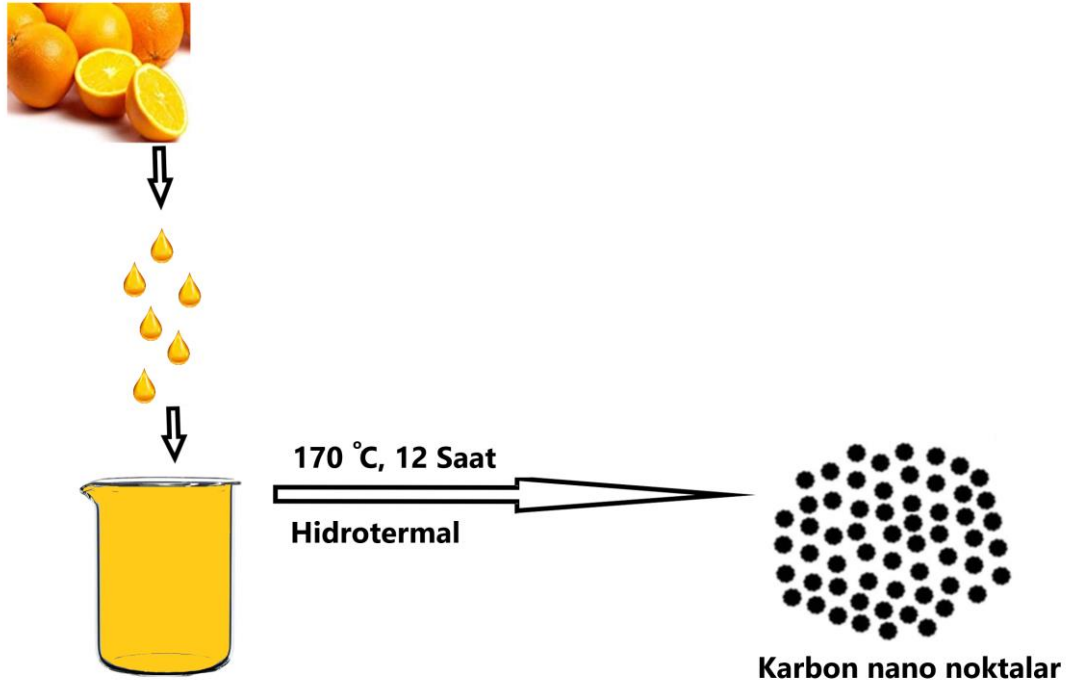


BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Karbon Nano Noktaların Sentezi

İlk olarak, 60 mL mandalina suyu ve 40 mL dH₂O ile iyice karıştırıldı. Daha sonra karışım 110 mL teflon astarlı otoklav içine aktarıldı ve 12 saat 170 ° C'ye ısıtıldı. Sonra, bu karışım doğal olarak oda sıcaklığında soğutuldu. Büyük parçacıklar, bir mikrometrik filtre membranı kullanılarak filtrasyon yoluyla karışımdan çıkarıldı. Daha sonra bu ürün, 15 dakika boyunca 14000 rpm'de santrifüj yoluyla toplandı. Bu süpernatant, karakterizasyon ve daha sonraki kullanım için 4 ° C'de muhafaza edildi. Bu proses Şekil 3.1'de şematize edilmiştir.



Şekil 3.1 Hidrotermal yöntem ile karbon nano noktaların hazırlanması

3.1.1 Karbon Nano Noktaların Simülasyonu

Bu çalışmada ab initio tekniklerinden olan Yoğunluk Foksiyonel Teorisi kullanıldı. Malzemenin atomik veya nano ölçekte modellenmesi için kullanılan yazılım

programı olan Quantum Espresso (QE) paketi tercih edildi.(Paolo vd., 2009). Yapının en kararlı enerjisini bulmak için genelleştirilmiş gradyan yaklaşımı (GGA) PAW-PBE potansiyeli tercih edilmiştir (Peter, 1994). Ayrıca, Van Der Waals (vdW) etkileşimlerinin etkisi Grimme'nin DFT-D3 yönteminin kullanılarak dahil edilmiştir (Stephan vd., 2011).

3.2 Deney Ortamı ve Uygulama

Araştırmamızda Gaziantep ilinde ekimi yapılan ekmeklik buğday çeşitlerinden *T. aestivum* L. cv. Golia tohumları kullanılmıştır. Çimlenme deneylerine başlanılmadan önce, tohumlar %5'lik sodyumhipoklorit'te 15 dakika steril edilmiştir. Tohumlar sonra üçer defa distile sudan geçirilerek yüzeylerindeki hipokloritten arındırılmıştır. Araştırmamız petri kaplarında (120 mm) yürütülmüştür. Deney başlamadan önce petri kapları steril edilmiştir. Petri kaplarının altına iki kat kaba filtre kağıdı yerleştirilmiştir. Üç tekrarlı olarak, her petri kabına 20 tohum gelecek şekilde deney düzeneği oluşturulmuştur. Tohumlar 0, 25, 50, 100, 250, 500 ve 1000 mg/L'lik karbon nano nokta derişimleri ile sulanmıştır (Şekil 3.2). Kontrol olarak saf su kullanılmıştır. Günlük olarak petri kapları kontrol edilmiş, gerekli olduğu durumlarda kendi uygulama çözeltileri ile sulanmışlardır. Petri kaplarındaki buğday tohumları kontrollü şartlarda, bir iklimlendirme dolabında 24 ± 1 °C'de inkübe edilmiştir. Uygulamanın yedinci gününde deney sonlandırılarak ölçüm ve analizler yapılmıştır.



Şekil 3.2 Buğday tohumlarına uygulanan karbon nano nokta derişimleri

3.3 Ölçümler

Deney sonunda, buğday fidelerinin kök ve otsu gövde uzunlukları cetvel ile ölçülmüştür.

3.4 Analizler

3.4.1 Protein Analizi

Buğday organlarının protein miktarlarını belirlemek için taze örnekler 5 mL 0,1 M fosfor tamponunda (pH 7,4) homojenize edildikten sonra santrifüj edilmiştir. Süpernatanttan 0,1 mL alınarak üzerine 0,4 mL distile su eklenmiştir. Sonra 2,5 mL alkali çözelti ilave edilip 10 dakika oda sıcaklığında bekletilmiştir. Sonra 0,25 mL Folin-Ciocalteu ayırıcı eklenerek 30 dakika oda sıcaklığında bekletilerek UV/VIS spektrofotometrede (Cintra 202) 750 nm’de okunmuştur. Protein miktarını belirlemek için standart olarak bovin serum albumin kullanılmıştır (Lowry vd., 1951).

3.4.2 Toplam Karbonhidrat Analizi

Buğday fide organlarının toplam karbonhidrat analizi Plummer (1998) ’e göre belirlenmiştir. Bunun için taze buğday kısımları kullanılmıştır. Örneklerin homojenizasyonu takiben santrifüj işlemini yapılmıştır. Süpernatanttan 0,1 mL alınarak distile su ile 3 mL’ye tamamlanmıştır. Üzerine 5 mL Antron çözeltisi eklenerek 80°C’de sıcak su banyosunda yaklaşık 5 dakika bekletilmiştir. Soğuk su banyosunda şok soğutulan bu örneklerin absorbansları 620 nm’de spektrofotometrede okunmuştur. Karbonhidrat miktarının belirlenmesi için standart olarak glukoz kullanılmıştır.

3.4.3 Toplam Fenolik Bileşik Analizi

Buğday kök ve sürgünlerinin toplam fenolik bileşik içerikleri Ratkevicius vd. (2003)’ne göre belirlenmiştir. Santrifüj edilen örneklerin süpernatantından 50 µL alınarak son hacim 1 mL olacak şekilde % 3’lük sodyum karbonat ve 0,3 N Folin-Ciocalteu eklenerek oda sıcaklığında 30 dakika bekletilmiştir. Daha sonra bu örnekler spektrofotometrede 765 nm’de okunmuştur. Standart olarak gallik asit kullanılmıştır.

3.4.4 Protein Olmayan Sülfidril Grupların Analizi

Protein olmayan sülfidril grupların belirlenmesi Ellman (1959) ’a göre yapılmıştır. Taze buğday örnekleri 5 mL % 5’lik meta-fosforik içinde homojenize edilmiştir.

Homojenizat santrifüj edildikten sonra, süpernatanttan 500 µL alınmış ve üzerine 2,5 mL fosfat tamponu (pH 7,4) eklenmiştir. Son olarak 0,5 mL 5,5'-ditiyo-bis (2-nitrobenzoik asit) (DTNB) eklenmiş ve vortekslenmiştir. Yirmi dakika inkübasyondan sonra hazırlanan örnekler spektrofotometrede 412 nm'de okunmuştur. Standart olarak redükte glutatyon kullanılmıştır.

3.4.5 Hidrojen Peroksit Analizi

Buğday organlarının hidrojen peroksit içerikleri Sergiev vd. (1997) 'ne göre belirlenmiştir. Tartılan taze fide organları %0,1'lik trikloroasetik asitte homojenize edilmiştir. Santrifüj edilen numunelerden 0,5 mL alınarak üzerine 0,5 mL fosfor tamponu ve 1 M'lık KI'dan 1 mL eklenmiştir. Bu karışım 390 nm'de UV/VIS spektrofotometrede okunmuştur. Standart olarak H₂O₂ kullanılmıştır.

3.4.6 Malondialdehit Analizi

Farklı derişimlerde karbon nano nokta derişimlerinin etkisinde kalan buğday fidesi kök ve sürgünlerinin malondialdehit (MDA) analizleri için, örnekler %10'luk TCA'da homojenize edilmiştir. Bu numuneler santrifüj edildikten sonra, 2 mL süpernatanttan alınarak üzerine 2 mL tiyobarbütirik asit eklenmiş ve 95°C'de 30 dakika su banyosunda bekletilmiştir. Bu işlemi takiben numuneler buzlu su ortamında şok soğutulmuştur. MDA miktarının belirlenmesi için örnekler UV/VIS spektrofotometrede 532, 600 ve 450 nm'de okunmuştur (Zhou, 2001).

3.4.7 Histokimyasal Analizler

Histokimyasal analizlerde kullanılacak buğday kökleri birkaç dakika 0,5 mM CaCl₂'de (pH 4,5) yıkanmıştır. Beklenmeden kurutma kağıdında kurulandıktan sonra uygulamalar yapılmıştır. Lipid peroksidasyonun histokimyasal olarak belirlenmesi: Kökler Schiff's reagentinde 60 dakika bekletilmiştir. Daha sonra boyanan kökler 0,05 M HCl'de hazırlanmış % 5'lik K₂S₂O₅'de köklerdeki renk kırmızı olana kadar durulanmıştır. Daha sonra yeterince saf su ile yıkandıktan sonra fotoğrafları çekilmiştir (Pompella vd., 1987). Plazma membran integritesinin durumunu belirlemek için buğday kökleri %0,025'lik Evans Blue çözeltisinde (pH 5,6) 30 dakika bekletilmiştir (Yamamoto vd., 2001).

3.4.8 İstatistiksel Analiz

Elde edilen verilerin istatistiksel analizi SPSS (SPSS 11.0 for Windows) paket programı kullanılarak yapılmıştır. Hangi grubun ya da grupların farklı olduğunu belirlemek amacıyla One-Way ANOVA LSD testi uygulanmıştır.

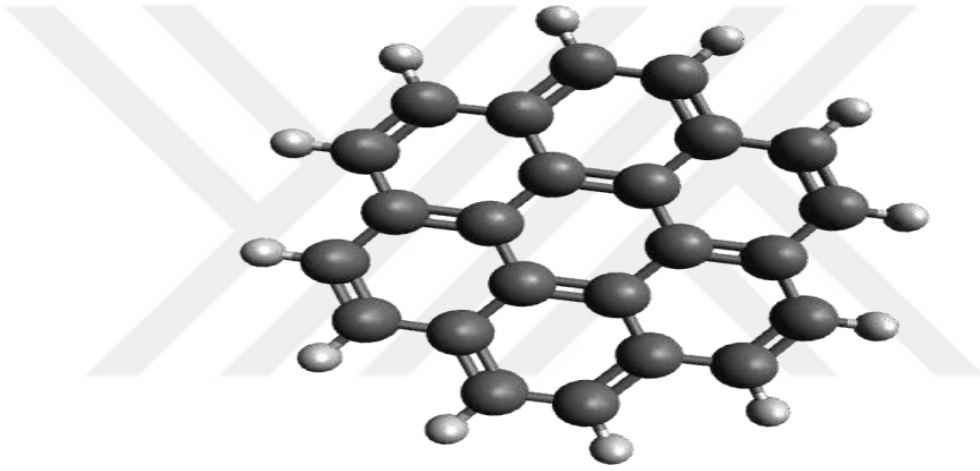


BÖLÜM 4

BULGULAR

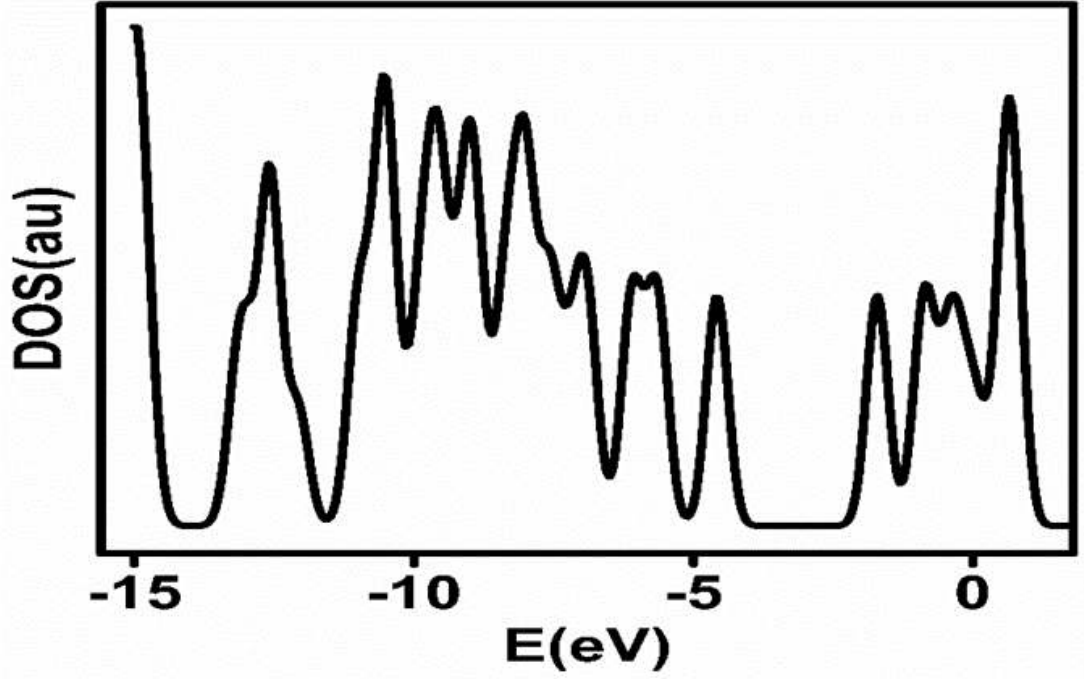
4.1 Karbon Nano Nokta

Buğdaya uygulanan karbon nanodotun temel özelliklerini anlamak için bu çalışmada Yoğunluk Fonksiyonel Teorisinden yararlanılarak malzemenin modellenmesi ve simülasyonu, DOS analizi, XRD ve TEM analizleri yapılmıştır.



