



T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Neşe KUPLAY ERCAN

**ORGANOFOSFOR PESTİSİTLER İÇİN
KARBON KUANTUM NOKTA ESASLI
FLORESAN SENSÖRÜN GELİŞTİRİLMESİ**

ANORGANİK KİMYA ANABİLİM DALI

OSMANİYE – 2025

**T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ORGANOFOSFOR PESTİSİTLER İÇİN KARBON
KUANTUM NOKTA ESASLI FLORESAN SENSÖRÜN
GELİŞTİRİLMESİ**

Neşe KUPLAY ERCAN

ANORGANİK KİMYA ANABİLİM DALI

**OSMANİYE
MAYIS-2025**

TEZ ONAYI

ORGANOFOSFOR PESTİSİTLER İÇİN KARBON KUANTUM NOKTA ESASLI FLORESAN SENSÖRÜN GELİŞTİRİLMESİ

Neşe KUPLAY ERCAN tarafından Prof. Dr. Mustafa KELEŞ danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Anorganik Kimya Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Mustafa KELEŞ
Anorganik Kimya Anabilim Dalı, OKÜ

.....

Üye: Prof.Dr. Hülya KELEŞ
Fizikokimya Anabilim Dalı, OKÜ

.....

Üye: Doç.Dr. Ziya AYDIN
Anorganik Kimya Anabilim Dalı, KMÜ

.....

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof.Dr. Hasan DEMİR
Enstitü Müdürü, **Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

.....

Bu tez çalışması, OKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (OKÜBAP-2023-PT2-024) tarafından desteklenmiştir.

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Neşe KUPLAY ERCAN



ÖZET

ORGANOFOSFOR PESTİSİTLER İÇİN KARBON KUANTUM NOKTA ESASLI FLORESAN SENSÖRÜN GELİŞTİRİLMESİ

Neşe KUPLAY ERCAN
Yüksek Lisans, Anorganik Kimya Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Mustafa KELEŞ

Mayıs 2025, 42 sayfa

Bu tezde, organofosfor pestisitlerin tespiti için karbon kuantum nokta (CQD) esaslı floresan sensörün geliştirilmesi amaçlanmıştır. Malatyon, glifosat, fenamifos ve fosetil-Al, tarımda yaygın olarak kullanılan pestisitler olup, insan sağlığı ve çevre üzerinde önemli riskler taşımaktadır. Geleneksel analiz yöntemleri yüksek maliyetli ve zaman alıcı olduğundan, bu pestisitlerin hızlı, hassas ve düşük maliyetli tespitine yönelik yeni yöntemlerin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda, CQDs'in floresan özellikleri, çevresel izleme ve gıda güvenliği açısından umut verici bir çözüm sunmaktadır. Çalışmada, CQDs'in yüzey modifikasyonu ile işlevselleştirilmesi yoluyla pestisitlerin seçici ve hassas tespitine yönelik sensörler tasarlanmıştır. Sonuçlar, CQDs bazlı floresan sensörlerin bazı pestisitler için yüksek duyarlılık ve seçicilik sağladığını göstermiş, bu da onların pestisit kalıntılarının izlenmesi ve çevresel kirliliğin kontrol altına alınması için potansiyel bir araç olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Karbon Kuantum Noktaları (CQDs), Pestisit Tespiti, Floresan Sensörler

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A CARBON QUANTUM DOT-BASED FLUORESCENT SENSOR FOR ORGANOPHOSPHORUS PESTİCİDES

Neşe KUPLAY ERCAN
PhD, Department of Inorganic Chemistry
Supervisor: Prof. Dr. Mustafa KELEŞ

May 2025, 42 pages

This thesis aims to develop a carbon quantum dot (CQD)-based fluorescent sensor for the detection of organophosphorus pesticides. Malathion, glyphosate, fenamiphos, and fosetyl-Al are widely used pesticides in agriculture, posing significant risks to human health and the environment. Since conventional analysis methods are costly and time-consuming, the development of rapid, sensitive, and low-cost detection methods for these pesticides is of great importance. In this context, the fluorescent properties of CQDs offer a promising solution for environmental monitoring and food safety. In this study, sensors were designed for the selective and sensitive detection of pesticides through the functionalization of CQDs via surface modification. The results demonstrated that CQD-based fluorescent sensors exhibit high sensitivity and selectivity for certain pesticides, indicating their potential as a tool for monitoring pesticide residues and controlling environmental pollution.

Key Words: Carbon Quantum Dots (CQDs), Pesticide Detection, Fluorescent Sensors



Canım kardeşim Volkan KUPLAY’a ve
Çok kıymetli aileme...

TEŞEKKÜR

Öncelikle, saygıdeğer tez danışmanım Prof. Dr. Mustafa KELEŞ'e ve Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne minnettarım.

Karbon Kuantum Nokta sentezindeki değerli katkıları için Dr. Simay İNCE ve Doç. Dr. Mustafa Kemal YILMAZ'a, pestisit uygulamalarındaki destekleri için Doç. Dr. Ziya AYDIN'a şükranlarımı sunarım.

Hayatımın her anında sevgisiyle güç veren, fedakarlıklarıyla bana yol açan biricik annem Ayşe KUPLAY'a sonsuz teşekkürler...

Fikirleriyle motivasyon kaynağım olan canım eşim Mevlüt ERCAN'a, hayatıma anlam katan, her başarımın en değerli tanıkları olan oğullarım Volkan Kubilay ERCAN ve Deniz ERCAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın her satırında sevgi ve sabrınız var.

Bu akademik eser, tüm bu değerli insanların ortak bir ürünüdür.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İTHAF	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Floresan Sensörler	1
1.2 Karbon Kuantum Noktalar (CQDs)	4
1.3 Pestisitler.....	7
1.3.1. Pestisitlerin Çevreye Etkisi	11
1.3.2. Türkiye'de Pestisit Kullanımı.....	14
1.4 Glifosat.....	17
1.5 Malatyon	20
1.6 Fenamifos.....	23
1.7 Fosetil-Al	24
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	25
3. MALZEME VE MATERYAL	28
3.1. Karbon Kuantum Noktaların Yüzeylerinin İşlevselleştirilmesi.....	29
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	30
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	34
KAYNAKLAR	35
ÖZGEÇMİŞ	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 2023 Yılı pestisit gruplarına göre kullanım miktarları.	15
--	----



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Floresan sensörlerin hedef analiti algılama mekanizması	3
Şekil 1.2 2006-2023 Yılları arası Türkiye’deki toplam tarım ilacı kullanımı.....	14
Şekil 1.3 Glifosat’ın kimyasal yapısı	19
Şekil 1.4 Malatyon’un kimyasal yapısı.....	21
Şekil 1.5 Malaoksan’ın kimyasal yapısı.....	22
Şekil 3.1. CQD sentezinde kullanılan hidrotermal yöntemi	28
Şekil 3.2. CQDR sentez şeması.....	29
Şekil 3.3. CQDs sentez sürecini modellemesi	29
Şekil 4.1 Ultra-saf su içerisinde CQD’nin (0,75 mg/ml) normalize edilmiş UV-vis ve floresan spektrumları.....	30
Şekil 4.2. Ultra-saf su içerisinde CQD-Py’nin (0,75 mg/ml) normalize edilmiş UV-vis ve floresan spektrumları.	30
Şekil 4.3 CQD (0,75 mg/ml) ve CQD-Py’nin (0,75 mg/ml) farklı pH’larda davranışları	31
Şekil 4.4. CQD’nin (0,75 mg/ml) bazı OP pestisitler (1 mg/ml) ve PO43- (1 mg/ml) karşı floresan tepkileri.....	32
Şekil 4.5 CQD-Py’nin (0,75 mg/ml) bazı OP pestisitler (1 mg/ml) ve PO43- (1 mg/ml) karşı floresan tepkileri.....	32
Şekil 4.6 Ultra saf su içerisinde farklı reaksiyon zaman aralıklarında (0, 1, 5, 10, 15, 20, ve 25 dakika) CQD-Py+fosetil-Al'nin floresans spektrumları	33

SİMGELER ve KISALTMALAR

OP	Organofosfor
CQD	Karbon Kuantum Nokta (Carbon Quantum Dot)
CQDs	Karbon Kuantum Noktaları (Carbon Quantum Dots)
PET	Fotoindüklenmiş Elektron Transferi (Photoinduced Electron Transfer)
IFE	İç Filtre Etkisi (Inner Filter Effect)
FRET	Förster Rezonans Enerji Transferi (Förster Resonance Energy Transfer)
AChE	Asetilkolinesteraz
AMPA	Aminometilfosfonik Asit
DDT	Diklorodifeniltrikloroetan
GDO	Genetiği Değiştirilmiş Organizma
HPLC	Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (High Performance Liquid Chromatography)
LOD	Tespit Sınırı (Limit of Detection)
SPR	Yüzey Plazmon Rezonansı (Surface Plasmon Resonance)
UV-vis	Ultraviyole-Görünür Bölge Spektroskopisi
PO_4^{3-}	Fosfat İyonu
CdTe	Kadmiyum Tellür
Cu^{2+}	Bakır İyonu
Mn:ZnS QD	Manganez Katkılı Çinko Sülfür Kuantum Noktaları
CQD-Py	2-amino-3-pirazin ile Modifiye Edilmiş Karbon Kuantum Noktaları
DMTP	Dimetiltiyofosfat
N-CQDs	Azot Katkılı Karbon Kuantum Noktaları (Nitrogen-doped Carbon Quantum Dots)
QD	Kuantum Noktası (Quantum Dot)
AuNP	Altın Nanoparçacık (Gold Nanoparticle)
K_{oc}	Organik Karbon Adsorpsiyon Katsayısı
pH	Hidrojen İyonu Konsantrasyonunun Negatif Logaritması
IARC	Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı

FAO	Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization)
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
MAI	Malatyon
Gly	Glifosat
Fena	Fenamifos
-OH	Hidroksil iyonu
-COOH	Karboksil grubu
-NH	Amino grubu
-PO ₃ H ₂	Fosfanat
Cd ⁺²	Kadmiyum iyonu
MÖ	Milattan Önce
CdSe/ZnS QD	Kadmiyum Selenür / Çinko Sülfür Kuantum Noktaları
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
Aptamer-QD	Aptamer-Kuantum Nokta
CQDs-AuNP	Altın Nanopartikül katkılı Karbon Kuantum Noktaları
C ₁₀ H ₁₉ O ₆ PS ₂	Malatyon kimyasal formülü
C ₃ H ₈ NO ₅ P	Glifosat kimyasal formülü
CQDs-Eu ⁺³	Europium(III) Katkılı Karbon Kuantum Noktalar
LD50	Öldürücü doz 50 (Lethal Dose 50%)
WHO	Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)
USEPA	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (U.S. Environmental Protection Agency)
[Zr-MOP][POM]	Zirkonyum - metal-organik polimer poloksometalat
FSO	Fenamifos sülfoksit
MMSP	3-metil-4-(metilsülfinil)fenol
GSH-NCD	glutatyon ile modifiye edilmiş N-katkılı karbon noktaları
RHIMZ	Pirinç kabuğunun imidazol grupları ile fonksiyonlandırılmış formu

1. GİRİŞ

Floresan sensörler, analitlerin varlığını ve konsantrasyonunu yüksek hassasiyetle tespit etmek için floresans emisyonundaki değişimleri kullanan güçlü analitik araçlardır. Bu sensörler, seçicilik, hızlı yanıt süresi, düşük tespit limitleri ve uzaktan algılama kabiliyetleri gibi avantajları nedeniyle çevresel izleme, biyomedikal analizler, gıda güvenliği ve endüstriyel süreç kontrolü gibi pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Floresan tabanlı sensörlerin en önemli özelliklerinden biri, analit ile etkileşime girdiğinde meydana gelen floresans şiddetindeki artış, azalma veya emisyon dalga boyundaki kayma gibi sinyalleri gerçek zamanlı olarak izleyebilmeleridir.

Bu sensörlerin tasarımında, floresans verimini artırmak ve seçiciliği iyileştirmek amacıyla organik boyalar, kuantum noktaları veya metal-organik çerçeveler gibi çeşitli floroforlar kullanılabilir. Özellikle karbon kuantum noktaları (CQDs), yüksek kuantum verimi, fotokararlılık ve biyouyumluluk gibi özellikleri nedeniyle son yıllarda floresan sensör uygulamalarında öne çıkmaktadır.

Floresan sensörlerin çalışma mekanizması, analit ile etkileşime bağlı olarak floresans sinyalinde meydana gelen değişimlere dayanır. Bu değişimler, fotoindüklenmiş elektron transferi (PET), iç filtre etkisi (IFE) veya Förster rezonans enerji transferi (FRET) gibi fizikokimyasal süreçlerle açıklanabilir. Örneğin, pestisitler gibi toksik bileşiklerin tespitinde, analit floroforun elektronik yapısını bozarak floresans sönümlemesine veya spektral kaymaya neden olabilir.

Bu çalışmada, organofosforlu pestisitlerin tespiti için karbon kuantum nokta temelli floresan sensörlerin geliştirilmesi araştırılmıştır. Organofosforlu bileşiklerin yaygın kullanımı ve potansiyel toksisiteleri göz önüne alındığında, geliştirilen sensörlerin çevre ve insan sağlığı açısından önemi değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, sensörlerin performansı laboratuvar ölçekli analizlerle karakterize edilmiştir.

1.1. Floresan Sensörler

Floresan algılama teknolojisi, yüksek duyarlılık, seçicilik, hızlı yanıt süresi ve optik fiberlerle uzaktan ölçüm imkânı gibi avantajları nedeniyle pek çok disiplinde yaygın

olarak kullanılmaktadır. Bu teknolojinin uygulama alanları arasında analitik kimya, biyoloji, biyoteknoloji, klinik tanı yöntemleri, toksikoloji, oşinografi, adli bilimler ve çevresel izleme gibi farklı disiplinler sayılabilir (Berberan-Santos, 2008).

Floresan sensörlerin çalışma prensibi, genellikle tek bir floresans bandının yoğunluğundaki değişimlerin ölçülmesine dayanır (Lei vd., 2021). Sensör performansı; seçicilik, hassasiyet, tepki süresi, kararlılık, doğruluk ve yeniden kullanılabilirlik gibi parametrelerle değerlendirilir. Dolayısıyla, sensör tasarımında bu faktörlerin optimize edilmesi kritik önem taşır (Ayrancı, 2017).

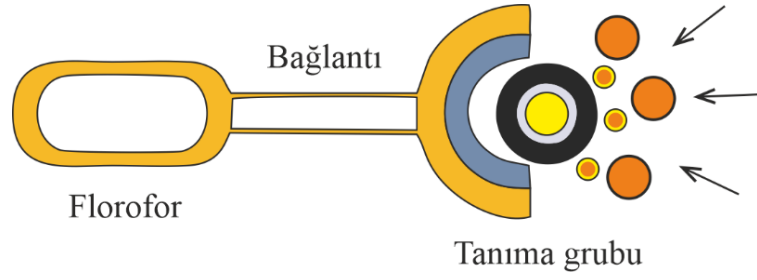
Bir floresan sensör, temelde üç bileşenden oluşur:

1. Analit tanıma grubu,
2. Florofor (floresans sinyal üreten kısım),
3. Bağlayıcı grup (tanıma grubu ile florofor arasında etkileşimi sağlayan yapı).

Bu sistemde, analit ile tanıma grubu arasındaki etkileşim, floroforun fotofiziksel özelliklerinde değişime yol açarak optik bir sinyal üretir. Bazı sensörlerde florofor ve tanıma grubu doğrudan konjuge iken, bazılarında bağlayıcı gruplar kullanılır (Tunçer, 2021). Bu tasarım, biyomoleküllerin, iyonların veya toksik metallerin hızlı, ekonomik ve yüksek doğrulukla tespit edilmesini sağlar. Ayrıca, moleküler tasarım aşamasında farklı sübstitüentlerin eklenmesi, floresans özelliklerin ayarlanmasına olanak tanır. Organik boyaların florofor olarak kullanımı, bu sensörlerin uygulama çeşitliliğini artıran önemli bir faktördür (Gülşen, 2018).

Bir molekülün floresans özellik gösterebilmesi için UV veya görünür bölgede ışığı absorbe etmesi gerekir. Absorpsiyon şiddeti arttıkça, floresans sinyalin yoğunluğu da artar. Özellikle düşük enerjili elektronik geçişlere sahip moleküller yüksek floresans verimi sergiler (Taşkiran, 2005). Bununla birlikte, moleküler yapıdaki serbest dönen fonksiyonel gruplar, enerji kaybına neden olarak floresans yoğunluğunu azaltabilir (Heibati, 2019).

Sensörlerin çalışma mekanizması, analit ile etkileşime bağlı olarak floresans artışı (enhancement), sönmüleme (quenching) veya spektral kaymalar gibi değişimlerle karakterize edilir (Xie vd., 2021). Şekil 1.1'de, floresan sensörlerin hedef analiti nasıl algıladığı şematik olarak özetlenmiştir.



Şekil 1.1 Floresan sensörlerin hedef analiti algılama mekanizması
(Pournaki, Fallah, Gülcan ve Gazi, 2021).

Floresan sensörler, kimyasal tespit için yüksek hassasiyet ve seçicilik sağlayan önemli araçlardır. Bu sensörler, belirli bir maddenin ışığı emme ve yayma özelliklerinden yararlanarak, bileşenlerin varlığını ve konsantrasyonlarını ölçer. Özellikle CQDs gibi nanomateriyaller kullanılarak yapılan floresan sensörler, çeşitli çevresel ve biyolojik örneklerde pestisitler gibi zararlı bileşiklerin hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesini sağlar. Floresan sensörlerin avantajları arasında yüksek duyarlılık, düşük maliyet ve kolay taşınabilirlik bulunur. Ayrıca, bu sensörlerin uygulama alanları çok geniştir; çevresel izleme, biyomoleküllerin tespiti, gıda güvenliği ve tarımsal uygulamalar gibi pek çok alanda kullanılmaktadır.

CQDs, floresan sensörlerin geliştirilmesinde oldukça önemli bir malzemedir. CQDs'in yüzeyine yapılan modifikasyonlar, bu sensörlerin özelliklerini daha da geliştirebilir. Örneğin, CQDs tabanlı floresan sensörler, çevresel analizlerde yalnızca pestisitler gibi hedef bileşenleri tespit etmekle kalmaz, aynı zamanda düşük seviyelerdeki kirleticileri de yüksek hassasiyetle algılayabilir. Bu özellik, çevresel izleme ve gıda güvenliği alanlarında büyük bir avantaj sağlamaktadır. Floresan sensörlerin daha hızlı, düşük maliyetli ve hassas bir şekilde çalışma yeteneği, geleneksel yöntemlerin yerine geçebilecek bir alternatif sunmaktadır (Chen vd., 2025). Ayrıca, CQDs tabanlı sensörlerin çevresel kirliliğin izlenmesinde ve pestisit kalıntılarının tespit edilmesinde önemli bir rol oynaması, bu teknolojilerin gelecekte daha fazla kullanılmasını sağlayacaktır.

Floresan sensörlerin çevresel izleme ve tarımsal alanlardaki uygulamaları, giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu sensörler, düşük seviyelerde bile kirleticilerin tespit edilmesini sağlayarak, çevresel izleme süreçlerini daha verimli hale getirebilir.

Karbon kuantum noktaları temelli sensörler, pestisitlerin çevrede ve gıda zincirinde bıraktığı kalıntıların yüksek hassasiyetle, hızlı ve ekonomik bir şekilde tespit edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sensör teknolojisi, pestisit analizinin yanı sıra ağır metallerin, biyotoksinlerin ve diğer zararlı maddelerin izlenmesinde de etkili bir şekilde kullanılabilmektedir. Bu sayede, pestisitlerin çevresel etkileri ve insan sağlığına olan potansiyel zararları daha sistemli bir şekilde takip edilebilmektedir.