Şekil 4.1 Karbon nanodot modeli

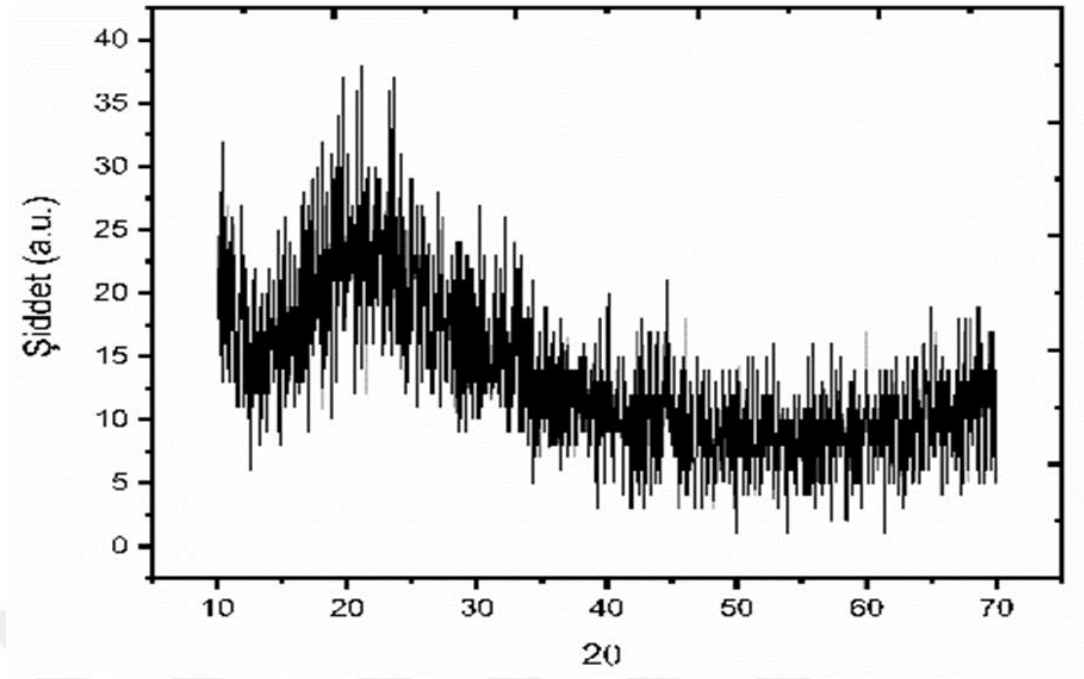
Sentezlenen karbon nanodot parçacıklarının ab initio metotlarından biri olan yoğunluk fonksiyonel teorisinden yararlanılarak modellenmesi yapıldı. Şekil 4.1de karbon nanodot modeli gösterilmiştir. YFT bazlı quantum dot ile ilgili birçok çalışma mevcuttur (Pathak ve Rasto, 2007; Ribas vd., 2011; Zhang vd., 2016). Hidrojenle pasifleştirilmiş karbon nano dot ile ilgili YFT çalışmaları azdır. Biz bu çalışmada Karbon nano dot parçacıklarını hidrojenle pasifleştirdik. Parçacıktaki stabiliteyi azaltan kenar etkisini ve hesaplama maliyetini azaltmak için hidrojenle pasifleştirdik. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi nanoparçacık armchair (koltuk) dizilişinden oluşan hekzagonal yapıdaki karbon elementlerinden oluşmaktadır.



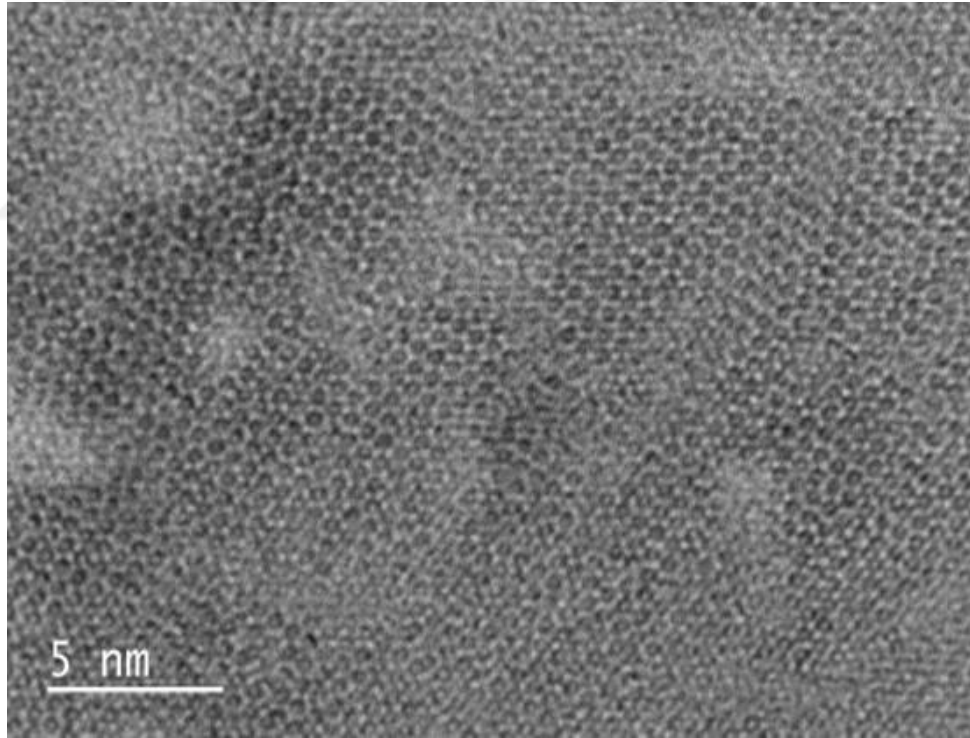
Şekil 4.2 Karbon nanodot DOS analizi

Durum yoğunluğu (DOS) malzemedeki aktif olan elektronlar ile ilgili bilgi verir. DOS analizi yük taşıma özelliği ve bu taşıyıcılardaki enerjinin dağılımı ile ilgili bilgi vermektedir. Malzemenin karakteristik özellikleri arasındadır. Üretilen karbon nanodotun DOS analizi ile bitki içerisindeki hangi malzemeyle kolayca tepkimeye girip girmeyeceğini anlamamızı sağlar fakat bitki içerisindeki inorganik maddelerin bitki içerisinde alınan karbon nano dot ile tepkinelibilirliği bu tezin ana konusu olmadığından dolayı bu bölümde sadece DOS analiziyle elde edilen sonuçlar üzerinde duracağız. Şekil 4.2’de YFT hesaplaması sonucu elde edilen karbon nanodotun DOS analizi verilmiştir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi birçok tepe noktası görülmektedir. Tepe noktalarının fazla olması karbon nano dotun kararsız olduğunu ve bitki içerisindeki birçok malzeme ile tepkimeye girebilme özelliğini göstermektedir.

Sentezlenen karbon nanodot nanopartikülünün kristal özelliklerini araştırmak için $\text{CuK}\alpha$ radyasyonu kullanan Philips X’Pert PRO XRD ($\lambda = 0.154056$ nm, 40 kV-30 mA olarak ayarlanmış) X-ışını kırınımı (XRD) yöntemleri kullanıldı. XRD grafiği Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Mandalinadan elde edilen karbon nanodotun XRD sonuçlarına göre herhangi bir tepe noktası gözlenmediğinden dolayı yapı amorf mikroyapısal özellik göstermektedir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki sonuçlarla uyumludur (Ashmi vd., 2013; Liang vd., 2013).



Şekil 4.3 Karbon Nanodot' un XRD analizi



Şekil 4.4 Karbon Nanodot' un TEM görüntüsü

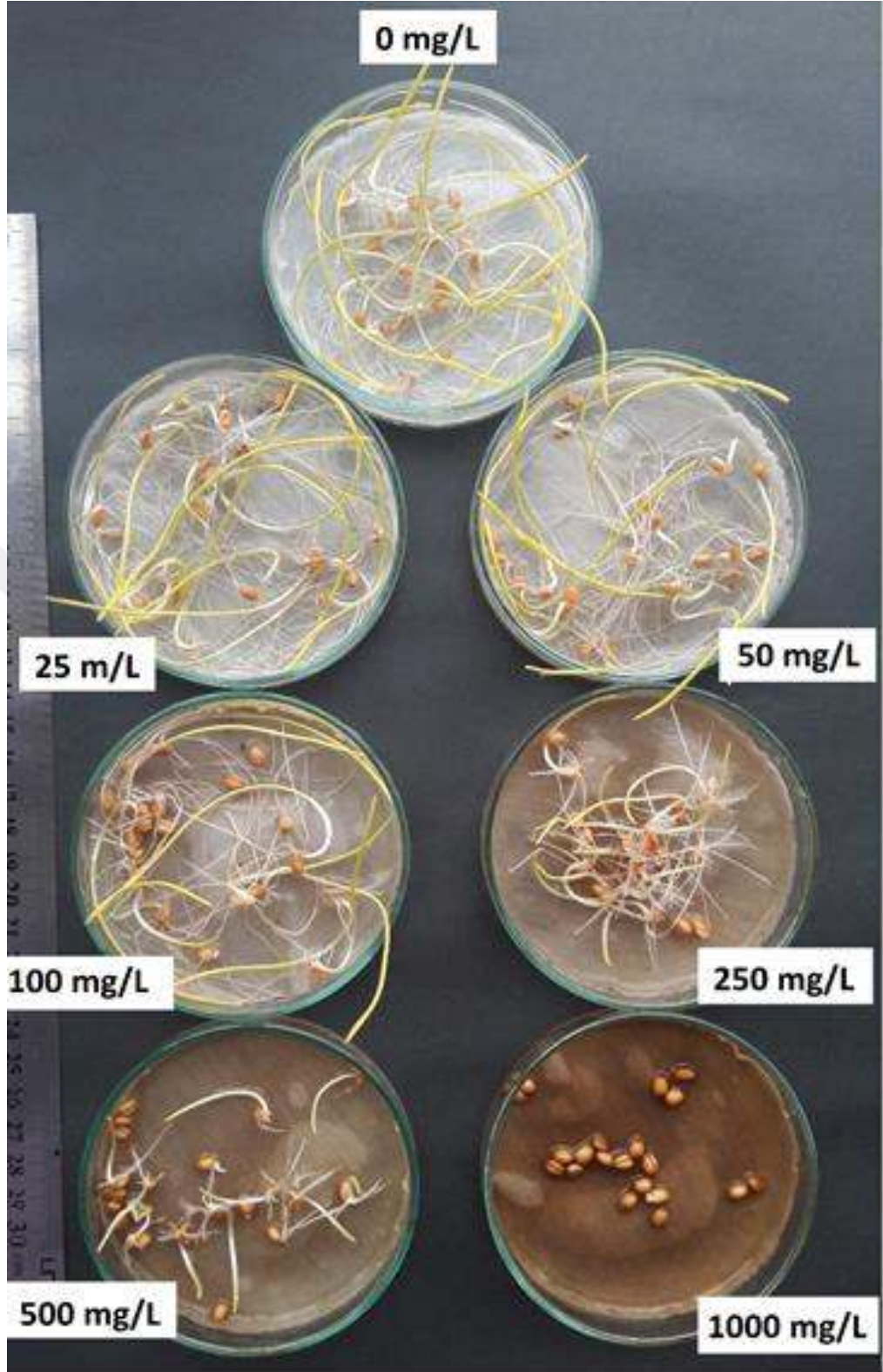
Transmisyon elektron mikroskopisi (TEM) karakterizasyonu JEOL JEM 2100 (UHR) modeli kullanılarak yapıldı. TEM ile sentezlenen Karbon nanodot parçacıklarının morfolojik özellikleri ve yapısal özellikleri incelendi. Karbon nanodotun hegzogonal yapısı Şekil 4.4'de açıkça görülmektedir.

4.2 Genel Bulgular

Bu çalışmada, sentezlenmiş karbon nanonoktaların (0-1000 mg/L) farklı derişimlerinin etkisinde ve kontrollü şartlarda yetiştirdiğimiz ekmeklik buğday çeşitlerinden *T. aestivum* L. cv. Golia'daki fizyolojik ve histokimyasal değişimler belirlenmiştir. Karbon nano nokta derişimlerinin etkisindeki buğday fidelerinin genel görünümleri Şekil 4.5'de ve petri kabındaki görümleri ise Şekil 4.6'de gösterilmiştir. Bunlar her iki şekil de incelendiğinde, 1000 mg/L'lik derişimde herhangi bir çimlenmenin olmadığı görülebilir. Ayrıca, 500 mg/L'lik derişimde her ne kadar çimlenme ve gelişim olsa da fizyolojik analizler için yeterli miktarda biyomas elde edilememiştir.



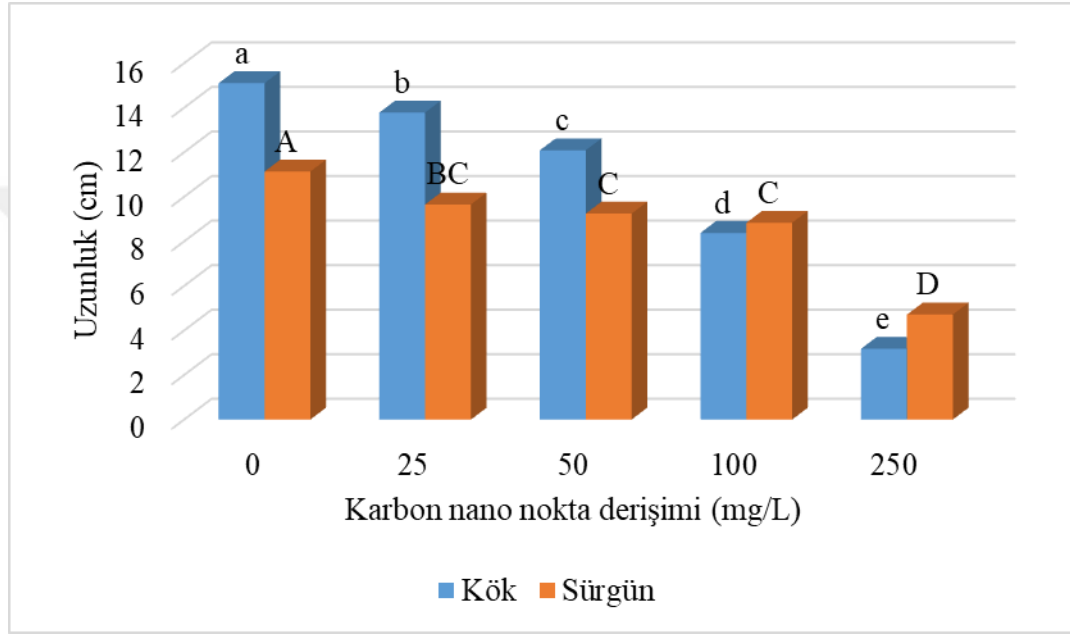
Şekil 4.5 Farklı derişimlerde karbon nano nokta uygulanmış buğdayların deney sonu genel görünümleri



Şekil 4.6 Farklı derişimlerde karbon nano nokta uygulanmış buğday tohumlarının çimlenme sonrası genel görünüşleri