Karbon kuantum noktacıklar, suda iyi dağılılabılme, biyolojik uyumluluk, düşük zehirlilik, kimyasal kararlılık, kolay modifikasyon ve çevre dostu özelliklerinin yanı sıra çeşitli fotoluminesans yetenekleriyle öne çıkmaktadır. Bu üstün fizikokimyasal özellikleri nedeniyle, söz konusu malzemenin gelecekte pek çok farklı alanda yaygın olarak kullanılması beklenmektedir (Bingöl vd., 2023).

Floresan sensörler, çevresel izleme ve gıda güvenliği alanlarında pestisit kalıntılarının tespiti için hızlı, hassas ve pratik çözümler sunmaktadır. Gelişen teknolojiler sayesinde bu sensörler, artık yalnızca laboratuvarlarda değil, sahada da etkin bir şekilde kullanılabilmektedir. Özellikle karbon kuantum nokta (CQD) tabanlı sensörler, tarımsal ürünlerdeki pestisit kalıntılarını kısa sürede belirleyerek çevresel kirliliğin kontrolüne ve halk sağlığının korunmasına katkı sağlar. Gıda güvenliği açısından bakıldığında, bu yöntemler sayesinde pestisit kalıntılarının hızlı tespiti mümkün olmakta ve tüketici sağlığının korunmasında etkin bir rol oynamaktadır.

Floresan sensörlerin bu alanlardaki potansiyeli, hassasiyetleri, seçicilikleri ve giderek düşen maliyetleri nedeniyle daha da artmaktadır. Teknolojik gelişmeler, bu sensörlerin geniş kitleler tarafından erişilebilir hale gelmesini sağlarken, çevresel kirlleticilerin izlenmesinde de kritik bir araç olmalarını desteklemektedir (Zhang vd., 2020). Ayrıca, pestisitlerin ve diğer kirlleticilerin etkin izlenmesi, çevre koruma politikalarının uygulanmasına ve daha sürdürülebilir önlemlerin alınmasına yardımcı olacaktır. Bu nedenle, floresan sensörlerin gelecekte çevre ve gıda güvenliği uygulamalarında merkezi bir rol üstlenmesi beklenmektedir.

1.2. Karbon Kuantum Noktalar (CQDs)

Karbon temelli nanomalzemeler arasında önemli bir yere sahip olan CQDs, literatürde "karbon nanoparçacıklar", "karbon noktalar" veya "karbon nanodots" gibi farklı

isimlerle anılmaktadır. Boyutları 10 nm'nin altında olan bu yarı-küresel nanoparçacıklar, yüzeylerindeki pasivasyon grupları sayesinde benzersiz özellikler sergilemektedir. Özellikle ayarlanabilir floresans özellikleriyle dikkat çeken bu malzemeler, algılama sistemlerinde sinyal üretici olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır.

CQDs'in başlıca karakteristik özellikleri şunlardır:

- Suda yüksek çözünürlük
- Üstün elektriksel iletkenlik
- Kimyasal ve termal kararlılık
- Ayarlanabilir optik özellikler
- Biyouyumluluk ve düşük toksisite
- Kolay sentezlenebilirlik
- Çok renkli floresans emisyon (özellikle mavi ve yeşil bölgede yüksek kuantum verimi)
- Yukarı dönüşüm (upconversion) floresans yeteneği (Wei vd., 2022)

Bu malzemelerin yüzey kimyası incelendiğinde, hidroksil, karbonil, karboksil ve epoksi gibi çeşitli fonksiyonel gruplar içerdiği görülmektedir (Kang vd., 2019). Sentez yöntemleri arasında öne çıkan mikrodalga tekniği, kısa reaksiyon süresi, düşük maliyet ve yüksek verim gibi avantajlar sunmaktadır (Eskalen vd., 2020). Bu yöntemde, mikrodalga enerjisi kullanılarak kimyasal bağların kırılması ve karbonizasyon süreci gerçekleştirilmektedir (Wang vd., 2017).

CQDs'in uygulama alanları oldukça geniştir:

- Çevre dostu teknolojiler
- Biyomedikal görüntüleme ve tedavi
- Kompozit malzeme üretimi
- Yenilenebilir enerji sistemleri (güneş pilleri, fotokatalizörler)
- Elektronik cihazlar (Li vd., 2011; Mirtchev vd., 2012)

Tarihsel gelişimine bakıldığında, bu malzemeler ilk olarak 1980'lerde Ekimov ve ekibi tarafından sentezlenmiştir (Ekimov vd., 1981). "Yapay atom" olarak da adlandırılan bu sıfır boyutlu yapılar, enerji seviyelerinin kontrol edilebilir olması nedeniyle büyük ilgi görmektedir (Ornes vd., 2016). Özellikle 2-10 nm boyut aralığındaki CQDs, kanser teşhis ve tedavisinde umut vaat edici sonuçlar vermiştir (Alivisatos vd., 1996).

Polimerik CQDs ise karbon çekirdek ve polimer zincirlerin kombinasyonu ile oluşan hibrit yapılardır. Floresan özellikteki bu nanoparçacıkların keşfi, Xu ve arkadaşlarının 2004 yılındaki çalışmalarına dayanmaktadır (Xu vd., 2004). Yüzey pasivasyon teknikleriyle floresans verimi artırılan bu malzemeler, günümüzde pek çok alanda kullanılmaktadır (Sun vd., 2006).

Son yıllarda CQDs teknolojisindeki gelişmeler sayesinde biyogörüntüleme, sensör sistemleri, fotovoltaiik cihazlar ve tıbbi uygulamalar gibi alanlarda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir (Wang vd., 2017). Bu malzemelerin yüzey kimyası ve morfolojik özellikleri incelendiğinde, oksijen içeren fonksiyonel grupların (özellikle -OH ve -COOH) baskın olduğu görülmektedir (Bak vd., 2016).

CQDs, son yıllarda nanoteknolojide önemli bir malzeme olarak öne çıkmıştır. Bu materyaller, düşük toksisiteye sahip olmaları, biyouyumlulukları ve kolay sentezlenebilirlikleri ile dikkat çekmektedir. Karbon kuantum noktalarının bir diğer önemli avantajı ise yüksek optik özellikleridir. CQDs, ışık emilimini ve yayılımını değiştiren floresan özelliklere sahiptir. Bu özellikleri, kimyasal tespit uygulamalarında son derece faydalıdır (Chen vd., 2025).. Floresan özelliklerin yüksek hassasiyetle belirli bir bileşiği tespit etmede kullanılması, CQDs tabanlı sensörleri pestisitlerin hızlı ve doğru bir şekilde tespiti için ideal bir araç yapmaktadır. Özellikle pestisitlerin tespiti gibi çevresel izleme alanlarında, CQDs tabanlı sensörler oldukça etkili bir çözüm sunmaktadır. Bu sensörler, pestisitlerin varlığına karşı oldukça hassas olup, yüksek seçicilikleri sayesinde sadece hedef kimyasal maddeleri tespit edebilmektedir. Bu hassasiyet, çevresel örneklerde düşük konsantrasyonlarda bile pestisit kalıntılarını tespit edebilme yeteneği sağlar. Ayrıca, CQDs'in yüzey modifikasyonu ile bu özelliklerin daha da geliştirilmesi mümkündür. Bu modifikasyonlar, sensörlerin çevresel faktörlere karşı dayanıklılığını artırarak, zorlu koşullarda bile güvenilir sonuçlar elde edilmesine olanak tanımaktadır. Bu, sensörlerin farklı iklim koşulları ve

tarımsal alanlarda uygulanabilirliğini artırmaktadır. Ayrıca, bu sensörler, pestisitlerin çevredeki izlerinin tespiti konusunda özellikle hızlı ve pratik çözümler sunarak çevre koruma politikalarına önemli katkılar sağlamaktadır.

CQDs tabanlı sensörlerin geliştirilmesi, pestisitlerin tespiti konusunda önemli bir adım atılmasına olanak sağlamaktadır. Organofosfor pestisitleri, tarımda yaygın bir şekilde kullanılmakta olup, çevresel ve sağlık sorunları oluşturabilmektedir. Bu pestisitlerin tespiti için geliştirilen CQDs esaslı floresan sensörler, düşük maliyetli, hızlı ve güvenilir analizler sunmaktadır. Geliştirilen sensörler, pestisitlerin çevre ve gıda güvenliği üzerindeki etkilerini izleme noktasında büyük bir potansiyele sahiptir. Bu sensörlerin kullanılması, çevresel izleme sistemlerini daha verimli hale getirebilir ve pestisitlerin çevreye verdiği zararı minimize edebilir. Ayrıca, çevresel örneklerden alınan verilerin daha hızlı ve düşük maliyetle analiz edilmesi, büyük ölçekli çevresel izleme projelerinde önemli bir avantaj sağlamaktadır. Geliştirilen sensörlerin etkinliği, özellikle gıda güvenliği alanında büyük bir öneme sahiptir; tarımsal üretim süreçlerinde kullanılan pestisitlerin kalıntıları, gıda ürünlerine geçebileceği için bu sensörler, gıda güvenliğini sağlamak adına kritik bir araçtır.

Bu sensörlerin hem sahada uygulanarak tarımsal üretim ve çevre koruma alanlarındaki izleme stratejilerine katkı sağlaması, hem de pestisit kalıntılarının izlenmesinde daha hızlı ve düşük maliyetli çözümler sunarak gıda güvenliğinin sağlanmasına yardımcı olması beklenmektedir.

1.3. Pestisitler

Hızlı nüfus artışı, dünya genelinde gıda talebini önemli ölçüde artırmıştır. Bu talebi karşılamak ve aynı zamanda uygun maliyetli, kaliteli üretim yapabilmek amacıyla tarım sektöründe en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri pestisit uygulamalarıdır.