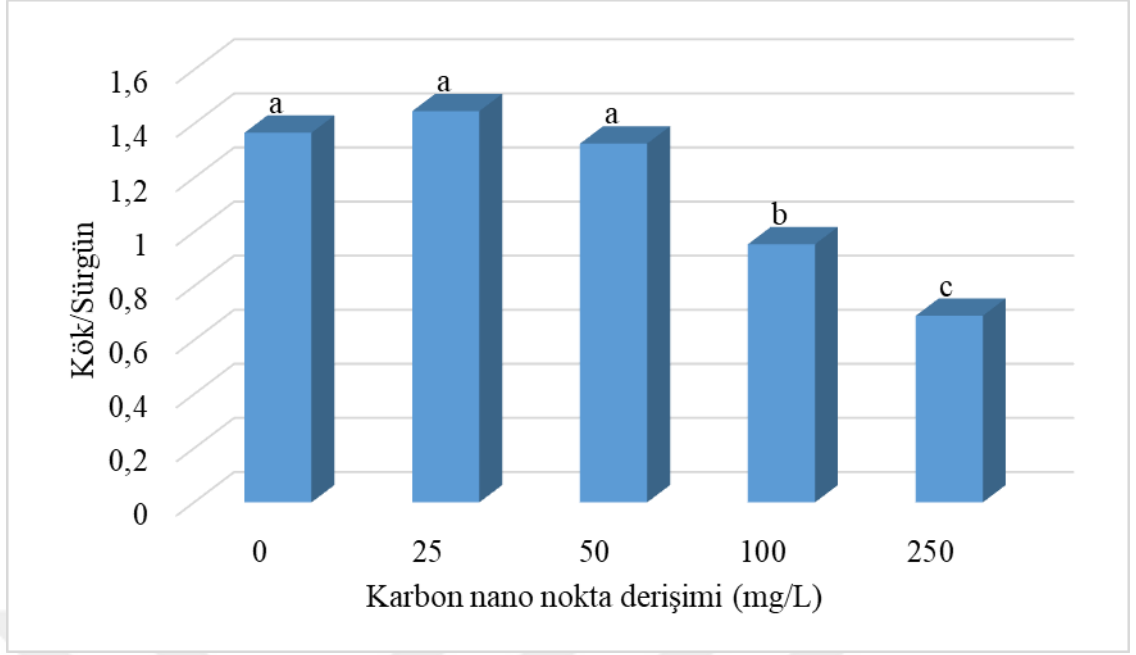
4.3 Büyüme Üzerine Etkisi

Yedi günlük boyunca sentezlenmiş karbon nano nokta derişimlerinin etkisindeki buğday fide kök ve sürgünlerinin uzunlukları artan derişimle birlikte azalmıştır ($p<0,05$). Buna göre, köklerin uzunlukları 25, 50, 100 ve 250 mg/L’lik derişimlerde kontrole göre sırasıyla %8,8, %19,9, %44,5 ve %79,0 oranlarında azalmıştır (Şekil 4.7). Benzer şekilde fide sürgünlerinde ise aynı derişimlerde ve sırasıyla %13,3, %17,0, %20,7 ve %57,7 düzeylerinde azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.7 Farklı karbon nano nokta derişimlerin etkisindeki buğday fidelerinin kök ve sürgün uzunlukları. Barlar üzerindeki farklı harfler $p<0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemi belirtir.

Sentezlenmiş karbon nano nokta derişimlerinin etkisindeki buğday fide kök ve sürgünlerinin oranları Şekil 4.8’de verilmiştir. Buna göre, 25 mg/L’lik derişimdeki oran kontrole göre önemsiz düzeyde artmıştır ($p>0,05$). Ayrıca 50 mg/L’lik derişimde ise bu oran önemsiz bir azalma göstermiştir ($p>0,05$). Bunun aksine, 100 ve 250 mg/L’lik derişimlerde ise kök/gövde oranı kontrole göre sırasıyla %30,2 ve %49,5 düzeylerinde ve önemli oranda azaldığı bulunmuştur ($p<0,05$).



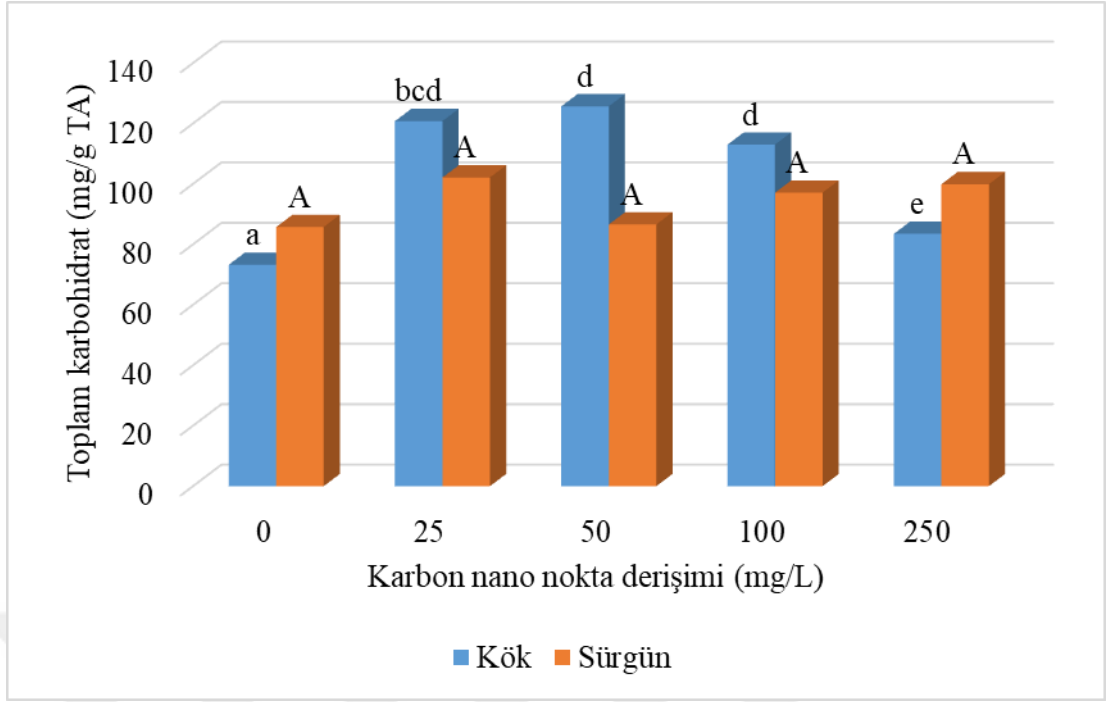
Şekil 4.8 Farklı karbon nano nokta derişimlerin etkisindeki buğday fidelerinin kök/sürgün oranları. Barlar üzerindeki farklı harfler $p<0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemi belirtir.

4.4 Toplam Karbohidrat Miktarı

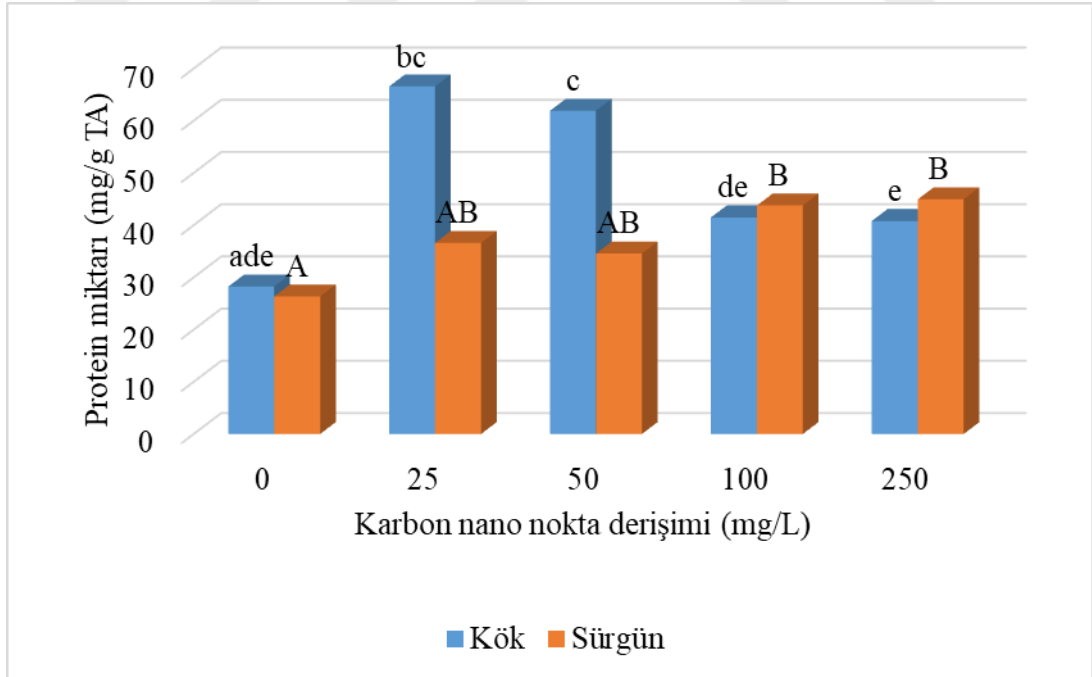
Sentezlenmiş karbon nano nokta derişimlerinin etkisindeki buğday fide kök ve sürgünlerinin toplam karbohidrat içerikleri Şekil 4.9’te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, uygulanan karbon nano nokta derişimleri kök ve sürgünlerin toplam karbohidrat içeriğinde artışa neden olmuştur. Buna göre, köklerin karbohidrat içeriği 25, 50, 100 ve 250 mg/L’lik derişimlerde kontrole göre sırasıyla %64,9, %71,6, %54,3 ve %14,0 ($p<0,05$) düzeylerinde arttığı belirlenmiştir. Bu içerik sürgünlerde ve aynı derişimlerde ise sırasıyla %19,1, %1,0, %13,3 ve %16,5 düzeylerinde olmuştur ($p>0,05$). Sürgünlerin toplam karbohidrat içeriği kökle karşılaştırıldığında daha az artış göstermiştir.

4.5 Protein Miktarı

Uygulanan karbon nano nokta derişimleri buğday kök ve sürgünlerin protein içeriklerinde artışa neden olmuştur (Şekil 4.10). Köklerin protein miktarındaki en yüksek artış %135,8 ile 25 mg/L’lik derişimde olmuş iken, en düşük artış %44,5 ile 250 mg/L’lik derişimde bulunmuştur. Bununla birlikte, sürgünlerin en yüksek protein artışı ise 250 mg/L’lik derişimde ve kontrole göre %70,6 düzeyinde olmuştur.



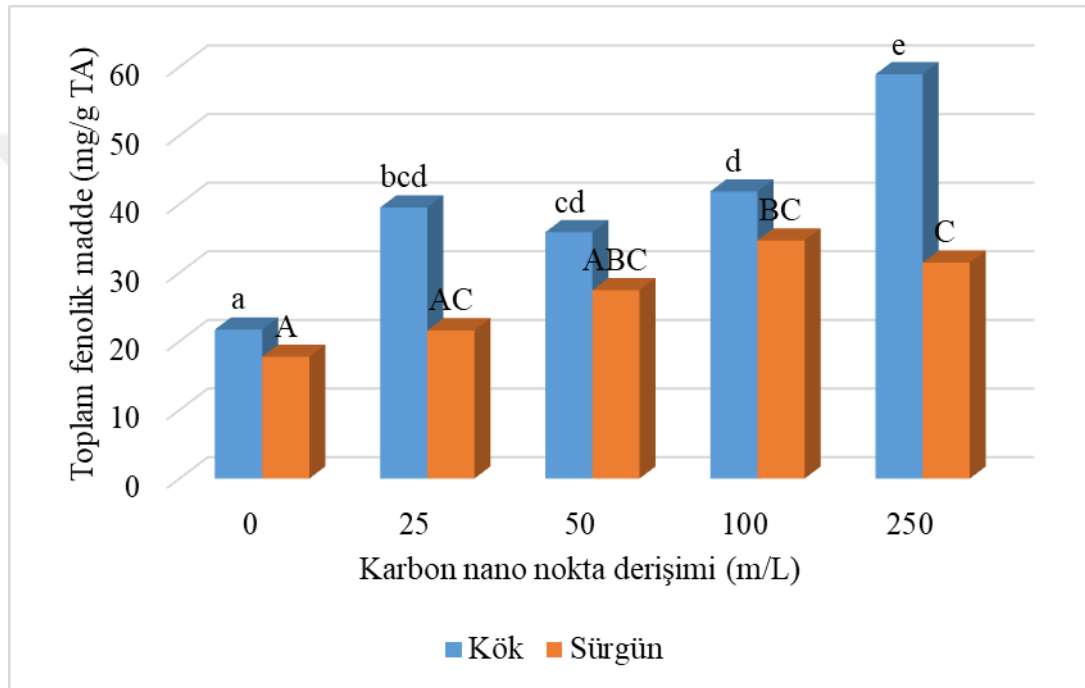
Şekil 4.9 Farklı karbon nano nokta derişimlerin etkisindeki buğday fide kök ve sürgünlerinin toplam karbohidrat miktarları. Barlar üzerindeki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemi belirtir.



Şekil 4.10 Farklı karbon nano nokta derişimlerin etkisindeki buğday fide kök ve sürgünlerinin protein miktarları. Barlar üzerindeki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemi belirtir.

4.6 Toplam Fenolik Bileşik Miktarı

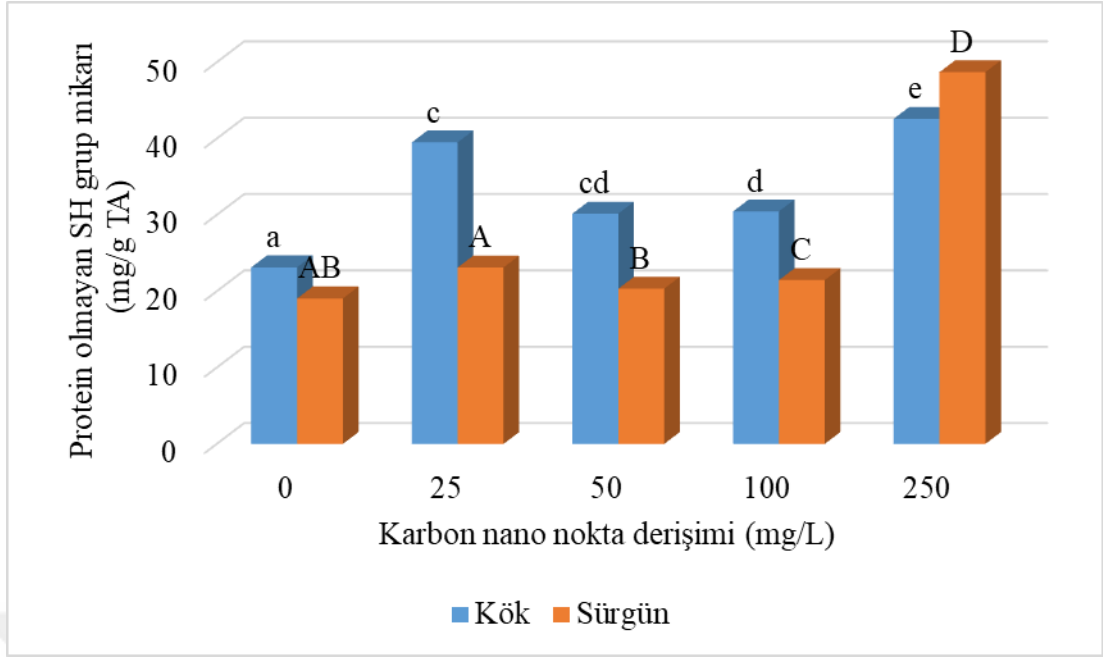
Buğday fide organlarının toplam fenolik madde içerikleri uygulanan karbon nano nokta derişimlerinin etkisinde artmıştır (Şekil 4.11). Elde edilen sonuçlara göre, köklerin fenolik bileşik içerikleri 25, 50, 100 ve 250 mg/L'lik derişimlerde kontrole göre sırasıyla %81,8, %65,3, %92,7 ve 171,2 düzeylerinde önemli düzeyde arttığı bulunmuştur ($p<0,05$). Kökteki içeriğe kıyasla daha az olmakla birlikte, sürgünlerin fenolik madde içerikleri de aynı derişimlerde ve kontrole göre sırasıyla %21,6, %54,6, %95,5 ve %77,2 düzeylerinde artmıştır ($p<0,05$).