Pestisitler, tarımsal üretim sürecinde ürünlere zarar veren böcekler, yabancı otlar, mantarlar ve diğer zararlı organizmaların kontrol altına alınması amacıyla kullanılan kimyasal bileşiklerdir (Akdoğan vd., 2012). Yapılan araştırmalar, pestisit kullanımının olmadığı durumlarda tarımsal verimliliğin ciddi oranda düşeceğini göstermektedir.

Örneğin, meyve üretiminde %78, sebze üretiminde %54 ve tahıl üretiminde ise %32 oranında verim kaybı yaşanabileceği öngörülmektedir (Manap vd., 2023).

Pestisitler, etki ettikleri zararlı türlerine göre yedi ana gruba ayrılmaktadır:

- Herbisitler: Yabancı ot kontrolünde,
- Fungisitler: Mantar hastalıklarının önlenmesinde,
- İnsektisitler: Zararlı böceklerle mücadelede,
- Akarisitler: Akar ve kırmızı örümceklerin yok edilmesinde,
- Nematisitler: Nematodlara karşı,
- Mollusisitler: Yumuşakçaların kontrolünde,
- Rodentisitler: Kemirgenlerle mücadelede kullanılmaktadır.

Türkiye'de 2022 yılı verilerine göre toplam 55,374 ton tarım ilacı kullanılmış olup, hektar başına düşen miktar 2,26 kg/ha olarak hesaplanmıştır (Erdoğan, 2024). Kullanım dağılımı incelendiğinde, herbisitler %26,3 ile en yaygın grup olurken, bunu %22,0 ile insektisitler takip etmektedir. Diğer gruplar ise daha düşük oranlarda kullanılmaktadır (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022). Küresel ölçekte ise 2021 yılında 3,5 milyon ton aktif madde kullanılmış, pestisit pazarının toplam değeri 43,2 milyar ABD doları olarak kaydedilmiştir (Erdoğan, 2024).

Pestisitlerin bilinçsiz kullanımı, toprak ve su kaynaklarının kirlenmesine yol açarak ekosistem dengesini bozmaktadır. Aşırı kullanım, zararlıları doğal yollarla kontrol eden faydalı organizmaların (böcekler, kuşlar vb.) popülasyonunu azaltmakta ve biyolojik çeşitliliği tehdit etmektedir. İnsan sağlığı açısından ise pestisit maruziyeti, kanser, hormonal bozukluklar, nörolojik hastalıklar ve doğum anomalileri gibi ciddi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir.

Pestisitlerin kullanımı, insanlık tarihi kadar eskidir. Arkeolojik bulgular, Sümerlerin yaklaşık 4500 yıl önce böcek ve akar kontrolü için kükürt kullandığını göstermektedir (Bernardes vd., 2015). Benzer şekilde, Çin'de 3200 yıl önce vücut biti (*Pediculus humanus*) ile mücadelede civa ve arsenik bileşiklerinden yararlanılmıştır (Unsworth, 2010). Antik Mısır'da ise MÖ 1500'lere ait belgelerde, eşek arıları, bit ve pirelere karşı insektisit formülasyonlarından bahsedilmektedir (Miller, 2002).

Yunan filozof Demokritos (MÖ 470), bitki hastalıklarını önlemek için zeytin ekstrelerinin kullanımını önermiş, Romalı yazar Cato ise MÖ 200'lerde üzüm bağlarında kükürt gazı ve sıçan mücadelesinde Helleborus orientalis (çöpleme) bitkisinin kullanıldığını kaydetmiştir (Okur, 2015). Orta Çağ'da ise Çin'de arsenik, develerdeki uyuz hastalığına karşı ise mineral yağ kullanımı yaygınlaşmıştır (Ağar vd., 1991).

15. yüzyılda kurşun, arsenik ve cıva gibi ağır metaller tarımda zararlı kontrolü amacıyla kullanılmış, 17. yüzyılda ise tütünden elde edilen nikotin sülfat insektisit olarak değerlendirilmiştir. 19. yüzyılda doğal kaynaklı pestisitler (rotenon ve pire otu/pyrethrum) keşfedilmiş, aynı dönemde bakır ve kurşun arsenat bileşikleri yaygınlaşmıştır (Miller, 2002). 20. yüzyıl başlarında ise alüminyum tuzu (kriyolit) ve sodyum florür gibi yeni kimyasallar tarımsal mücadelede kullanılmaya başlanmıştır (Birişik vd., 2018).

1940'lara kadar doğal bileşiklerin kullanımı devam etmiş, ancak maliyet ve stabilite sorunları nedeniyle sentetik pestisitlere geçiş hızlanmıştır (Uslu & Türkman, 1987). Diklorodifeniltrikloroetan (DDT), 1939'da Paul Müller tarafından keşfedilmiş ve tarımda devrim yaratmıştır. Bunu organofosfatlı ve karbamatlı bileşiklerin geliştirilmesi izlemiştir (Ecevit, 1999; Çınar & Uygun, 2001).

Vietnam Savaşı'nda yoğun pestisit kullanımının yol açtığı ekolojik tahribat, daha güvenli alternatiflerin (sentetik piretroidler gibi) araştırılmasını tetiklemiştir (Çınar & Uygun, 2001). Rachel Carson'un 1962'de yayımlanan Sessiz Bahar adlı eseri, pestisitlerin çevresel etkilerini gözler önüne sererek DDT'nin 1972'de ABD'de yasaklanmasına yol açmıştır (Yıldız vd., 2005; Daş & Aksoy, 2016).

2000-2019 arasında küresel pestisit kullanımı %36 artarak 4,2 milyon tona ulaşmıştır. Asya, en yüksek kullanım oranıyla (%42) başı çekerken, Çin tek başına 1,8 milyon ton tüketmiştir (FAO, 2021). Ekili alan başına düşen pestisit miktarı ise 2,6 kg/ha'ya yükselmiştir. Trinidad ve Tobago (25 kg/ha) ve Saint Lucia (20 kg/ha) gibi ülkeler, bu alanda öne çıkmaktadır (FAO, 2021).

Tarlalarda ve seralarda çalışan tarım işçileri, pestisit endüstrisinde çalışanlar vb. söz konusu olduğunda mesleki maruziyetler meydana gelebilmektedir (Werf, 1996;

Soares, 2009; Atreya, 2008; Alarcon vd., 2021). Bununla birlikte, çalıştıkları ortamda bu tür kimyasalların varlığı; kişiler bu ilaçlarla çalışmasa dahi potansiyel mesleki maruziyet oluşturmaktadır. Kısacası, pestisitleri karıştıran, yükleyen, nakleden ve uygulayan işçiler, yaptıkları işin doğası gereği bu ilaçlara en fazla maruz kalan grup olarak kabul edilir ve bu nedenle olası zehirlenmeler için en yüksek risk altındaki gruplardır (Fenske vd., 2005). Bazı durumlarda pestisitlere maruz kalma kimyasalların kazara dökülmesinden, sızıntılardan veya hatalı püskürtme ekipmanlarından da kaynaklanabilmektedir. Çalışanların pestisitlerin nasıl kullanılacağına ilişkin talimatlara dikkat etmemesi durumunda ve özellikle kişisel koruyucu ekipman kullanımına ilişkin temel güvenlik yönergelerini göz ardı etmesi durumunda maruziyet artmaktadır (Damalas ve Eleftherohorinos, 2011).

Pestisit kullanımı sırasındaki ambalaj türü ve formülasyon şekilleri gibi faktörlerde maruz kalma derecesini etkilemektedir. Örneğin sıvı formdaki pestisitler sıçramaya eğilimlidir ve bazen doğrudan cilt teması veya giysi kontaminasyonu yoluyla dolaylı cilt teması ile sonuçlanmaktadır (Damalas ve Eleftherohorinos, 2011).

Pestisitlerin uygulanması sırasındaki hava koşulları da maruziyeti derecesini etkileyen bir diğer önemli husustur. Örneğin, rüzgârlı havalarda pestisit hareket mesafesi rüzgâr hızı arttıkça artacaktır, dolayısıyla da daha yüksek rüzgâr hızı genellikle daha fazla sürüklenmeye neden olacaktır. Bu durumda da pestisit uygulaması yapan çalışanlarda maruziyet artacaktır (Damalas ve Eleftherohorinos, 2011).

Genel popülasyonun pestisitlere maruz kalması ise, esas olarak pestisitlerle kontamine olmuş yiyecek ve içme suları yoluyla olmaktadır. Gıda, hava ve içme suyundaki pestisit kalıntılarından kaynaklanan mesleki olmayan maruziyet genellikle düşük dozları içerir ve kroniktir (veya yarı-kronik) (Damalas ve Eleftherohorinos, 2011).

Pestisitlerin, uzun süreli ve rastgele kullanımları ciddi sağlık etkileri ile sonuçlanabilmektedir. İnsanlar, özellikle bebekler ve çocuklar, pestisitlerin kontrollü şekilde uygulanmaması sebebiyle bu kimyasalların zararlı etkilerine karşı oldukça savunmasızdır. Dünya Sağlık Örgütü verileri gösteriyor ki gelişmekte olan ülkelerdeki her yıl pestisit zehirlenmesi ve pestisit kaynaklı birçok ölüm gerçekleşmektedir. Tarımsal kaynaklı ilaçlar canlı vücuduna soluma, yutma ve deri yolu ile girmektedir.

Pestisitlerin insan sağlığı üzerindeki etkileri oldukça değişkenlik göstermektedir. Zararları hemen ortaya çıkabilir veya ortaya çıkmaları aylar, yıllar sürebilmektedir.

Pestisitlerin akut etkileri: İnsanların pestisitlere maruz kalması sonucu bazı akut etkiler oluşabilmektedir. Bu etkiler şu şekildedir; baş bölgesinde ağrı ve dönme, gözlerde kaşıntı ve batma, boğazda tahriş, karın bölgesinde ağrı, ciltte kızarıklık ve kaşıntı, görmede bulanıklık, körlük ve çok nadiren de olsa ölümle sonuçlanabilmektedir.