Şekil 4.11 Farklı karbon nano nokta derişimlerin etkisindeki buğday fide kök ve sürgünlerinin toplam fenolik bileşik miktarları. Barlar üzerindeki farklı harfler $p<0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemi belirtir.

4.7 Protein Olmayan Sülfidril Grupların Miktarı

Buğday fide organlarının protein olmayan SH grup miktarları uygulanan karbon nano nokta derişimlerinin etkisinde arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.12). Köklerin protein olmayan SH grup miktarları uygulanan 25, 50, 100 ve 250 mg/L'lik derişimlerde kontrole göre sırasıyla %70,8, %30,4, %31,7 ve %84,2 düzeylerinde önemli düzeyde arttığı bulunmuştur ($p<0,05$). Sürgünlerin dokularının protein olmayan SH grup miktarlarının ise özellikle 250 mg/L'lik derişimde kontrole göre %155,6 düzeyine kadar artış gösterdiği belirlenmiştir ($p<0,05$).



Şekil 4.12 Farklı karbon nano nokta derişimlerin etkisindeki buğday fide kök ve sürgünlerinin protein olmayan SH grup miktarları. Barlar üzerindeki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemi belirtir.

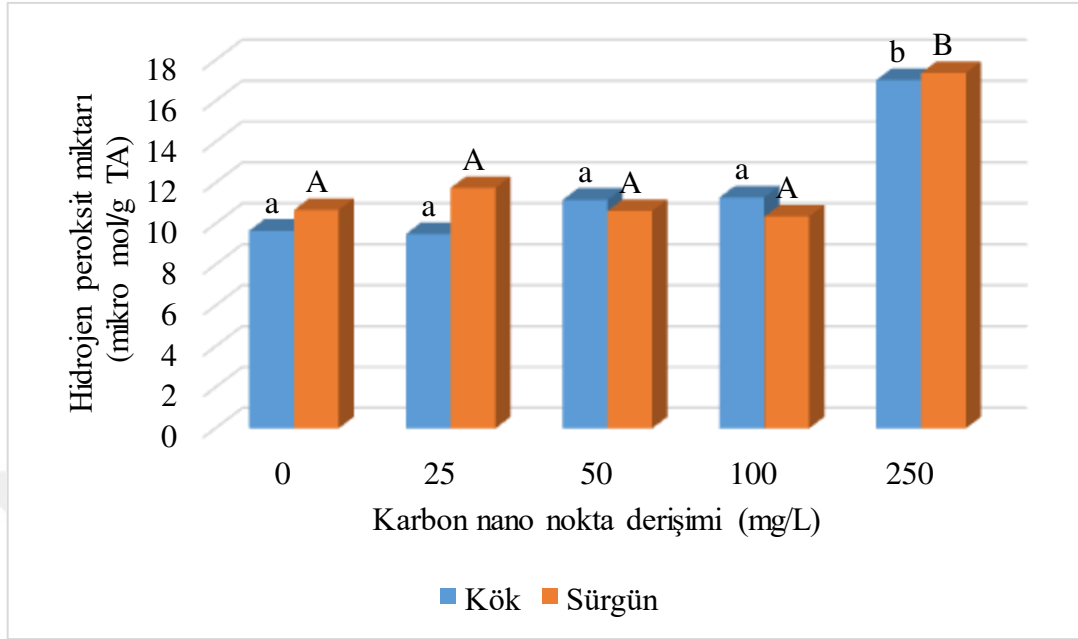
4.8 Hidrojen Peroksit Miktarları

Uygulanan karbon nano nokta derişimlerinin buğday kök ve sürgünlerinde oksidatif strese neden olup olmadıklarını belirlemek için hidrojen peroksit analizi yapılmıştır (Şekil 4.13). Yapılan analizlere göre, kök ve sürgünlerin hidrojen peroksit içerikleri 25, 50 ve 100 mg/L'lik derişimlerde anlamlı bir değişime neden olmamıştır ($p > 0,05$). Bunun aksine, kök ve sürgünlerin hidrojen peroksit içerikleri 250 mg/L'lik derişimde kontrollerine göre sırasıyla %76,4 ve %62,8 düzeylerinde artış gösterdiği tespit edilmiştir.

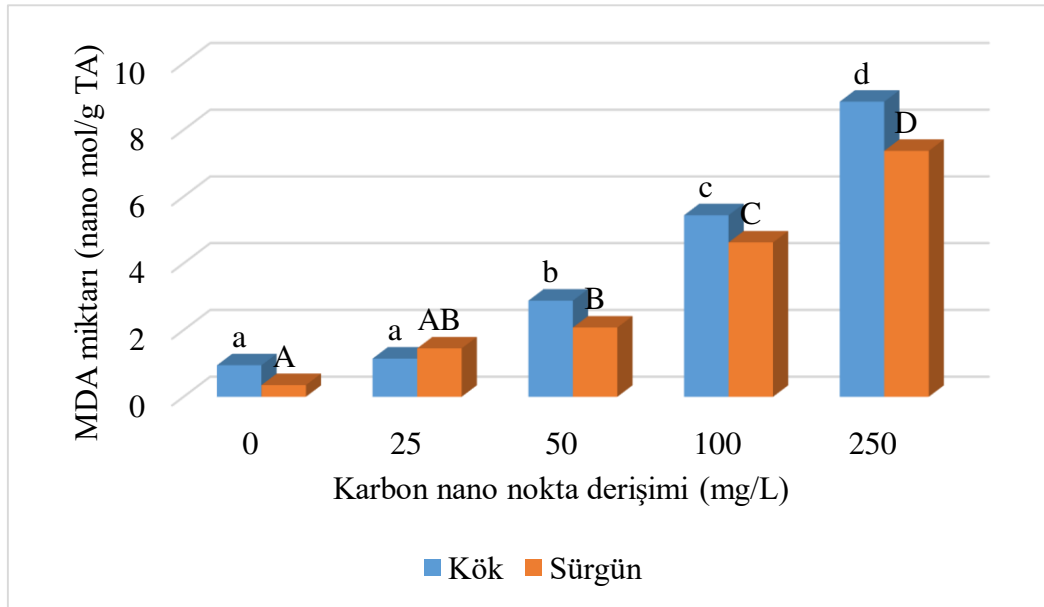
4.9 Lipid Peroksidasyon Miktarları

Uygulanan karbon nano nokta derişimlerinin buğday kök ve sürgün hücre zarlarında lipid peroksidasyonuna neden olup olmadıklarını belirlemek için malondialdehit analizi yapılmıştır (Şekil 4.14). Uygulanan karbon nano nokta derişimleri sonucunda kök ve sürgünlerin MDA içeriklerinin önemli düzeyde arttığı belirlenmiştir ($p < 0,05$). Köklerin malondialdehit içerikleri 25, 50, 100 ve 250 mg/L'lik derişimlerde kontrole göre sırasıyla 1,2, 3,0, 5,8 ve 9,4 kat arttığı hesaplanmıştır. Benzer olarak,

sürgünlerin malondialdehit içerikleri de 25, 50, 100 ve 250 mg/L'lik derişimlerde kontrole göre sırasıyla 4,1, 5,9, 13,2 ve 21,1 kat arttığı belirlenmiştir.



Şekil 4.13 Farklı karbon nano nokta derişimlerin etkisindeki buğday fide kök ve sürgünlerinin hidrojen peroksit miktarları. Barlar üzerindeki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemi belirtir.



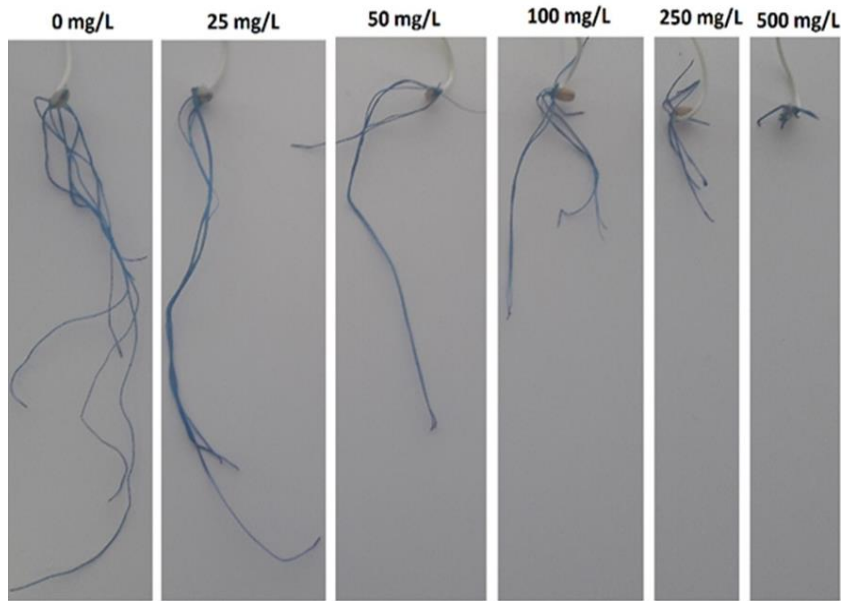
Şekil 4.14 Farklı karbon nano nokta derişimlerin etkisindeki buğday fide kök ve sürgünlerinin malondialdehit (MDA) miktarları. Barlar üzerindeki farklı harfler $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemi belirtir.

4.10 Histokimyasal Analiz Sonuçları

Uygulanan karbon nano nokta derişimlerinin oksidatif strese neden olup olmadıkları histokimyasal analizler ile kalitatif olarak da belirlenmiştir. Buğday köklerinin Schiff reaktifi ile özellikle yüksek derişimlerde boyanmış olması, lipid peroksidasyonun bir göstergesidir (Şekil 4.15). Ayrıca, özellikle uygulanan derişim artışı ile köklerin Evans Blue ise boyanması da membran integritesinin değiştiğini göstermiştir (Şekil4.16).



Şekil 4.15 Farklı karbon nano nokta derişimlerin etkisindeki buğday fidelerinin köklerindeki lipid peroksidasyonun histokimyasal olarak belirlenmesi



Şekil 4.16 Farklı karbon nano nokta derişimlerin etkisindeki buğday fidelerinin köklerindeki membran hasarının histokimyasal olarak belirlenmesi

BÖLÜM 5

TARTIŞMA VE SONUÇ

Çevre kirliliği, Dünyanın bugün karşı karşıya olduğu önemli sorunlardan biridir. Bu sorun her geçen yıl artarak Dünya’da ciddi etkiler oluşturmaktadır. Atmosfer, CO, kloroflorokarbonlar, uçucu organik bileşikler, hidrokarbonlar ve azot oksitler gibi çeşitli kirleticileri içermektedir. Su ve toprak ise aynı zamanda organik ve inorganik bileşiklerle kirlenmektedir. Bu kirleticilerin başlıca kaynakları lağım suyu, endüstriyel atıklar, pestisitlerin rastgele kullanımı, gübreler ve petrol sızıntılarıdır (Krug, 2009; Bhawana ve Fulekar, 2012; Khan vd., 2014; Das vd., 2015).

Endüstri ve medeniyet faaliyetlerinin sürekliliği, doğal kaynakları en aza indirmektedir. Ayrıca, çevre kirliliğine (hava, su ve toprak) neden olmakta, dolayısıyla halk sağlığını ve ekolojik güvenliği tehdit eden birçok tehlikeli atık oluşturmaktadır. Bu çevresel kirleticiler yeme, emilme veya soluma yoluyla vücuda girmesi sonucunda insan sağlığı üzerinde zararlı etkilere neden olabilmektedir (McMichael vd., 2003). Bu nedenle, toksik çevre kirleticilerinin tespit edilmesi ve doğru bir şekilde ele alınması için; yeni, daha verimli ve ekonomik teknolojilere acil bir ihtiyaç vardır (Adeleye vd., 2016).

NP’ler doğal (volkanik patlama), tesadüfi (bitkilerin yanması) ve planlanan (motorlu taşıtlar) faaliyetlerinden kaynaklanabilir. Hem NP’ler hem de KNM’ler tarımda, kimyada, biyoloji, tıp ve enerji alanlarında potansiyel kullanımları için laboratuvarında insanlar tarafından üretilir (Treuel vd., 2014; Gao vd., 2014). Nanopartiküller (pozitif yüklü nanogold), bitki hücrelerinde plazma zarı içselleştirme (endositoz) mekanizmaları hakkında fikir edinmek için faydalı problemler olarak kullanılmıştır (Onelli vd., 2008).

Bugün, metaller, seramikler, polimerler, akıllı tekstiller, kozmetikler, güneş koruyucuları, elektronikler, boyalar ve cilalar dahil olmak üzere piyasada çok geniş bir ticari ürün yelpazesi bulunmaktadır. Bu nedenle nanomalzemeler, nanometrik

ölçekte malzemelerin spesifik özelliklerini elde etmek için insanlar tarafından üretilir. Öte yandan, doğal nano partiküller de vardır: örneğin, erozyon tozu veya volkanik patlama tozu veya deniz spreyi. Diğer nanoparçacıklar, yanma olayları sırasında istemeden üretilir: örneğin, odun yakarken veya dizel motorları yakarken (Wagner vd., 2014).

Karbon nanopartiküller olağanüstü elektriksel iletkenliğe, ısı iletkenliğine ve mükemmel mekanik özelliklere sahiptir. Karbon nanopartiküller saf karbondan oluşur, bu nedenle yüksek stabilite, düşük toksisiteye sahiptirler, çevre dostudurlar ve iyi iletkenlik gösterirler (Yan vd., 2016). Karbon nanopartiküller, ilaç dağıtımı, gen transferi ve biyo-görüntüleme gibi biyomedikal sektöründeki birçok uygulamada bulunur (Lin vd., 2016).

Nanomateriyallerin artan ürünlerinin ekolojik ortamda kaçınılmaz bir şekilde dağılacığı göz önüne alındığında, çevre kirliliği ve ekolojik etkilerine son yıllarda büyük dikkat çekmiştir (Nel vd., 2006; Kahru ve Dubourguier, 2010; Batley vd., 2013). Ekolojik çevre ile yakın etkileşimleri nedeniyle, bitkilerin nanomateriyallerden doğrudan etkilendiği düşünülmektedir (Navarro vd., 2012). Son zamanlarda, NM'lerin bitkiler üzerindeki etkilerini araştırmaya dair artan bir ilgi duyulmaktadır (Pokhrel ve Dubey, 2013; Taylor vd., 2014; Nair ve Chung, 2014). Çok çeşitli NM'leri arasında, karbonik nanomalzemeler, özellikle de karbon nanotüplerin, malzeme bilimi, biyosensing, biyotıp, vb. gibi geniş uygulama alanlarından dolayı bilimsel çalışmalar için geniş ilgi alanlarına ilham vermiştir (Hsieh vd., 2015; Qiu vd., 2015; Tertiş vd., 2015; Tonelli vd., 2015).