Pestisitlerin kronik etkileri: Pestisitlere uzun vadede maruz kalmanın etkileri genellikle öldürücüdür. Pestisitlere uzun süre maruz kalmak aşağıdaki hastalıklara sebep olmaktadır.

- Pestisit maruziyeti, koordinasyon ve hafıza kaybı, görme yeteneğinde azalma ve motor sinyal iletiminde azalma gibi çeşitli nörolojik sağlık etkilerine sebep olabilir.
- Uzun süreli pestisit maruziyeti bağışıklık sistemine zarar verir (Culliney vd., 1992).
- Vücutta uzun süre pestisit bulunması, erkek ve dişi üreme hormonlarının seviyelerini değiştirerek üreme yeteneklerini de etkilemektedir. Buna bağlı olarak da ölü doğum, doğum kusurları, kendiliğinden düşük ve kısırlığa neden olabilmektedir.
- Uzun süreli pestisit maruziyeti karaciğer, akciğer ve böbreklere de zarar verir ve kan hastalıklarına sebep olabilir.
- Organoklorinlerin yutulması ise ışığa, sese ve dokunmaya karşı aşırı duyarlılığa, baş dönmesine, titremeye, nöbetlere, kusmaya, mide bulantısına, kafa karışıklığına ve sinirliliğe neden olmaktadır (FAO & WHO, 2021).

1.3.1. Pestisitlerin Çevreye Etkisi

Çevre, dört ana bölüme ayrılabilir; hava, su, toprak ve biyota (Zacharia, 2011). Püskürtülerek uygulanan pestisitler buharlaşarak atmosfere ulaşp yağış yoluyla da göller, akarsular ve toprakta birikmektedir, toprak yüzeyinde biriken pestisitler ise yeraltı ve yerüstü su kaynaklarına ulaşmaktadır. Özetle; püskürtülerek uygulanan pestisitler, buharlaşarak havaya karışmakta, rüzgâr ve yağış yoluyla hedef olmayan organizma ve bitkilere ulaşabilmektedir (Akdoğan vd., 2012). Doğrudan toprağa uygulanan ilaçlar ise topraktan yıkanarak yakınlardaki yüzey suyu kütlelerine, toprak katmanlarına ve yeraltı sularına sızmaktadır. Pestisitler çevreye bırakıldıktan sonra güneş ışığı, su, diğer kimyasallar veya mikroorganizmaların etkisiyle parçalanabilirler

ve daha az zararlı ürünlerin ve bazı durumlarda daha toksik ürünlerin oluşumuna yol açabilirler. Ayrıca, herhangi bir şekilde bozunmaya karşı çok dirençli olabilirler ve çevrede uzun süre değişmeden kalabilirler, uzun mesafeler kat edebilir ve çevrede birikebilirler (Terziev ve Georgieva, 2019).

Pek çok pestisit doğada kolaylıkla bozunmaz toprakta kalarak yer altı sularına, yüzey sularına sızar ve çevreyi kirletir. Pestisitler kimyasal özelliklerine bağlı olarak organizmaya girerek besin zincirlerinde biyolojik olarak birikirler ve sonuç olarak insan sağlığını da etkilerler. Yoğun pestisit uygulamaları çevrede göz ardı edilemeyecek birçok olumsuz etkiye neden olur. Genel olarak, birkaç istisna dışında, insektisitler çevreye en zehirli pestisitlerdir, bunu fungusitler ve herbisitler takip eder. En tehlikeli pestisitler, su veya yağ çözünürlüğü temelinde ayırt edilebilenleri içerir. Suda çözünen bileşikler hedef alandan yeraltı sularına ve akarsulara kolayca taşınır, yağda çözünen kimyasallar, gıda zincirinde kolayca emilir ve bu da genellikle gıda zincirlerinde uzun süreli kalıcılığa neden olmaktadır (Yadav, 2007).

Tarımsal pestisitlerin içerdiği kimyasalların toprak üzerindeki olumsuz etkileri uzun yıllar boyunca devam edebilmektedir. Bu kalıcı kirleticiler, toprak mikrobiyal çeşitliliğini azaltarak ekosistem dengesini bozmakta ve toprak kalitesinin düşmesine neden olmaktadır (Zacharia, 2011). Yapılan araştırmalar, kimyasal kullanımının azaltılmasının toprak sağlığının korunmasında kritik bir rol oynadığını göstermektedir.

Toprağın organik madde içeriği ile su tutma kapasitesi arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Organik madde miktarı arttıkça, toprağın pestisitleri bağlama ve parçalama yeteneği de artmaktadır (Lotter vd., 2003). Ancak bu süreç, pestisitlerin tamamen zararsız hale geldiği anlamına gelmemektedir. Özellikle herbisitlerin bitki örtüsünü azaltıcı etkisi, toprağı erozyona karşı savunmasız hale getirmektedir. Bitki örtüsünün azalmasıyla birlikte yağmur suları ve rüzgârın neden olduğu erozyon, toprak yapısını bozmakta ve verimliliği önemli ölçüde düşürmektedir.

Erozyonun yol açtığı toprak yapısı bozulmaları, sadece tarımsal verimliliği etkilemekle kalmayıp aynı zamanda ekosistemin devamlılığını da tehdit etmektedir. Yapısı bozulmuş ve verimliliğini kaybetmiş topraklar, bitki gelişimini destekleyememekte ve sonuç olarak bölgedeki biyolojik çeşitliliğin azalmasına neden olmaktadır. Bu durum, uzun vadede tüm ekosistemin çöküşüne kadar varabilen ciddi

sonuçlar doğurabilmektedir. Dolayısıyla pestisit kullanımının toprak sağlığı üzerindeki bu çok yönlü etkilerinin dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir.

Pestisitlerin su kaynaklarına bulaşması dört temel yolla gerçekleşmektedir;

1. Uygulama sırasında drift (sürüklenme) yoluyla hedef dış alanlara yayılım.
2. Topraktan sızıntı yoluyla yeraltı sularına karışım.
3. Yüzey akışı ile su kaynaklarına taşınma.
4. Kazara dökülmeler.

Pestisitlerin su sistemlerinde oluşturduğu kirlilik düzeyi; kimyasalların suda çözünürlükleri, meteorolojik koşullar, uygulama alanının su kaynaklarına yakınlığı, toprak geçirgenliği ve uygulama yöntemi gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir.

Su ekosistemlerine ulaşan pestisitler hem insan sağlığı hem de sucul organizmalar üzerinde ciddi tehditler oluşurmaktadır. Bu kimyasallar, akuatik ekosistemlerde biyolojik dengeyi bozarak trofik zincirde geri dönüşü zor hasarlara yol açabilmektedir. Özellikle balık popülasyonları üzerindeki olumsuz etkiler, balıkçılık faaliyetlerinin temel geçim kaynağı olduğu bölgelerde ciddi ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Pestisitlerin neden olduğu su kalitesi bozulumu, sadece ticari balık türlerini değil, aynı zamanda ekosistemin devamlılığını sağlayan diğer akuatik organizmaları da olumsuz etkilemekte ve biyolojik çeşitlilik kaybına yol açmaktadır.

Ekosistemlerdeki türler arasında var olan karmaşık etkileşimler, pestisit kullanımından ciddi şekilde etkilenmektedir. Özellikle bilinçsiz pestisit uygulamaları, ekosistemin işleyişinde kritik rol oynayan kilit taşı türlerin yok olmasına yol açabilmektedir. Bu türlerin kaybı, besin ağının bozulmasına ve bunun sonucunda istenmeyen türlerin popülasyonlarında artış, diğer türlerin ise sayıca azalması gibi ekolojik dengesizliklere neden olmaktadır.

Haşere kontrolüne yönelik yapılan araştırmalar, pestisitlerin hedef alınmayan doğal predatörleri de öldürdüğünü ve bu durumun yeni haşere türlerinin ortaya çıkmasına yol açtığını göstermektedir. Bu kısır döngü, tarımsal üretimde pestisitlere olan bağımlılığın giderek artmasına sebep olmaktadır. Pestisitlerin doğrudan toksik etkileri ve dolaylı ekolojik sonuçları hem bitki hem de hayvan biyoçeşitliliği üzerinde kalıcı

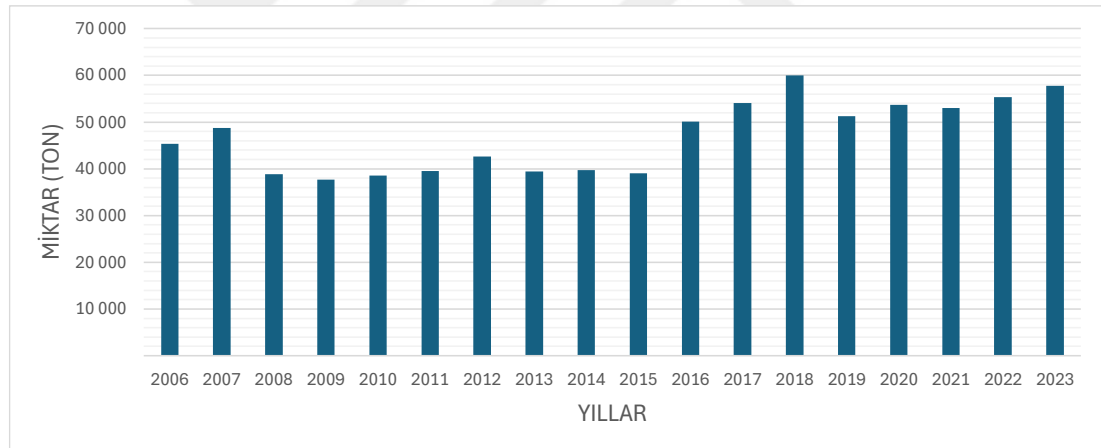
hasarlar bırakabilmekte ve tarım ekosistemlerinin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir (Zacharia, 2011).

1.3.2. Türkiye'de Pestisit Kullanımı

Tarımsal pestisitlerin Türkiye'de ve dünya genelinde yaygın kullanımının ardında çeşitli faktörler bulunmaktadır. Bunlar arasında:

- Geniş alanlarda patojen ve zararlı popülasyonlarının kontrol altına alınması ihtiyacı
- Uygulama kolaylığı ve pratik çözüm sunması
- Kısa vadede verim artışı sağlaması gibi avantajlar sayılabilir.

Türkiye'de pestisit kullanım miktarları incelendiğinde, 2006 yılında 45.376 ton olan yıllık tüketimin, 2023 yılında 57.766 ton seviyesine ulaştığı görülmektedir (Şekil 1.2). Bu artış eğilimi, pestisit kullanımının ülkemiz tarımındaki önemini ve giderek artan bağımlılığı ortaya koymaktadır (TÜİK, 2025).



Şekil 1.2 2006-2023 Yılları arası Türkiye'deki toplam tarım ilacı kullanımı. (TÜİK, 2025)

Tarımsal kaynaklı ilaçların etki ettikleri zararlı gruplara göre kullanım miktar yüzdeliklerine bakıldığında ülkemizde en fazla yüzdelik dilim %33,95 ile mantar öldürücü gruba (fungusit) aittir. Çizelge 1.1'de görüldüğü üzere 2023 yılında toplam tarım ilacı kullanımının yüzdelik dilimleri sırasıyla %26,85 ünü yabancı otları öldüren ilaçlar (herbisit), %21,34'sini böcekleri hedef alan ilaçlar (insektisit), %4,4'ünü akarları hedef alan ilaçlar (akarisit), %0,51'ini kemirgenleri hedef alanlar (rodentisitler) ve %11,97'ini de diğer pestisitler (bitki aktivatörü, bitki gelişim

düzenleyici, böcek cezbedici, fumigant, nematosit, kükürt, madeni yağlar) oluşturmaktadır (TÜİK, 2025).

Çizelge 1.1 2023 Yılı pestisit gruplarına göre kullanım miktarları. (TÜİK, 2025)

Bitki Koruma Ürün Türleri	Toplam (kg)	Oran
İnsektisit	12.326.000	%21,34
Fungusit	19.614.000	%33,95
Herbisit	15.509.000	%26,85
Akarisit	3.104.000	%5,37
Rodentisit / Mollussisit	297.000	%0,51
Diğerleri	6.916.000	%11,97
Toplam	57.766.000	-

Organofosfor (OP) pestisitler, organofosfor bileşikleri sınıfına giren kimyasallardır, tarımsal faaliyetlerde yaygın olarak kullanılır. OP pestisitlerinin etki mekanizması, kolinesteraz enzimini inhibe ederek sinir iletimini engellemektir. Bu durum, hedef organizmanın ölümüne yol açar. İnsanlar da bu kimyasal bileşenlere maruz kaldıklarında, sinir sistemi üzerinde olumsuz etkiler meydana getirilmesinin yanında, akut zehirlenmeler, uzun vadeli nörolojik hastalıklar, kanser, hormonal bozukluklar gibi daha karmaşık sağlık sorunlarına yol açabilir. Organofosforların insan sağlığına ve çevreye olan olumsuz etkilerinin artması, bu bileşiklerin daha sıkı denetim altına alınması ve etkili bir şekilde izlenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. OP pestisitlerinin su ekosistemlerine olan etkisi, özellikle su canlılarının biyolojik çeşitliliğini tehdit ederek, ekosistem hizmetlerini zayıflatmaktadır. Bu etkiler, ekosistemlerin iyileşmesini zorlaştıran ve sürekli bir tehdit oluşturan kalıcı kirliliğe yol açmaktadır. Ayrıca, pestisitlerin bazı türlerinin kalıcı etkiler yaratması, bu kimyasalların hem çevreye hem de insan sağlığına verdikleri zararın uzun vadeli olabileceğini göstermektedir. Bu uzun vadeli etkiler, özellikle tarımda yoğun pestisit kullanımının olduğu bölgelerde hem ekolojik dengenin hem de halk sağlığının sürdürülebilirliğini tehlikeye atmaktadır. OP pestisitlerinin çevreye verdikleri bu tür zararlı etkiler, pestisitlerin kullanımının azaltılması ve daha etkili izleme yöntemlerinin geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu durum, dünya çapında çevre koruma bilincinin artmasını sağlamış ve pestisitlerin denetimini güçlendirecek yeni nesil teknolojilere olan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır.

Pestisit kalıntılarının tespiti, insan sağlığını koruma ve çevreyi izleme açısından oldukça önemlidir. Ancak, pestisitlerin doğru ve etkin bir şekilde tespit edilmesi, günümüzde hala büyük bir zorluk teşkil etmektedir. Geleneksel tespit yöntemleri, genellikle yüksek hassasiyete sahip olmakla birlikte bazı dezavantajlara sahiptir. Özellikle kromatografi ve kötü spektrometrisi gibi yöntemler, yüksek maliyetli olmalarının yanı sıra uzun sreler alır ve karmaşık analiz süreçlerine sahiptir. Bu tekniklerin tarımsal alanlarda yaygın olarak kullanılması, büyük ölçekli analizlerde oldukça sınırlı kalmaktadır (Chen vd., 2025). Bu durum, tarımsal üretim yapan kk ölçekli çiftçiler için, bu testlerin uygulanabilirliğini önemli ölçüde azaltabilir. Ayrıca, bu yöntemlerin yüksek maliyetleri ve uzmanlık gerektirmesi, her zaman uygulanabilir olmasını engellemektedir. Bu bağlamda, daha ekonomik, pratik ve taşınabilir çözümler geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Hızlı, düşük maliyetli ve taşınabilir sensörlerin kullanımı, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, geniş çaplı pestisit izleme sistemlerinin oluşturulmasına katkı sağlayabilir. Bu sensörler, çevreye ve gıda güvenliğine yönelik önemli tehditlerin hızla izlenmesini sağlayacak, böylece toplum sağlığı korunmuş olacaktır (Zhang vd., 2020). Bu nedenlerle, pestisit kalıntılarının daha hızlı, ucuz ve güvenilir bir şekilde tespit edilmesi için yeni nesil sensör teknolojilerine olan ihtiyaç artmaktadır. Bu sensörlerin, çevresel izleme ve gıda güvenliği alanlarında çok daha geniş bir yelpazede kullanılabilmesi, daha verimli sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Çalışmada, bu gereksinim doğrultusunda CQDs esaslı sensörlerin geliştirilmesi amaçlanmış ve pestisitlerin tespiti için bu sensörlerin etkinliği araştırılmıştır.

Organofosfor (OP) pestisitler genellikle sinir sistemi üzerindeki etkileri nedeniyle böcekleri öldürmek amaçıyla kullanılır. OP pestisitleri, savaş kimyasalları olarak bilinen sinir gazlarının daha az zehirli versiyonlarıdır ve ilk kez kimyasal savaşın bir yan ürünü olarak ortaya çıkmıştır.

Organofosfor pestisitlerin keşfi ve kullanımı 20. yüzyılın ortalarına dayanır. İlk önemli çalışma 1930'larda Alman kimyager Gerhard Schrader tarafından yapılmıştır. Schrader, başlangıçta yeni bir insektisit (böcek öldürücü) geliştirmeye çalışırken, güçlü sinir gazları olan tabun ve sarin gibi bileşikleri keşfetmiştir. Bu bileşikler daha sonra kimyasal silahlar olarak kullanılsa da Schrader'in alışmaları OP pestisitlerin temellerini atmıştır. 1940'larda Schrader, kimyasal silah çalışmalarıyla paralel olarak

tarımda kullanılabilecek daha az toksik bileşikler üzerinde çalışmaya devam etti ve ilk organofosfor bazlı insektisit olan paratyon'u geliştirdi. Paratyon, özellikle tarımda yaygın olarak kullanılan ilk OP pestisit olarak tarihe geçti. Bunun ardından Malatyon gibi daha güvenli ve düşük toksik versiyonlar geliştirildi ve bunlar geniş çapta kullanıldı.

Malatyon, 1950'lerde ABD'de keşfedilmiş ve tarımda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Diğer bir yaygın OP pestisiti olan glifosat, aslında bir herbisit olarak 1970'lerde Monsanto tarafından geliştirilmiştir ve özellikle genetiği değiştirilmiş (GDO) bitkilerle birlikte kullanımı yaygınlaşmıştır. Glifosat, OP sınıfına tam olarak girmese de, pestisitler kategorisinde önemli bir yere sahiptir ve genellikle OP pestisitlerle birlikte ele alınır.

Organofosfor pestisitlerin yaygın kullanımı, tarımda verimi artırmak ve zararlı böceklerle mücadele etmek için büyük bir atılım olsa da zamanla bu kimyasalların çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri fark edilmiştir. 1980'ler ve 1990'lar boyunca, organofosfor pestisitlerin sinir sistemi üzerindeki olumsuz etkileri, özellikle tarım işçileri ve pestisitlerle sürekli temas halinde olan kişiler üzerindeki etkileri üzerine daha fazla bilimsel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar, kolinesteraz inhibitörleri olarak OP pestisitlerin sinir sistemini nasıl etkilediğini detaylı şekilde ortaya koymuştur. OP pestisitler, 20. yüzyılın ortalarından itibaren tarımsal zararlılarla mücadelede yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ancak bu kimyasalların uzun vadeli sağlık ve çevresel etkileri, özellikle nörolojik hasar ve ekosistem üzerindeki zararlı etkileri, 21. yüzyılda daha fazla incelenmektedir.