Son on yılda, karbon nanomalzemelerin yüksek bitkiler üzerindeki etkileri yoğun bir şekilde incelenmiştir. Bunların hem pozitif hem de negatif etkileri gözlemlenmiştir (Khodakovskaya vd., 2013). Karbon nano-borularının da karasal bitkilerin büyümesini olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir (Lahiani vd., 2015). Saxena vd. (2014), suda çözünür KNP'lerin buğday üzerindeki konsantrasyona bağlı etkilerini incelemiştir. Bitkiler 20 güne kadar toprakta 10-150 mg/L KNP ile muamele edilmiştir. Sonuçta, kök ve sürgün uzunluğunun, 50 mg/L'de kontrollere kıyasla üç kat artışı bulunmuştur. 24 saat boyunca 25, 50 ve 100 µg/ml'de KNP'lere maruz bırakılmış tütün bitkisi hücreleride, kontrollere kıyasla, 25 µg / mL' de anlamlı bir etki görülmezken, 100 µg/mL' de hücrelerinin büyümesinde % 78'lik bir artış

kaydedilmiştir (Lahiani vd., 2015). Benzer olarak, yapılan bir çalışmada, 40 µg/mL grafen ile muamale edilmiş domates tohumları, kontrollere kıyasla sırasıyla % 26,6, 43,4 ve % 13,5 artmış olduğu gözlemlenmiştir (Zhang vd., 2015).

Çalışmamızda, sentezlenmiş karbon nano noktaların 0, 25, 50, 100, 250, 500 ve 1000 mg/L derişimlerinin etkisinde, kontrollü bir iklimlendirme dolabında yetiştirdiğimiz ekmeklik buğday çeşitlerinden *T. aestivum* L. cv. Golia'daki fizyolojik ve histokimyasal değişimler belirlenmiştir. Sentezlenmiş nano nokta derişimlerinin etkisindeki buğday fide kök ve sürgünlerinin uzunlukları artan derişimle birlikte azaldığı belirlenmiştir. Bunun yanında, buğday fide kök ve sürgünlerinin oranları 25 mg/L'lik derişimdeki oran kontrole göre önemsiz düzeyde artmıştır. Ayrıca 50 mg/L'lik derişimde ise bu oran önemsiz bir azalma göstermiştir. Uygulanan yüksek derişimlerde ise kök/gövde oranı önemli oranda azaldığı belirlenmiştir. Mondal vd. (2011), tek duvarlı KNT'nin *Brassica juncea* üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar, artmış çimlenmenin yanı sıra kök ve sürgün büyümesinin arttığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte, daha yüksek tek duvarlı KNT'ye maruziyetin çimlenme oranını azalttığını bildirmişlerdir.

Yaptığımız araştırma bulgularına göre, 1000 mg/L'lik derişime maruz kalan buğday tohumlarında herhangi bir çimlenmenin olmadığı görülmüştür. Ayrıca, 500 mg/L'lik derişimde her ne kadar çimlenme ve gelişim olsa da fizyolojik analizler için yeterli miktarda biyomas elde edilememiştir. Sonuç olarak, bulgular uygulanan en yüksek derişimlerdeki karbon nanonoktaların çimlenmeyi inhibe ettiğini göstermiştir. Bunun nedeni, su alımının engellenmesi yani fizyolojik stres (ozmotik stres), giberillik asit ve/veya çimlenme esnasında rol oynayan baskılanması enzimlerin baskılanması olabilir. Bunun nedeninin belirlenmesi için ileri çalışmalara ihtiyaç vardır.

Yapılan çalışmalarla C-noktaların bitkiler tarafından absorblandığı doğrulanmıştır (Qu vd., 2012; Xu vd., 2014). Ayrıca, elektron ve floresans mikroskopik analizleri ile buğday köklerinin içine girdikleri de kanıtlanmıştır (Tripathi ve Sarkar, 2015). Ancak, C-noktalarının bitkiler tarafından alımın araştırmaları hala başlangıç aşamasındadır. Bunların doku ve hücrelerde dağılımları hakkında önemli bilgi açığı çıkmıştır. Ayrıca, önceki çalışmalarda C-noktaları sadece fasulye sürgünlerinde veya bitki köklerinde gözlenmiştir; yapraklara daha fazla taşınıp taşınamayacakları konusu

ise halen gizemli kalmaktadır. Mısırdaki, C-noktaları ile muamele edilmiş mısırların maruz kalma sürecinde fenotipik değişiklikler gözlenmiştir (Chen vd., 2016).

Birçok çalışmada karbon nano partiküllere bitkilerin maruziyetinden kaynaklı olumlu etkiler bildirmesine rağmen, çalışmaların çoğunun yapay büyüme ortamlarında yüksek düzeyde KNT maruziyeti olan kısa süreli çalışmalara odaklandığı not edilmiştir. C-noktalarının bitkilerdeki etkileri ve potansiyel mekanizmaları hakkında fenotipik ve fizyolojik seviyelerde halen daha fazla araştırmaya gerek vardır. Ek olarak, bitkilerde TNM'lerin alımını ve taşınmasını araştırmak çok önemlidir. Çünkü bitki tarafından alınması TNM'lerin gıda zincirinde biyolojik olarak birikmesi için potansiyel bir yoldur. KNM'lere maruz kalmasının, bitki veriminin artmasından akut sitotoksisteye kadar olan karışık etkilerini ortaya koymuştur. Büyüme ve verim durumu türden türe değişmekte ve uygulanan KNM'lerin dozajına bağlı olmaktadır. Bitkilerin KNM'lere maruz kalması ve etkileşimleri, KNM'lerin büyüklüğü, tipi, şekli, yükü, kimyasal bileşimi, reaktivitesi, yüzey kaplaması ve dozu da dahil olmak üzere özelliklerine bağlı olarak seçilen bitki türlerinde çeşitli fizyolojik değişikliklere neden olabilmektedir. Belirli bir KNM türünün etkinliği bitkiden bitkiye değişir ve KNM-bitki etkileşimlerinin sonucu (önemsiz, faydalı, zıt) her zaman konsantrasyona bağlıdır. Çoğunlukla, KNM tiplerine bağlı olarak, bunların konsantrasyonu, maruziyet süresi, maruz kalan bitki türleri ve büyüme koşullarına bağlı olarak, artan araştırma raporları bitkiler üzerine zıt etkisi olduğu kadar faydalı etkisi olduğunu da göstermiştir. (Khot vd., 2012).

Yedi gün boyunca, farklı sentezlenmiş karbon nano nokta derişimlerinin etkisinde yetiştirdiğimiz buğday fide organlarında bazı fizyolojik değişimler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, uygulanan karbon nano nokta derişimleri kök ve sürgünlerin toplam karbonhidrat içeriğinde artışa neden olmuştur. Sürgünlerin toplam karbonhidrat içeriği kökle karşılaştırıldığında daha az artış göstermiştir. Benzer olarak, karbon nano nokta derişimleri buğday kök ve sürgünlerin protein içeriklerinde de artışa neden olmuştur. Literatürde bitkilerde karbon nano partikül uygulamasının protein ve karbonhidrat içeriğinin artışı gösteren çalışmaların olması sonuçlarımızla uyum göstermiştir (Tripathi vd. 2017; Wang vd., 2018).

Stres koşulları altında bitkilerin fenolik bileşik miktarlarında artışlar meydana geldiği rapor edilmiştir (Minh vd., 2016). Buğday fide organlarının toplam fenolik madde içerikleri uygulanan karbon nano nokta derişimlerinin etkisinde arttığı bulunmuştur. Bununla birlikte, sülfidril bileşikleri olumsuz şartlarda meydana gelen serbest radikallerle reaksiyona girerek enzimlerin SH gruplarının okside olmasına engel olur (Foyer, 1993). Fide organlarının protein olmayan sülfidril grup miktarları uygulanan karbon nano nokta derişimlerinin etkisinde arttığı belirlenmiştir. Köklerin protein olmayan SH grup miktarları %84,2' kadar önemli düzeyde arttığı bulunmuştur. Sürgünlerin dokularının protein olmayan SH grup miktarlarının ise %155,6 düzeyine kadar artış gösterdiği belirlenmiştir. Bitkilerin hasarlanma ve birçok çevresel stres durumlarında fenolik bileşiklerinin ve protein olmayan SH grup miktarlarında artışların olduğu bilindiğinden, uygulanan karbon nano nokta derişimlerinin bunların düzeyindeki artışlara neden olması, bu bileşiklerin strese karşı koymada rollerinin olabileceğini göstermesi bakımından önemlidir.

Yaptığımız çalışmada, uygulanan karbon nano nokta derişimlerinin oksidatif strese neden olup olmadığını belirlemek için kantitatif hidrojen peroksit ve MDA analizleri ise oksidatif stresin histokimyasal olarak belirlenmesi için kalitatif analizler yapılmıştır. Oksidatif stres, özellikle reaktif oksijen türlerinin (ROT) üretimindeki bir artışa neden olan, oksidatif ve antioksidan sistemler arasında bir dengesizliğe yol açan yıkıcı bir süreçtir. Bu durum biyolojik makromoleküllerin oksidatif modifikasyonuna, doku hasarına ve hızlandırılmış hücresel ölüme neden olabilmektedir (Trevisan vd., 2001). H_2O_2 zararlı oksijen türlerinden biridir ve bitkilerde peroksizomlarda fotorespirasyonda, mitokondride elektron taşıma sırasında, kloroplastlarda Mehler reaksiyonu ile meydana gelebilmektedir. Bir başka oluşum yolu da H_2O_2 hücre zarına yerleşmiş NADPH oksidaz ile enzimatik yoldur (Slesak vd., 2007). Yapılan analizlere göre, buğday organlarının hücrelerinde hidrojen peroksit içeriklerinde 100 mg/L'ye kadar önemli bir değişim belirlenmemiştir. Bunun aksine, kök ve sürgünlerin hidrojen peroksit içerikleri 250 mg/L'lik derişimde kontrollerine göre sırasıyla %76,4 ve %62,8 düzeylerinde artış gösterdiği tespit edilmiştir. Stress durumunda, hücrelerde ROT birikimi genellikle oksidatif strese neden olarak proteinlere, lipitlere, karbonhidratlara ve DNA'ya zarar verebilmektedir (Gill ve Tuteja, 2010). Strese maruziyet sonucu oluşan ROT'ların membranlarda lipid peroksidasyonuna neden olarak membran hasarına yol açtığı

bilinmektedir (Kendall ve McKersie, 1989). Memranlardaki lipid peroksidasyonunun en karakteristik göstergelerinden biri de MDA'dır. Uygulanan nano nokta derişimlerinin buğday kök ve sürgünlerin MDA içeriklerini önemli düzeyde arttığı bulunmuştur. Uygulanan karbon nano nokta derişimlerinin oksidatif strese neden olup olmadıkları histokimyasal analizler ile kalitatif olarak da belirlenmiştir. özellikle yüksek derişimlerde Schiff reaktifi ve Evans Blue ile köklerde boyanmanın olması, lipid peroksidasyonu ve membran integritesinin değiştiğini açıkça göstermesi bakımından önemlidir. Chen vd. (2016) özellikle yüksek derişimdeki karbon nano noktaların mısır bitkisinde oksidatif strese neden olduğu artan hidrojen peroksit ve lipid peroksidasyon düzeyi ile açıklamıştır. Sonuç olarak, bulgularımıza göre, hem hidrojen peroksit hem de MDA düzeyindeki artışların bulunması, özellikle yüksek karbon nano noktaların oksidatif stresi tetiklediği ve lipid peroksidasyonuna sebebiyet verdiğini açıkça göstermiştir.

Bu çalışmada, sentezlenmiş nano karbon noktaların, ülkemize ekimi yapılan ekmeklik buğday çeşitlerinden *T. aestivum* L. cv. Golia'daki fizyolojik ve histokimyasal etkileri belirlenmiştir. Sonuçta uygulanan karbon nano nokta derişimleri buğday fidelerinde fizyolojik ve biyokimyasal değişimlere neden olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yüksek derişimlerin de bitkide strese neden olduğu kantitatif ve kalitatif olarak açıkça tespit edilmiştir. Ancak bu bulguların doğal koşullara uygunluğu bilinmemektedir. Ancak karbon nano partiküllerin bitki türleri arasındaki etkilerinin daha iyi bilinmesi için daha ileri araştırmalara ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

Adeleye, A. S., Conway, J. R., Garner, K., Huang, Y., Su, Y., Kell, A. A. (2016). Engineered Nanomaterials for Water Treatment and Remediation: Costs, Benefits, and Applicability. *Chemical Engineering Journal*, **286**, 640-662.

American Society for Testing and Materials (2006). *Standard Terminology Relating to Nanotechnology*, E2456-06. ASTM International, www.Astm.Org, West Conshohocken, PA.

Anand, A., Unnikrishnan, B., Wei, S., Chou, C., Zhang, L., Huang, C. (2018). Graphene Oxide and Carbon Dots as Broad-Spectrum Antimicrobial Agents—A Minireview. *Nanoscale Horizons*, 1–22.

Ashmi, M., Sunil, P., Sachin, S., Neeraj, M., Goldie, O., Mukeshchand, T., Maheshwar, S., Madhuri, S. (2013). Green Synthesis of Biocompatible Carbon Dots Using Aqueous Extract of *Trapa Bispinosa* Peel. *Materials Science and Engineering: C*, **33(5)**, 2914-2917.

Asli, S, Neumann, P. M. (2009). Colloidal Suspensions of Clay or Titanium Dioxide Nanoparticles can Inhibit Leaf Growth and Transpiration Via Physical Effects on Root Water Transport. *Plant, Cell and Environment*, **32**, 577–84.

Avanasi, R., Jackson, W. A., Sherwin, B., Mudge, J. F., Anderson, T. A. (2014). C60 Fullerene Soil Sorption, Biodegradation, and Plant Uptake. *Environmental Science Technology*, **48**, 2792–2797.

Baker, SN., Baker, GA. (2010). Luminescent Carbon Nanodots: Emergent Nanolights. *Angewandte Chemie International Edition*, **49(38)**, 6726–6744.

Barrena, R., Casals, E., Colan, J., Font, X., Sanchez, A., Puentes, V. (2009). Evaluation of The Ecotoxicology of Model Nanoparticles. *Chemosphere*, 850–7.