Bu çalışmada kullanılan pestisitler şu şekildedir,

1.4 Glifosat

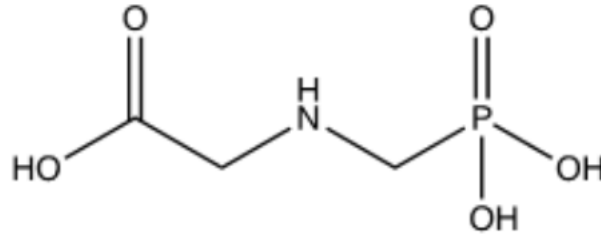
Glifosat (N-(fosfonometil) glisin), geniş etki spektrumuna sahip, seçici olmayan ve sistemik etkili bir herbisit olarak tanımlanmaktadır. Organofosforlu pestisitler sınıfında yer alan bu bileşik, ilk olarak 1950'li yıllarda İsviçreli kimyager Henry Martin tarafından metal şelasyon ajanı olarak geliştirilmiş ve patentlenmiştir. Ancak yabancı ot kontrolündeki etkinliği 1970'lerde fark edilmiş ve tarımsal uygulamalarda yaygınlık kazanmıştır.

Günümüz tarım uygulamalarında, artan gıda ihtiyacının karşılanması amacıyla yoğun olarak kullanılan glifosat, çok çeşitli yabancı ot türlerinin kontrolünde oldukça etkilidir. Piyasada bulunan ticari formülasyonları, farklı tarım ürünlerinde geniş spektrumlu yabancı ot mücadelesi için özel olarak tasarlanmıştır. Bununla birlikte, glifosatın yaygın kullanımının insan sağlığı ve çevresel sistemler üzerinde ciddi toksikolojik tehlikeler oluşturduğu bilimsel çalışmalarla ortaya konmuştur.

Glifosatın saf formu, kristalimsi beyaz bir toz görünümündedir. Fizikokimyasal özellikleri şu şekilde özetlenebilir:

- Suda çözünürlük: 12 g/L (20°C'de).
- Termal stabilite: 215°C üzerinde bozunma başlangıcı.
- pH değeri: %1'lik sulu çözeltide 2.5.
- Organik çözücülerde çözünürlük: Hekzan, kloroform, metanol ve toluende çözünmez.
- Yoğunluk: 1.705 g/cm³ (20°C'de).
- Buhar basıncı: 9.8×10^{-8} mmHg (1.31×10^{-2} mPa, 25°C'de).
- Uçuculuk: Belirgin uçucu özellik göstermez.
- Moleküler formül: C₃H₈NO₅P.
- Moleküler ağırlık: 169.07 g/mol.

Bu özellikleriyle glifosat, tarımsal uygulamalarda belirgin avantajlar sunarken, aynı zamanda çevresel kalıcılık ve toksisite açısından da önemli riskler taşımaktadır.



Şekil 1.3 Glifosat'ın kimyasal yapısı

Glifosatın insan sağlığı üzerindeki olası zararlı etkilerini ortaya koymak amacıyla yapılan çalışmalarda, bu maddenin idrar örneklerinde tespit edilmesi önemli bir odak noktası olmuştur. Özellikle tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu bölgelerde, glifosat üretim ve işleme tesislerine yakın yerlerde yaşayan bireylerin bu kimyasala maruz kalma riski yüksektir. Dolaylı maruziyet ise başlıca glifosat kalıntıları barındıran gıda ve su tüketimi yoluyla gerçekleşmektedir (Niemann L., vd., 2015, Gandhi K., vd., 2021).

Yapılan bir araştırmada, çiftçiler ve aileleri üzerinde yapılan incelemelerde, çiftçi eşlerinin %4'ünde ve çocuklarının %12'sinde glifosat kalıntılarına rastlanmıştır. Glifosatın topraktaki degradasyon süreci detaylı olarak incelenmiş, aşırı ve kontrolsüz kullanımın su ve toprakta birikime yol açtığı belirlenmiştir. Bu birikim, erozyonla taşınan topraklarda, yüzey sularında ve yeraltı su kaynaklarında glifosat konsantrasyonlarının tespit edilmesine neden olmaktadır. Glifosat, toprakta güçlü bir şekilde adsorbe olmakta ve mikrobiyal yıkıma uğramaktadır. Bu süreçte başlıca bozunma ürünü olan aminometilfosfonik asit (AMPA), yeraltı suları, sediment ve yüzey sularında sıklıkla gözlemlenmektedir (Richmond M. E., 2018).

Hem glifosat hem de AMPA, polar yapıları ve yüksek suda çözünürlükleri nedeniyle uçucu olmayan bileşiklerdir. Yapılan analizler, gıda ürünlerinde, içme sularında ve hayvan yemlerinde glifosat kalıntılarının bulunduğunu ortaya koymuştur. Bu da kronik maruziyetin en önemli kaynaklarından birinin besinler olduğunu göstermektedir (Muñoz J. P., vd., 2023).

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) tarafından belirlenen yöntemlerle hesaplanan potansiyel sağlık riskleri, pestisitlerle kontamine olmuş toprağa solunum, oral alım veya deri yoluyla temas gibi yollarla maruz kalmanın insan sağlığı açısından ciddi tehdit oluşturduğunu ortaya koymaktadır (USEPA, 2020). Ayrıca, Uluslararası Kansere Araştırmaları Ajansı (IARC), glifosatın yapısında kanserojenik bileşenler bulunduğunu ve "2A karsinojen" sınıfında değerlendirildiğini rapor etmiştir (IARC, 2015).

Glifosata maruz kalan bireylerde obezite, sindirim sistemi rahatsızlıkları, otizm spektrum bozuklukları, depresyon, Alzheimer, Parkinson, akciğer hastalıkları ve çeşitli kanser türleri gibi sağlık sorunlarının geliştiği gözlemlenmiştir (Samsel A., vd., 2013).

1.5 Malatyon

Malatyon (kimyasal adıyla O,O-dimetil-S-(1,2-dikarboetoksietil) fosforoditiyoat), $C_{10}H_{19}O_6PS_2$ formülüne sahip organofosforlu bir böcek ilacıdır. Tarımsal üretimde ve insan ve hayvan sağlığını tehdit eden hastalık taşıyıcı organizmaların (vektörlerin) popülasyonlarını azaltmak veya yok etmede yaygın kullanım alanı bulur (Larsam, M.M., 2008).

Malatyon, geniş etki spektrumu sayesinde hedef organizmalarda şu şekilde toksik etki oluşturur:

- Asetilkolinesteraz (AChE) enzim inhibisyonu yoluyla sinir iletimini bloke eder.
- Sinapslarda asetilkolin birikimine yol açarak,
- Hiperaktivite, paralizi ve sonuçta ölümle sonuçlanan nörotoksik süreci tetikler.

Kullanım Alanları

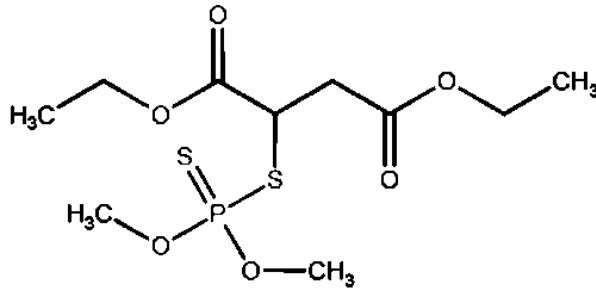
- Hayvancılıkta parazitlerin neden olduğu hastalıkların önlenmesi,
- Tarımda zararlı böcek popülasyonlarının kontrolü,
- Halk sağlığında sivrisinek gibi vektörlerle mücadele (Vural, N., 2005, John, S., vd., 2001).

Malatyonun çevredeki stabilitesi, uygulandığı ortamın koşullarına göre değişkenlik gösterir. Hidrolitik degradasyon sürecine maruz kalan kimyasal, özellikle alkali

ortamlarda (pH >7) hızla parçalanır. Topraktaki yarılanma ömrü 1-17 gün aralığında değişmekle birlikte, bu süreç;

- Toprağın mikrobiyal aktivitesi,
 - Nem oranı,
 - pH seviyesi
- gibi faktörlerden önemli ölçüde etkilenir.

Memeliler için nispeten düşük toksisite profili, malatyonun insan sağlığı uygulamalarında kullanımını mümkün kılar. Ancak, hedef dışı türler (özellikle sucul organizmalar) ve ekosistem dengesi açısından potansiyel riskler taşıdığı göz ardı edilmemelidir. Çevresel kalıntıların pH'a bağlı davranışı, risk değerlendirme çalışmalarında mutlaka dikkate alınmalıdır.



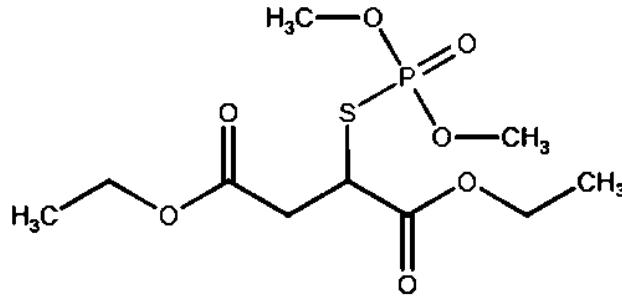
Şekil 1.4: Malatyon'un kimyasal yapısı

Organofosfat grubuna ait bir pestisit olan malatyon, memeliler ve insanlar üzerinde düşük toksik etkisi nedeniyle tercih edilen bir bileşiktir. Bu özelliğinin temelinde, yapısal olarak taşıdığı ve hidrolitik reaksiyonlarla kolayca parçalanabilen karboksil ester grupları yatmaktadır. Söz konusu hidroliz reaksiyonları, bileşiğin organizmada hızlı bir şekilde metabolize olmasını sağlamaktadır.

Bununla birlikte, malatyon'un çevresel davranışı incelendiğinde dikkat çekici bir kalıcılık sergilediği gözlemlenmektedir. Doğal koşullarda bozunma süresi birkaç günden başlayarak çeşitli çevresel faktörlere bağlı olarak aylara kadar uzayabilmektedir. Oral yutma, deri absorpsiyonu ve inhalasyon gibi çeşitli maruziyet yollarıyla vücuda girebilen bu bileşik, özellikle hepatik ve renal dokularda yoğun birikim göstermektedir.