- Batley, G. E., Kirby, J. K., Mclaughlin, M. J. (2013). Fate and Risks of Nanomaterials in Aquatic and Terrestrial Environments. *Accounts of Chemical Research*, **46**, 854–62.
- Battke, F., Leopold, K., Maier, M., Schmidhalter, U., Schuster, M. (2009). Palladium Exposure of Barley: Uptake and Effects. *Plant Biology*, **10**, 272–6.
- Bennett, S. W., Adeleye, A., Ji, Z., Keller, A. A. (2013). Stability, Metal Leaching, Photoactivity and Toxicity In Freshwater Systems of Commercial Single Wall Carbon Nanotubes. *Water Research*, **47**, 4074–4085.
- Bhawana, P., Fulekar, M. H. (2012). Nanotechnology: Remediation Technologies to Clean Up The Environmental Pollutants. *Research Journal of Chemical Sciences*, **2(2)**, 90-96.
- Burke, K. (2007). The Abc of Dft. Department of Chemistry, University of California, Irvine, Ca 92697.
- Canas, J. E., Long, M., Nations, S., Vadan, R., Dai, L., Luo, M. (2008). Effects of Functionalized and Nonfunctionalized Single-Walled Carbon Nanotubes on Root Elongation of Select Crop Species. *Environmental Toxicology Chemistry*, **27**, 1922–1931.
- Cano, A. M., Kohl, K., Deleon, S., Payton, P., Irin, F., Saed, M., Shah, S. A., Green, M. J., Caneas-Carrell, J. E. (2016). Determination of Uptake, Accumulation, and Stress Effects in Corn (*Zea Mays* L.) Grown in Single-Wall Carbon Nanotube Contaminated Soil. *Chemosphere*, **152**, 117-122.
- Cao, L., Yang, S. T., Wang, X., Luo, P. G., Liu, J. H., Sahu, S. (2012). Competitive Performance of Carbon “Quantum” Dots In Optical Bioimaging. *Theranostics*, **2**, 295–301.
- Capelle, K. (2006). A Bird's-Eye View of Density-Functional Theory, *Brazilian Journal of Physics*, **36(4a)**, 1318-1343.
- Caruthers, S. D., Wickline, S. A., Lanza, G. M. (2007). *Current Opinion Biotech.* **18**, 26.

- Chen, J., Dou, R., Yang, Z., Wang, X., Mao, C., Gao, X., Wang, L. (2016). The Effect and Fate of Water-Soluble Carbon Nanodots in Maize (*Zea Mays* L.). *Nanotoxicology*, **10(6)**, 818-828.
- Chichiricco, G., Poma, A. (2015). Penetration and Toxicity of Nanomaterials In Higher Plants. *Nanomaterials*, **5**, 851-873.
- Colvin, V. L. (2003). The Potential Environmental Impact of Engineered Nanomaterials. *Nature Biotechnology*, **21(10)**, 1166-70.
- Das, S., Sen, B., Debnath, N. (2015). Recent Trends in Nanomaterials Applications in Environmental Monitoring and Remediation. *Environmental Science Pollution Research International*, **22(23)**, 18333-44.
- Dietz, K. J., Herth, S. (2011). Plant Nanotoxicology. *Trends in Plant Science*, **16**, 582–589.
- Ding, C., Zhu, A., Tian, Y. (2014). Functional Surface Engineering Of C-Dots For Fluorescent Biosensing And In Vivo Bioimaging. *Accounts of Chemical Research*, **47(1)**, 20–30.
- Ding, H., Ji, Y., Wei, J., Gao, Q., Zhou, Z., Xiong, H. (2017). Facile Synthesis of Red-Emitting Carbon Dots From Pulp-Free Lemon Juice For Bioimaging. *Journal of Materials Chemistry B*, **5**, 5272–5277.
- Dong, Y., Cai, J., You, X., Chi, Y. (2015). Sensing Applications of Luminescent Carbon Based Dots. *Analyst*, **140**, 7468–7486.
- Doshi, R., Braidia, W., Christodoulatos, C., Wazne, M., O'Connor, G. (2008). Nano-Aluminum: Transport Through Sand Columns and Environmental Effects on Plants and Soil Communities. *Environmental Research*, **106**, 296–303.
- Du, Y., Guo, S. (2016). Chemically Doped Fluorescent Carbon and Graphene Quantum Dots for Bioimaging, Sensor, Catalytic and Photoelectronic Applications. *Nanoscale*, **8** (5), 2532–2543.
- Ellman, G. L. (1959). Tissue sulphydryl groups. *Archives Biochemistry and Biophysics*, **82**, 70-77.

- Falahi, H., Abbasi, A. M. (2013). Evaluate The Effectiveness of Nanotechnology In Sustainable Control of Air Pollution and Reducing Emissions. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, **3(S)**, 3904-3906.
- Feng, Y., Zhong, D., Miao, H., Yang, X. (2015). Carbon Dots Derived From Rose Flowers for Tetracycline Sensing. *Talanta*, **140**, 128–133.
- Foyer, C. H. (1993). Interactions Between Electron Transport and Carbon Assimilation in Leaves: Coordination of Activities and Control. in Photosynthesis: Photoreactions to Plant Productivity. *Springer, Dordrecht*, **199**, 224.
- Gao, W., Song, H., Wang, X., Liu, X., Pang, X., Zhou, Y., Gao, B., Peng, X. (2017). Carbon Dots With Red Emission for Sensing of Pt²⁺, Au³⁺, and Pd²⁺ and Their Bioapplications in Vitro and in Vivo. *ACS Applied Materials Interfaces*, **10**, 1147–1154.
- Gao, Y., Chen, K., Ma, J., Gao, F. (2014). Cerium Oxide Nanoparticles in Cancer. *Oncotargets Ther.* **7**, 835–840.
- Gill, S. S., Tuteja, N. (2010). Reactive Oxygen Species and Antioxidant Machinery in Abiotic Stress Tolerance in Crop Plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, **48**, 909–930.
- Gillett, S. L. (2002). Nanotechnology: Clean Energy and Resources for The Future.
- Gonçalves, H.M., Duarte, A.J., Esteves Da Silva, J.C. (2010). Optical Fiber Sensor For Hg (II) Based on Carbon Dots. *Biosens Bioelectron*, **26**, 1302–6.
- Guo, Y., Zhang, L., Zhang, S., Yang, Y., Chen, X., Zhang, M. (2015). Fluorescent Carbon Nanoparticles For The Fluorescent Detection of Metal Ions. *Biosens Bioelectron* **63**, 61–71.
- Hao, L., Jian, H., Fang, L., Yang, L., Yuxiang, S., Yuhui, S., Jun, Z., Hui, H., Yong, W., Shuiming, L., Yeshayahu, L., Shuit-Tong, L., Zhenhui, K. (2018). Impacts of Carbon Dots on Rice Plants: Boosting the Growth and Improving the Disease Resistance. *ACS Applied Bio Materials*, **1(3)**, 663-672.

Heera, P., Shanmugam, S. (2015). Nanoparticle Characterization and Application: An Overview. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, **4(8)**, 379-386.

Hochella, M. F. Jr, Madden, A. S. (2005). Earth's Nano-Compartment for Toxic Metals. *Elements*, **1**, 199-203.

Hohenberg, P., Kohn, W. (1964). "Inhomogeneous Electron Gas". *Physical Review*, **136**, B864.

Hola, K., Zhang, Y., Wang, Y., Giannelis, E. P., Zboril, R., Rogach, A. L. (2014). Carbon Dots—Emerging Light Emitters for Bioimaging, Cancer Therapy And Optoelectronics. *Nano Today*, **9(5)**, 590–603.

Hou, J., Dong, G., Tian, Z., Lu, J., Wang, Q., Ai, S., Wang, M. (2016). A Sensitive Fluorescent Sensor for Selective Determination of Dichlorvos Based on The Recovered Fluorescence of Carbon Dots-Cu (II) System. *Food Chemistry*, **202**, 81–87.

Hsieh, C. T., Lee, C. E., Chen, Y. F., Chang, J. K., Teng, H. S. (2015). Thermal Conductivity From Hierarchical Heat Sinks Using Carbon Nanotubes and Graphene Nanosheets. *Nanoscale*, **7**, 18663–70.

Hulla, J. E., Sahu, S. C., Hayes, A. W. (2015). Nanotechnology: History and Future. *Human and Experimental Toxicology*, **34(12)**, 1318-1321.

Hurt, R. H., Monthieux, M., Kane, A. (2006). Toxicology of Carbon Nanomaterials: Status, Trends, and Perspectives on The Special Issue. *Carbon*, **44**, 1028–1033.

Husen, A., Siddiqi, K.S. (2014). Phytosynthesis of Nanoparticles: Concept, Controversy and Application. *Nanoscale Res. Lett.* **9**, 229–252.

Hussain, Z., Ameer, A. A., Ahmed, A., Mudhaffar, Abdullah, B., Yousif, E. (2015). Nanotitanium Dioxide as Photocatalytic Degradation of Pollutants. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, **7(8)**, 522-530.

Hyuang, H., Fortner, J. D., Hughes, J. B., Kim, J. H. (2007). Natural Organic Matter Stabilizes Carbon Nanotubes in The Aqueous Phase. *Environmental Science and Technology*, **41**, 179–184.

Hyung, H., Kim, J. H. (2008). Natural Organic Matter (NOM) Adsorption To Multi-Walled Carbon Nanotubes: Effect of NOM Characteristics and Water Quality Parameters. *Environmental Science and Technology*, **42**, 4416–4421.

INCID. (2008). Nanotechnology: Future of Environmental Air Pollution Control. *Environmental Management and Sustainable Development*, **6**, 2.

INPI - Instituto Nacional De Propriedade Intelectual. *Nanotecnologia*, (2009). **6**.

ISO (International Organization for Standardization) (2010). ISO/DTS 80004-1 Nanotechnologies-Vocabulary- Part I: Core Terms, 16p.

Jackson, P., Jacobsen, N. R., Baun, A., Birkedal, R., Kuhnel, D., Jensen, K. A. (2013). Bioaccumulation and Ecotoxicity of Carbon Nanotubes. *Chemistry Cent. J.* **7**, 154.

Jiang, J., He, Y., Li, S., Cui, H. (2012). Amino Acids as The Source for Producing Carbon Nanodots: Microwave Assisted One-Step Synthesis, Intrinsic Photoluminescence Property and Intense Chemiluminescence Enhancement. *Chemistry Commuation*, **48**, 9634.

Kahru, A., Dubourguier, H. C. (2010). From Ecotoxicology to Nanoecotoxicology. *Toxicology*, **269**, 105–19.

Kang, Y. F., Fang, Y. W., Li, Y. H., Li, W., Yin, X. B. (2015). Nucleus-Staining With Biomolecule-Mimicking Nitrogen-Doped Carbon Dots Prepared By A Fast Neutralization Heat Strategy. *Chemical Communications*, **51(95)**, 16956–16959.

Ke, P. C., Qiao, R., Phys, J., (2007). *Condens. Matterials*, **19**, 373-101.

Keller, A. A., Mcferran, S., Lazareva, A., Suh, S. (2013). Global Life Cycle Releases of Engineered Nanomaterials. *Journal Nanoparticle Research*, **15**, 1692.

Kendall, E. J., Mckersie, B. D. (1989). Free radical and freezing injury to cell membranes of winter what. *Physiology Plant*, **76**, 86-94.

Khan, I., Farhan, M., Singh, P., Thiagarajan, P. (2014). Nanotechnology for Environmental Remediation. *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*, **5(3)**, 1916-1927.

Khan, I., Farhan, M., Singh, P., Thiagarajan, P. (2014). Nanotechnology for Environmental Remediation. *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*, **5(3)**, 1916-1927.

Khodakovskaya, M, Silva, K. D., Biris, A. S., Dervishi, E., Villagarcia, H. (2012). Carbon Nanotubes Induce Growth Enhancement of Tobacco Cells. *ACS Nano*, **6(3)**, 2128–2135.

Khodakovskaya, M. V., Kim, B. S., Kim, J. N., Alimohammadi, M., Dervishi, E., Mustafa, T., Cernigla, C. E. (2013). Carbon Nanotubes as Plant Growth Regulators: Effects on Tomato Growth, Reproductive System, and Soil Microbial Community. *Small*, **9**, 115–23.

Khodakovskaya, M., Dervishi, E., Mahmood, M., Xu, Y., Li, Z., Watanabe, F. (2009). Carbon Nanotubes are Able To Penetrate Plant Seed Coat and Dramatically Affect Seed Germination and Plant Growth. *ACS Nano*, **3(10)**, 3221–7.

Khot, L. R., Sankaran, S., Maja, J. M., Ehsani, R., Schuster, E. W. (2012). Applications of Nanomaterials in Agricultural Production and Crop Protection: A Review. *Crop Protect.* **35**, 64–70.

Kohn, W., Sham, J. L. (1965). “Self-Consistent Equations Including Exchange and Correlation Effects”. *Physical Review*, **140**, A1133.

Kong, X., Yang, B., Xiong, H., Zhou, Y., Xue, S., Xu, B., Wang, S. (2014). Selective Removal of Heavy Metal Ions From Aqueous Solutions With Surface Functionalized Silica Nanoparticles By Different Functional Groups. *Journal Central South Universite*, **21**, 3575–3579.

- Krug, H. F. (2009). Book Review Nanotechnology, Volume 2: Environmental Aspects, Chapter 9: Epidemiological Studies on Particulate Air Pollution. *Environmental Engineering and Management Journal*, **8(1)**, 191-194.
- Kumar, A., Singh, A., Panigrahy, M., Sahoo, P.K., Panigrahi, K.C. (2018). Carbon Nanoparticles Influence Photomorphogenesis and Flowering Time in Arabidopsis Thaliana. *Plant Cell Reports*, **37**, 901–912.
- Lahiani, M. H., Chen, J., Irin, F., Puretzky, A. A., Green, M. J., Khodakovskaya, M. V. (2015). Interaction of Carbon Nanohorns With Plants: Uptake and Biological Effects. *Carbon*, **81**, 607–619.
- Lahiani, M. H., Dervishi, E., Chen, J., Nima, Z., Gaume, A., Biris, A. S., Khodakovskaya, M. V. (2013). Impact of Carbon Nanotube Exposure To Seeds Of Valuable Crops. *ACS Applied Materials Interfaces*, **5(16)**, 7965-7973.
- Lee, C. W., Mahendra, S., Zodrow, K., Li, D., Tsai, Y. C., Braam, J. (2010). Developmental Phytotoxicity of Metal Oxide Nanoparticles To Arabidopsis Thaliana. *Environmental Toxicology Chemistry*, **29(3)**, 669–75.
- Lee, C., Sedlak, D. L. (2008). Enhanced Formation of Oxidants From Bimetallic Nickel–Iron Nanoparticles in The Presence of Oxygen. *Environmental Science Technology*, **42(22)**, 8528–33.
- Lei, C., Zhao, X., Jiao, S., He, L., Li, Y., Zhu, S., You, J. (2016). A Turn-On Fluorescent Sensor for Detection of Melamine Based on The Anti-Quenching Ability Of Hg²⁺ To Carbon Nanodots. *Analytical Methods*, **8**, 4438–4444.
- Li, W., Zhang, Z., Kong, B., Feng, S., Wang, J., Wang, L., Yang, J., Zhang, F., Wu, P., Zhao, D. (2013). Simple and Green Synthesis of Nitrogen-Doped Photoluminescent Carbonaceous Nanospheres for Bioimaging. *Angewand Chemie International Edition*, **52(31)**, 8151–8155.
- Li, X., Zhang, S., Kulinich, S. A., Liu, Y., Zeng, H. (2014). Engineering Surface States of Carbon Dots To Achieve Controllable Luminescence For Solid-Luminescent Composites And Sensitive Be²⁺ Detection. *Scientific Reports*, **4**, 4976.

- Li, X., Zhou, Z., Lu, D., Dong, X., Xu, M., Wei, L., Zhang, Y. (2014). The Effect of Pristine Carbon-Based Nanomaterial on The Growth of Green Gram Sprouts And Ph of Water. *Nanoscale Research Letters*, **9**, 583.
- Li, Y., Xu, X., Wu, Y., Zhuang, J., Zhang, X., Zhang, H., Lei, B., Hu, C., Liu, Y. (2019). A Review on The Effects of Carbon Dots In Plant Systems. *Materials Chemistry*.
- Liang, Q., Ma, W., Shi, Y., Li, Z., Yang, X. (2013). Easy Synthesis of Highly Fluorescent Carbon Quantum Dots From Gelatin and Their Luminescent Properties and Applications. *Carbon*, **60**, 421-428.
- Lin, D., Xing, B. (2007). Phytotoxicity of Nanoparticles: Inhibition of Seed Germination and Root Growth. *Environmental Pollution*, **150**, 243–50.
- Lin, D., Xing, B. (2008). Root Uptake and Phytotoxicity of Zn Nanoparticles. *Environmental Science Technology*, **42**, 5580–5.
- Lin, J., Chen, X., Peng, H., (2016). Graphene-Based Nanomaterials for Bioimaging. *Advanced Drug Delivery Reviews*, **105**, 242–254.
- Lin, L., Rong, M., Luo, F., Chen, D., Wang, Y., Chen, X. (2014). Luminescent Graphene Quantum Dots as New Fluorescent Materials for Environmental and Biological Applications. *Trac Trends in Analytical Chemistry*, **54**, 83–102.
- Lin, S., Reppert, J., Hu, Q., Hunson, J. S., Reid, M. L., Ratnikova, T. (2009). Uptake, Translocation and Transmission of Carbon Nanomaterials in Rice Plants. *Small*, 1128–32.
- Liu, C., Zhang, P., Zhai, X., Tian, F., Li, W., Yang, J., Liu, Y., Wang, H., Wang, W., Liu, W. (2012). Nano-Carrier For Gene Delivery And Bioimaging Based on Carbon Dots With PEI-Passivation Enhanced Fluorescence. *Biomaterials*, **33(13)**, 3604–3613.
- Liu, H., Ye, T., Mao, C. (2007). Fluorescent Carbon Nanoparticles Derived From Candle Soot. *Angewandte Chemie International Edition*, **46(34)**, 6473–6475.

Liu, L., Li, Y., Zhan, L., Liu, Y., Huang, C. (2011). One-Step Synthesis of Fluorescent Hydroxyls-Coated Carbon Dots With Hydrothermal Reaction and Its Application To Optical Sensing of Metal Ions. *Science China Chemistry*, **54** (8), 1342–1347.

Liu, Q., Chen, B., Wang, Q., Shi, X., Xiao, Z., Lin, J., Fang, X., (2009). Carbon Nanotubes as Molecular Transporters for Walled Plant Cells. *Nano Letter*, **9**(3), 1007-10.

Liu, S., Tian, J., Wang, L., Zhang, Y., Qin, X., Luo, Y., Asiri, A. M., Al-Youbi, A. O., Sun, X. (2012). Hydrothermal Treatment of Grass: A Low-Cost, Green Route to Nitrogen-Doped, Carbon-Rich, Photoluminescent Polymer Nanodots as An Effective Fluorescent Sensing Platform For Label-Free Detection of Cu (II) Ions. *Advanced Materials*, **24**(15), 2037–2041.

Logothetidis, S. (2012). Nanostructured Materials and Their Applications. *Nanoscience and Technology, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany*, 220.

Loos, M. (2015). Carbon Nanotube Reinforced Composites, Chapter 1-Nanoscience and Nanotechnology. *William Andrew Publishing, Oxford*, 1-36.

Lowry, O. H., Rosebrought, N. J., Farr, A. L., Randall, R. J. (1951) Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal Biology Chemistry*, **193**, 265-275.

Lu, C. M., Zhang, C.Y., Wen, J. Q., Wu, G. R., Tao, M. X. (2002). Research of The Effect of Nanometer Materials on Germination and Growth Enhancement of Glycine Max and Its Mechanisms. *Soybean Science*, **21**, 168–72.

Lu, W., Qin, X., Liu, S., Chang, G., Zhang, Y., Luo, Y., Asiri, A. M., Al-Youbi, A. O., Sun, X. (2012). Economical, Green Synthesis of Fluorescent Carbon Nanoparticles and Their Use as Probes for Sensitive and Selective Detection Of Mercury (II) Ions. *Analytical Chemistry*, **84**(12), 5351–5357.

Luo, P. G., Sahu, S., Yang, S. T., Sonkar, S. K., Wang, J., Wang, H., Lecroy, G. E., Cao, L., Sun, Y. P. (2013). Carbon “Quantum” Dots For Optical Bioimaging. *Journal of Materials Chemistry B*, **1**(16), 2116–2127.

Maynard, A. D. Aitken, R. J. Butz, T. Colvin, V. Donaldson, K. Oberdorster, G. Philbert, M. Ryan, A. J. Seaton, A. Stone, V. Tinkle, S. S. Tran, L. Walker, N. J. Warheit, D. B. (2006). *Nature*, **444**, 267.

McMichael, A. J., Campbell-Lendrum, D. H., Corvalán, C. F., Ebi, K. L., Githeko, A. K., Scheraga, J. D. (2003). Climate Change and Human Health: Risks and Responses. World Health Organization, Geneva, Chapter 2. Weather and Climate: *Changing Human Exposures*, 18-42.

Miao, X., Yan, X., Qu, D., Li, D., Tao, F., Sun, Z. (2017). Red Emissive Sulfur, Nitrogen Codoped Carbon Dots and Their Application in Ion Detection and Theraonostics. *ACS Applied Materials Interfaces*, **9**, 18549–18556.

Mohajeri, M., Behnam, B., Sahebkar, A., (2019). Biomedical Applications Of Carbon Nanomaterials: Drug and Gene Delivery Potentials. *Journal of Cellular Physiology*, **243**, 298–319.

Mueller, N. C., Buha, J., Wang, J., Ulrich, A., Nowack, B. (2013). Modeling The Flows of Engineered Nanomaterials During Waste Handling. *Environmental Science*, **15**, 251–259.

Mukherjee, P. K. (2016). Nanomaterials: Materials With Immense Potential. *Journal of Applicable Chemistry*, **5(4)**, 714-7181.

Nair, P. M. G., Chung, I. M. (2014) . Physiological and Molecular Level Effects of Silver Nanoparticles Exposure in Rice (*Oryza Sativa* L.) Seedlings. *Chemosphere*, **112**, 105–13.

Nair, R., Mohamed, M. S., Gao, W., Maekawa, Toru., Yoshida, Y., Ajayan, M. P., Kumar, D. S. (2012). Effect of Carbon Nanomaterials on The Germination And Growth of Rice Plants. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, **12**, 1–9.

Nanowerk. (2013). Nanotechnology in Sports Equipment: The Game Changer. Available at <http://www.Nanowerk.Com/Spotlight/Spotid=30661>.

Navarro, D. A., Bisson, M. A., Aga, D. S. (2012). Investigating Uptake of Waterdispersible Cdse/Zns Quantum Dot Nanoparticles By Arabidopsis Thaliana Plants. *Journal of Hazardous Materials*, **211–212**, 427–35.

Nel A, Xia T, Madler L, Li N. (2006). Toxic Potential of Materials At The Nanolevel. *Science*, **311**, 622–7.

Niazi, J. H., Verma, S. K., Niazi, S., Qureshi, A. (2015). In Vitro HER2 Protein-Induced Affinity Dissociation of Carbon Nanotube-Wrapped Anti-HER2 Aptamers for HER2 Protein Detection. *Analyst*, **140**, 243–249.

Nowack, B., David, R. M., Fissan, H., Morris, H., Shatkin, J. A., Stintz, M. (2013). Potential Release Scenarios For Carbon Nanotubes Used In Composites. *Environment International*, **59**, 1–11.

Onelli, E., Prescianotto-Baschong, C., Caccianiga, M., Moscatelli, A. (2008). Clathrin-Dependent and Independent Endocytic Pathways in Tobacco Protoplasts Revealed By Labelling With Charged Nanogold. *Journal of Experimental Botany*, **59**, 3051–3068.

Paolo, G., Stefano, B., Nicola, B., Matteo, Calandra., Roberto, C., Carlo, Cavazzoni., Davide, Ceresoli., Guido, L. Chiarotti., Matteo, Cococcioni., Ismaila, D. (2009). QUANTUM ESPRESSO: A Modular and Open-Source Software Project for Quantum Simulations of Materials. *Journal of Physics: Condensed Matter*, **21**, 39.

Pathak, A., Rasto, S. (2007). Theoretical Infrared Spectra of Large Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, **67**, 898-909.

Peter E. B. (1994). Projector Augmented-Wave Method. *Physical Review B*, **50(24)**, 17953.

Petersen, E. J., Zhang, L., Mattison, N. T., O'carroll, D. M., Whelton, A. J., Uddin, N. (2011). Potential Release Pathways, Environmental Fate, And Ecological Risks of Carbon Nanotubes. *Environmental Science Technology*, **45**, 9837–9856.

Plummer, D. T. (1998). An introduction to Practical Biochemistry. Third edition. Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd., New Delhi.

Pokhrel, L. R., Dubey, B. (2013). Evaluation of Developmental Responses of Two Crop Plants Exposed to Silver and Zinc Oxide Nanoparticles. *Science of The Total Environment*, **452–453**, 321–32.

Poma, A., Colafarina, S., Fontecchio, G., Chichiricò, G. (2014). Transgenerational Effects of Nms. In Nanomaterials, Impacts on Cell Biology and Medicine; Capco, D., Chen, Y. Springer Science And Business Media: Dordrecht, Germany, **811**, 235–254.

Qiu, W., Xu, H., Takalkar, S., Gurung, A. S., Liu, B., Zheng, Y. (2015). Carbon Nanotube-Based Lateral Flow Biosensor for Sensitive and Rapid Detection of DNA Sequence. *Biosens Bioelectron*, **64**, 367–72.

Qu, J., Wei, Q., Sun, D. (2018). Carbon Dots: Principles And Their Applications In Food Quality and Safety Detection. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–10.

Qu, S., Wang, X., Lu, Q., Liu, X., Wang, L. (2012). A Biocompatible Fluorescent Ink Based on Water-Soluble Luminescent Carbon Nanodots. *Angewand Chemie International Edition England*, **51**, 12215–18.

Ramsden, J. J. (2013). The Nanotechnology Industry. *Nanotechnology Perceptions*, **9**, 102-118.

Ratkevicius, N., Correa, J. A., Moenne, A. (2003). Departamento de Biología, Facultad de Química y Biología. Universidad de Santiago de Chile, casilla 40 correo 33, Santiago, Chile and Departamento de Ecología & Center for Advanced Studies in Ecology and Biodiversity, Facultad de Ciencias 54 Biológicas, Pontificia Universidad Católica de Chile, casilla 114-D, Santiago, Chile, **26(10)**, 1599-1608.

Ribas, M. A., Singh, A. K., Sorokin, P. B., Yakobson, B. I. (2011). Patterning Nanoroads and Quantum Dots on Fluorinated Graphene. *Nano Research*, **4(1)**, 143-152.

Sahu, S., Behera, B., Maiti, T., Mohapatra, S. (2012). Simple One-Step Synthesis of Highly Luminescent Carbon Dots From Orange Juice: Application As Excellent Bio-Imaging Agents. *Chemical Communications*, **48**, 8835–8837.

Sattler, K. D. (2010). Handbook of Nanophysics, Principles and Methods, CRC, New York, 1-23.

Sawhney, A. P. S., Condon, B., Singh, K. V., Pang, S. S., Li, G., Hui, D. (2008). Modern Applications Of Nanotechnology in Textiles. *Textile Research Journal*, **78**, 731.

Saxena, M., Maity, S., Sarkar, S., (2014). Carbon Nanoparticles in ‘Biochar’ Boost Wheat (*Triticum aestivum*) Plant Growth. *RSC Advances*, **4**, 39948–39954.

Scientific Committee On Emerging and Newly Identified Health Risk (2007). The Appropriateness of The Risk Assessment Methodology in Accordance With The Technical Guidance Documents For New and Existing Substances for Assessing The Risks of Nanomaterials. *Brussels, Belgium: European Commissions*, (2007).

Seeger, E. M., Baun, A., Kanstner, M., Trapp, S. (2009). Insignificant Acute Toxicity of Tio₂ Nanoparticles to Willow Trees. *Journal of Soils and Sediments*, **9**, 46–53.

Sergieff L., Alexieva E., Karanov E., (1997). Effect of spermine, atrazine and combination between them on some endogenous protective systems and markers in plants. *Comptes Rendus Academie Bulgare des Sciences*, **51**, 121- 124.

Shang, J. Ratnikova, T. A. Anttalainen, S. Salonen, E. Ke, P. C. Knap, H. T. (2009). Experimental and Simulation Studies of A Real-Time Polymerase Chain Reaction in The Presence of A Fullerene Derivative. *Nanotechnology*, **20**, 415101.

Shen, J., Zhu, Y., Yang, X., Li, C. (2012). Graphenequantum Dots: Emergent Nanolights for Bioimaging, Sensors, Catalysis and Photovoltaic Devices. *Chemical Communications*, **48(31)**, 3686–3699.

Sholl, S. D., Steckel, A. J. (2009). Density Functional Theory: A Practical Introduction, First Edition; Çevirenler: Aydın, S. Körözlü, N. (2012). Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi: Pratik Bir Giriş, Nobel Yayınları, Ankara.

Slesak, I., Libik, M., Karpinska, B., Karpinski, S., Miszalski, Z. (2007). The Role of Hydrogen Peroxide in Regulation of Plant Metabolism and Cellular Signalling in Response to Environmental Stresses. *Acta Biochimica Polonica-English Edition*, **54**, 39.

Song Y, Feng D, Shi W, Li X, Ma H. (2013). Parallel Comparative Studies on The Toxic Effects of Unmodified Cdte Quantum Dots, Gold Nanoparticles, and Carbon Nanodots on Live Cells as Well as Green Gram Sprouts. *Talanta*, **116**, 237–44.

Sri, Sindhura, K., Selvam, P. P., Prasad, TNVKV., Hussain, O. M. (2014). Fitojenik Çinko Nanopartiküllerin Toprak Ekzo Enzimleri Üzerindeki Etkisinin Sentezi, Karakterizasyonu ve Değerlendirilmesi. *Application Nanoscience*, **4**, 819–827.

Srivastava, V., Gusain, D., Sharma, Y. C. (2015). Critical Review on The Toxicity of Some Widely Used Engineered Nanoparticles. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **54(24)**, 6209-6233.

Stephan, E., Jonas, M., Werner, R., Thomas, B., Stefan, G. (2011). System-Dependent Dispersion Coefficients For The DFT-D3 Treatment of Adsorption Processes on Ionic Surfaces. *Chemphyschem*, **12**, 3414 – 3420.

Subbiah, R., Veerapandian, M., Yun, K.S. (2010). Nanoparticles: Functionalization And Multifunctional Applications in Biomedical Sciences. *Current Medicinal Chemistry*, **17**, 4559–4577.

Sun, H., Wu, L., Wei, W., Qu, X. (2013). Recent Advances in Graphene Quantum Dots for Sensing. *Materialstoday*, **16 (11)**, 433–442.

Sun, T. Y., Gottschalk, F., Hungerbühler, K., Nowack, B. (2014). Comprehensive Probabilistic Modelling of Environmental Emissions of Engineered Nanomaterials. *Environmental Pollution*, **185**, 69–76.

Sun, Y. P., Zhou, B., Lin, Y., Wang, W., Fernando, K. A. S., Pathak, P., Mezziani, M. J., Harruff, B. A., Wang, X., Wang, H., Luo, P. G., Yang, H., Kose, M. E., Chen, B., Veca, L. M., Xie, S. Y. (2006). Quantum-Sized Carbon Dots for Bright and Colorful Photoluminescence. *American Chemical Society*, **128 (24)**, 7756–7757.

Tan, X. M., Lin, C., Fugetsu, B. M. (2009). Studies on Toxicity of Multiwalled Carbon Nanotubes on Suspension Rice Cells. *Carbon*, **47**, 3479–3487.

Taylor, A. F., Rylott, E. L., Anderson, C. W. N., Bruce, N. C. (2014). Investigating The Toxicity, Uptake, Nanoparticle Formation and Genetic Response of Plants to Gold. *Plos One*, **9**, 93793.

Tertiş, M., Florea, A., Feier, B., Marian, I. O., Silaghi-Dumitrescu, L., Cristea, A. (2015). Electrochemical Impedance Studies on Single and Multiwalled Carbon Nanotubes-Polymer Nanocomposites for Biosensors Development. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, **15**, 3385–93.

The National Science and Technology Council (2004). National Science and Technology Council.

Tiwari, D. K., Dasgupta-Schubert, N., Villaseñor Cendejas, L. M., Villegas, J., Carreto Montoya, L., Borjas García, S. E. (2013). Interfacing Carbon Nanotubes (CNT) With Plants: Enhancement of Growth, Water and Ionic Nutrient Uptake in Maize (*Zea Mays*) and Implications for Nanoagriculture. *Applied Nanoscience*, **4**, 577–591.

Tonelli, F. M., Goulart, V. A., Gomes, K. N., Ladeira, M. S., Santos, A. K., Lorencon, E., (2015). Graphene-Based Nanomaterials: Biological and Medical Applications and Toxicity. *Nanomedicine*, **10**, 2423–50.

Treuel, L., Eslahian, K.A., Docter, D., Lang, T., Zellner, R., Nienhaus, K., Nienhaus, G.U., Stauber, R.H., Maskos, M. (2014). Physicochemical Characterization of Nanoparticles and Their Behavior in The Biological Environment. *Physical Chemistry Chemical Physics*, **16**, 15053–15067.

Trevisan, M., Browne, R., Ram, M., Muti, P., Freudenheim, J., Carosella, A. M. (2001). Armstrong, D. Correlates of Markers of Oxidative Status in The General Population. *American Journal of Epidemiology*, **154**, 348–356.

Tripathi, K. M., Bhati, A., Singh, A., Sonker, A. K., Sarkar, S., Sonkar, S. K.(2017). Sustainable Changes in The Contents of Metallic Micronutrients in First Generation

Gram Seeds Imposed By Carbon Nano-Onions: Life Cycle Seed to Seed Study. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, **5**, 2906–2916.

Tripathi, S., Sarkar, S. (2014). Influence of Water Soluble Carbon Dots on The Growth of Wheat Plant. *Applied Nanoscience*, **5**, 609–616.

Tripathi, S., Sarkar, S. (2015). Influence of Water Soluble Carbon Dots on The Growth of Wheat Plant. *Applied Nanoscience*, **5**, 609–16.

Tripathi, S., Sonkar, S.K., Sarkar, S. (2011) Growth Stimulation of Gram (*Cicer Arietinum*) Plant By Water Soluble Carbon Nanotubes. *Nanoscale*, **3**, 1176–1181.

Verma, S.K., Das, A.K., Patel, M.K., Shah, A., Kumar, V., Gantait, S. (2018). Engineered Nanomaterials for Plant Growth and Development: A Perspective Analysis. *Science of The Total Environment*, **630**, 1413–1435.

Wagner, S., Gondikas, A., Neubauer, E., Hofmann, T., Von der Kammer, F. (2014). Spot The Difference: Engineered and Natural Nanoparticles in The Environment-Release, Behavior, and Fate. *Angewandte Chemie International Edition*, **53**, 12398-12419.

Wang, F., Pang, S., Wang, L., Li, Q., Kreiter, M., Liu, C. Y. (2010). One-Step Synthesis of Highly Luminescent Carbon Dots in Noncoordinating Solvents. *Chemistry of Materials*, **22 (16)**, 4528–4530.

Wang, H., Di, J., Sun, Y., Fu, J., Wei, Z., Matsui, H., C. Alonso A.D., Zhou, S. (2015). Biocompatible PEG-Chitosan@ Carbon Dots Hybrid Nanogels for Two-Photon Fluorescence Imaging, Near-Infrared Light/Ph Dual-Responsive Drug Carrier, and Synergistic Therapy. *Advanced Functional Materials*, **25 (34)**, 5537–5547.

Wang, H., Zhang, M., Song, Y., Li, H., Huang, H., Shao, M., Liu, Y., Kang, Z. (2018). Carbon Dots Promote The Growth and Photosynthesis of Mung Bean Sprouts. *Carbon*, **136**, 94-102.

Wang, W., Cheng, L., Liu, W. (2014). Biological Applications of Carbon Dots. *Science China Chemistry*, **57 (4)**, 522–539.

Wang, X., Han, H., Liu, X., Gu, X., Chen, K., Lu, D. (2012). Multi-Walled Carbon Nanotubes can Enhance Root Elongation of Wheat (*Triticum Aestivum*) Plants. *Journal of Nanoparticle Research*, **14**, 841.

Wang, X., Qu, K., Xu, B., Ren, J., Qu, X. (2011a). Microwave Assisted One-Step Green Synthesis of Cell-Permeable Multicolor Photoluminescent Carbon Dots Without Surface Passivation Reagents. *Journal of Materials Chemistry*, **21** (8), 2445–2450.

Wang, X., Qu, R., Liu, J., Wei, Z., Wang, L., Yang, S., Huang, Q., Wang, Z. (2016). Effect of Different Carbon Nanotubes on Cadmium Toxicity to *Daphnia Magma*; The Role of Catalyst Impurities and Adsorption Capacity. *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*, **208**, 732-738.

Wang, Y., Anilkumar, P., Gao, L., Liu, J., Luo, P., Tackett, K., Sahu, S., Wang, P., Wang, X., Sun, Y. (2011b). Carbon Dots of Different Composition and Surface Functionalization: Cytotoxicity Issues Relevant to Fluorescence Cell Imaging. *Experimental Biology and Medicine*, **236**, 1231–1238.

Wang, Y., Bao, L., Liu, Z., Pang, D. (2011). Aptamer Biosensor Based on Fluorescence Resonance Energy Transfer From Upconverting Phosphors to Carbon Nanoparticles for Thrombin Detection in Human Plasma. *Analytical Chemistry*, **83**, 8130–8137.

Wang, Y., Hu, A. (2014). Carbon Quantum Dots: Synthesis. *Properties and Applications Journal of Materials Chemistry C*, **2**, 6921.

Wang, Z. L., Wiley, V. C. H., Verlag, Gmb H. Weinheim. (2000). Nanofaz Malzemesinin Karakterizasyonu, 13–14.

Wang, Z., Xie, X., Zhao, J., Liu, X., Feng, W., White, J.C., Xing, B. (2012). Xylem and Phloem-Based Transport of CuO Nanoparticles in Maize (*Zea Mays* L.). *Environmental Science and Technology*, **46**, 4434–41.

Wei, L., Yinjian, Z., Haoran, Z., Zulang, L., Wei S., Shi, C., Yingliang, L., Jianle, Z., Bingfu L. (2016). Phytotoxicity, Uptake, and Translocation of Fluorescent Carbon Dots in Mung Bean Plants. *ACS Applied Materials Interfaces*, **8** (31), 19939-19945.

Wei, W., Xu, C., Wu, L., Wang, J., Ren, J., Qu, X. (2014b). Non-Enzymatic-Browning-Reaction: A Versatile Route for Production of Nitrogen-Doped Carbon Dots With Tunable Multicolor Luminescent Display. *Scientific Reports*, **4**, 3564.

Wei, X. M., Xu, Y., Li, Y. H., Yin, X. B., He, X. W. (2014a). Ultrafast Synthesis of Nitrogen-Doped Carbon Dots Via Neutralization Heat for Bioimaging and Sensing Applications. *RSC Advances*, **4** (84), 44504–44508.

Wu, Z. L., Zhang, P., Gao, M. X., Liu, C. F., Wang, W., Leng, F., Huang, C. Z. (2013). One-Pot Hydrothermal Synthesis of Highly Luminescent Nitrogen-Doped Amphoteric Carbon Dots For Bioimaging From *Bombyx Mori* Silk – Natural Proteins. *Journal of Materials Chemistry B*, **1** (22), 2868–2873.

Xingmao, Ma., Jane, G. L., Yang, D., Andrei K. (2010). Interactions Between Engineered Nanoparticles (Enps) and Plants: Phytotoxicity, Uptake and Accumulation. *Science of The Total Environment*, **408**, 3053–3061

Xiong, J. L., Li, J., Wang, H. C., Zhang, C. L., Naeem, M. S. (2018). Fullerol Improves Seed Germination, Biomass Accumulation, Photosynthesis and Antioxidant System in Brassica Napus L. Under Water Stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, **129**, 130-140.

Xu, M., He, G., Li, Z., He, F., Gao, F., Su, Y., (2014). A Green Heterogeneous Synthesis Of N-Doped Carbon Dots and Their Photoluminescence Applications in Solid and Aqueous States. *Nanoscale*, **6**, 10307–15.

Xu, X., Ray, R., Gu, Y., Ploehn, H., Gearheart, L., Raker, K., Scrivens, W. (2004). Electrophoretic Analysis and Purification of Fluorescent Single-Walled Carbon Nanotube Fragments. *Journal of the American Chemical Society*, **126**, 12736–12737.

Xu, Y., Wu, M., Liu, Y., Feng, X. Z., Yin, X. B., He, X. W., Zhang, Y. K. (2013). Nitrogen-Doped Carbon Dots: A Facile and General Preparation Method, Photoluminescence Investigation, and Imaging Applications. *Chemistry A European Journal*, **19** (7), 2276–2283.

Yamamoto, T., Yasuhara, A., Shiraishi, H., Nakasugi, O. (2001). Bisphenol A in Hazardous Waste Landfill leachates. *Chemosphere*, **42**, 415–418.

Yan, Q. L., Yan, G. M., Zhao, F. Q., Cohena, A., Pangc, S. P. (2016). Highly Energetic Compositions Based on Functionalized Carbon Nanomaterials. *Nanoscale*, **8**, 4799–4851.

Yang, F., Liu, C., Gao, F., Su, M., Wu, X., Zheng, L. (2007). The Importance Of Spinach Growth By Nano-Anatase Tio₂ Treatment is Related to Nitrogen Photoreduction. *Biological Trace Element Research*, **117**, 77–88.

Yang, S. T., Cao, L., Luo, P. G., Lu, F., Wang, X., Wang, H., Meziani, M. J., Liu, Y., Qi, G., Sun, Y. P. (2009a). Carbon Dots for Optical Imaging in Vivo. *Journal of The American Chemical Society*, **131**(32), 11308–9.

Yang, S.T., Wang, X., Wang, H., Lu, F., Luo, P.G., Cao, L. (2009b). Carbon Dots As Nontoxic and High-Performance Fluorescence Imaging Agents. *The Journal of Physical Chemistry C*, **113**, 18110–14.

Yang, Z. C., Li, X., Wang, J. (2011a). Intrinsically Fluorescent Nitrogen-Containing Carbon Nanoparticles Synthesized By A Hydrothermal Process. *Carbon*, **49** (15), 5207–5212.

Yang, Z. C., Wang, M., Yong, A. M., Wong, S. Y., Zhang, X. H., Tan, H., Chang, A. Y., Li, X., Wang, J. (2011b). Intrinsically Fluorescent Carbon Dots With Tunable Emission Derived From Hydrothermal Treatment of Glucose in The Presence of Monopotassium Phosphate. *Chemical Communications*, **47** (42), 11615–11617.

Yao, J. Yang, M. Duan, Y. (2014). Chemistry, Biology, and Medicine of Fluorescent Nanomaterials and Related Systems: New Insights Into Biosensing, Bioimaging, Genomics, Diagnostics and Therapy. *Chemical Reviews*, **114**, 6130-6178.

Zhang, F., Feng, X., Zhang, Y., Yan, L., Yang, Y., Liu, X. (2016). Photoluminescent Carbon Quantum Dots as A Directly Film-Forming Phosphor Towards White Leds. *Nanoscale*, **8** (16), 8618-8632.

Zhang, H., Chen, Y., Liang, M., Xu, L., Qi, S., Chen, H., Chen, X. (2014). Solid-Phase Synthesis of Highly Fluorescent Nitrogen-doped Carbon Dots for Sensitive and Selective Probing Ferric Ions in Living Cells. *Analytical Chemistry*, **86**, 9846–9852.

Zhang, M., Gao, B., Chen, J., Li, Y. (2015). Effects of Graphene on Seed Germination and Seedling Growth. *Journal of Nanoparticle Research*, **17**, 78.

Zheng, L., Chi, Y., Dong, Y., Lin, J., Wang, B. (2009). Electrochemiluminescence Of Water-Soluble Carbon Nanocrystals Released Electrochemically From Graphite. *Journal of The American Chemical Society*, **131** (13), 4564–4565.

Zheng, X. T., Ananthanarayanan, A., Luo, K. Q., Chen, P. (2015). Glowing Graphene Quantum Dots and Carbon Dots: Properties, Syntheses, and Biological Applications. *Small*, **11**(14), 1620–1636.

Zhou, Y., Morais-Cabral, J. H., Kaufman, A., MacKinnon, R. (2001). Chemistry of coordination and hydration revealed by a K⁺ channel-Fab complex at 2.0 Å resolution. *Nature*, **414**, 43–48.

Zhu, H., Han, J., Xiao, J. Q., Jin, Y. (2008). Uptake, Translocation and Accumulation of Manufactured Iron Oxide Nanoparticles By Pumpkin Plants. *Journal of Environmental Monitoring*, **10**, 713–7.

Zhu, H., Wang, X., Li, Y., Wang, Z., Yang, F., Yang, X. (2009). Microwave Synthesis of Fluorescent Carbon Nanoparticles With Electrochemiluminescence Properties. *Chemical Communications*, (34), 5118–5120.

Zhu, S., Meng, Q., Wang, L., Zhang, J., Song, Y., Jin, H., Zhang, K., Sun, H., Wang, H., Yang, B. (2013). Highly Photoluminescent Carbon Dots for Multicolor Patterning, Sensors, and Bioimaging. *Angewandte Chemie International Edition*, **52**(14), 3953–3957.

Zhu, X., Zuo, X., Hu, R., Xiao, X., Liang, Y., Nan, J. Hydrothermal Synthesis of Two Photoluminescent Nitrogen-Doped Graphene Quantum Dots Emitted Green and Khaki Luminescence (2014). *Materials Chemistry and Physics*, **147**, 963–967.