Malatyon'un biyotransformasyonu primer olarak karaciğerde gerçekleşmekte ve bu süreçte sitokrom P-450 monooksijenaz sistemi kritik rol oynamaktadır. Metabolizma sırasında oluşan biyoaktivasyon sonucunda, orijinal bileşikten daha toksik karakterde metabolitler meydana gelebilmektedir. Özellikle malaokson adı verilen aktif metabolit, güçlü asetilkolinesteraz inhibitörü özelliğiyle nörotoksik etkiler ortaya çıkarmaktadır. Ancak, ileri metabolik reaksiyonlarla bu bileşik, dimetiltiyofosfat (DMTP) gibi toksisitesi daha düşük yan ürünlere dönüşmektedir. Bu dönüşüm sürecinde, malaokson molekülü metilasyon ve tiyol gruplarıyla konjugasyon gibi kimyasal modifikasyonlara uğramaktadır.

Malatyon ve metabolitlerinin vücuttan eliminasyonu çoğunlukla renal (idrar) ve hepatik (safra) yollarla gerçekleşmekte olup, dışkı yoluyla da atılım gözlemlenmektedir. Ancak klinik çalışmalar, bileşiğin çok küçük bir kısmının değişime uğramadan veya DMTP formunda vücuttan atılabildiğini göstermektedir (Buratti, F. M., vd., 2005, Kozacı, N., 2006).



Şekil 1.5 Malaoksan'ın kimyasal yapısı

Malatyon, dietil (dimetoksi tiyofosforiltiy) süksinat olarak bilinen, tipik olarak kehribar renğinde ve keskin kokulu (kogarca/sarımsak benzeri) bir organofosfat bileşiğidir. 330,36 g/mol moleküler ağırlığa sahip olan bu pestisit, suda oldukça sınırlı çözünürlük gösterir (25°C'de 145 mg/L veya %0,0145).

Bileşiğin temel fiziksel özellikleri şöyledir:

- Faz geçiş sıcaklıkları: 2,85°C (erime noktası), 156°C (kaynama noktası)
- Buhar fazı davranışı: 30°C'de 5,3 MPa buhar basıncı
- Toprak adsorpsiyon kapasitesi: $K_{oc} = 1800$

Malatyon'un organik çözücülerle etkileşimi incelendiğinde:

- Alifatik hidrokarbonlar ve petrol türevlerinde kısıtlı çözünürlük
- Genel olarak organik fazda düşük çözünürlük eğilimi

Sistemik olmayan etki mekanizmasına sahip bu bileşik, Türkiye'de önemli bir pestisit olarak:

- Tarımsal üretimde (meyve/sebze zararlıları)
- Depolama alanlarında (ambarlardaki böcek kontrolü)
- Kentsel alanlarda (evsel haşere yönetimi) gibi çeşitli uygulama alanlarında yaygın şekilde kullanılmaktadır. (British Crop Production Council, 2012)

1.6 Fenamifos

Organofosfat grubuna ait sistemik bir nematosit ve insektisittir. Sistematik ismi etil 4-metiltiyo-m-tolil izopropilfosforamidat ($C_{11}H_{16}NO_2PS$) olan bu bileşik, özellikle toprak zararlılarına ve kök yiyen nematodlara karşı yaygın şekilde kullanılmıştır. Yüksek toksisitesiyle bilinir; sıçanlarda oral LD50 değeri 2,5 mg/kg olup, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından "Toksikoloji Kategori I" (aşırı derecede zehirli) sınıfında sınıflandırılır.

Fenamifos, sinir sisteminde asetilkolinesteraz enzimini inhibe ederek çalışır, bu da nörotoksik etkiye ve canlılarda felç/ölüme yol açar. Çevresel persistansı oldukça yüksektir: Anaerobik yer altı sularında 234 günden uzun yarı ömür gösterir ve toprakta uzun süre parçalanmadan kalabilir. Bu özellikleri nedeniyle insan sağlığı (akut zehirlenme, kronik nörolojik etkiler) ve ekosistem (hedef dışı canlılar, su kirliliği) için ciddi risk oluşturur.

Son çalışmalar, fenamifosun [Zr-MOP][POM] hibrit tuzları gibi katalizörlerle 390 nm ışık altında iki aşamalı bir süreçle (fotooksidasyon + hidroliz) parçalanabileceğini göstermiştir. Bu süreçte önce fenamifos sülfoksit (FSO) oluşur, ardından daha az toksik olan 3-metil-4-(metilsülfinil)fenol (MMSP) ve fosfat bileşenlerine ayrışır. MMSP'nin oral LD50 değeri (1,420 mg/kg), orijinal bileşiğe kıyasla önemli ölçüde daha güvenlidir.

Günümüzde birçok ülkede kısıtlı veya yasaklı olan fenamifos, tarımda sürdürülebilir alternatiflerin geliştirilmesi gerekliliğini vurgulayan bir örnektir. Detoksifikasyon çalışmaları, özellikle su kaynaklarındaki kalıntıların temizlenmesi için umut vaat etmektedir. (Perona-Bermejo vd., 2024).

1.7 Fosetil-Al

Kimyasal formülü $C_6H_{18}AlO_9P_3$ olan sistemik bir fungusittir ve özellikle su küfleri sınıfına ait patojenlere karşı yüksek etkinlik gösterir. Bu bileşik, benzersiz sistemik özellikleriyle öne çıkar; bitki dokularında hem yukarı (akropetal) hem de aşağı (basipetal) yönlü hareket edebilme yeteneğine sahiptir. Fosetil-Al, koruyucu, tedavi edici ve yok edici etkileri sayesinde geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Tohum uygulamalarında, özellikle bezelyelerde mildiyö kontrolü için kullanılırken, yaprak spreyleri şeklinde üzüm bağlarında ve sebzelerde hava kaynaklı mildiyö hastalıklarına karşı etkilidir (Müller vd., 2012). Ayrıca, toprak uygulamaları ile çilek ve ananas gibi bitkilerde kök çürüklüğüne neden olan bitki yok edici (*Phytophthora*) türlerinin kontrolünde başarıyla kullanılmaktadır.

Fosetil-Al'nin bir diğer önemli uygulama alanı, ağaç gövdelerine enjeksiyon yöntemiyle yapılan uygulamalardır. Bu yöntem, avokado gibi ağaçlarda toprak kaynaklı bitki yok edici türlerine karşı etkili bir kontrol sağlar. Ticari olarak "Aliette" markası altında pazarlanan bu fungusit, ıslanabilir tozlar ve suda dağılılabilen granüller gibi çeşitli formülasyonlarda mevcuttur. Fosetil-Al'in çevresel davranışı incelendiğinde, toprakta yarılanma ömrünün oldukça kısa (0,1 gün) olduğu, ancak fotokimyasal bozunmaya ve hidrolize karşı stabil olduğu görülmektedir. Bu özellikleri, onu çevre dostu bir fungusit seçeneği haline getirmektedir.

(Müller vd., 2012)

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2019 yılında Paulami Mandal, jelatinden hidrotermal yöntemle sentezlenen karbon noktaları, pestisitlerin tespiti için floresans temelli bir sensör olarak kullanılmıştır. C-karbon noktaları yüzeyinde amino, karboksil ve hidroksil grupları bulunmaktadır. Bu fonksiyonel gruplar sayesinde karbon noktaları, imidaklopid gibi pestisitlerle yüksek afiniteyle ($3,24 \times 10^6$, $2,4 \times 10^6$) etkileşime girerek floresans şiddetinde artışa (turn-on) neden olurken, atrazin, klorpirifos, lindan ve tetradifon gibi diğer pestisitlerle etkileşimde floresans sönmesi (turn-off) gözlemlenmiştir. Çalışmada, statik türde bir temel durum kompleksi oluşumu ve elektron transfer reaksiyonları gibi mekanizmalar incelenmiştir. İmidaklopid için tespit sınırı $0,013 \mu\text{M}$, tetradifon için ise $0,04 \mu\text{M}$ olarak belirlenmiştir. Zaman çözünürlüklü floresans ömrü ve anizotropi deneyleri, etkileşim mekanizmalarını desteklemiştir. Ayrıca, elektrokimyasal ölçümler ve gerçek nehir suyu örneklerinde %92-97 arasında geri kazanım verimliliği elde edilerek yöntemin pratik uygulanabilirliği gösterilmiştir. Bu araştırma, çevre dostu, yüksek hassasiyetli ve seçici bir pestisit izleme yöntemi sunarak tarım ve çevre bilimlerinde önemli bir potansiyele sahiptir (Mandal vd., 2019)

Linlin Wang ve arkadaşları, dopamin tespiti için glutatyon ile modifiye edilmiş N-katkılı karbon noktaları (GSH-NCD) geliştirmişlerdir. Azot katkılı karbon noktaları, sitrik asit ve ürenin hidrotermal yöntemle işlenmesiyle sentezlenmiş ve ardından glutatyon ile yüzeyleri pasifleştirilerek optik özellikleri iyileştirilmiştir. Elde edilen GSH-NCD'ler, sulu çözeltide yoğun mavi floresans (440 nm) sergilemiş ve dopamin varlığında seçici bir şekilde floresans sönmesi gözlenmiştir. Dopamin tespiti için geliştirilen bu yöntem, 20 nM ile $10 \mu\text{M}$ aralığında doğrusal bir tespit aralığı ve 1,01 nM gibi düşük bir tespit sınırı sunmuştur. Mekanizma incelendiğinde, floresans sönmesinin, glutatyon ile dopamin arasındaki elektrostatik etkileşimler ve fotoindüklenmiş elektron transferi ile iç filtre etkisinin birleşimi sonucu gerçekleştiği belirlenmiştir. GSH-NCD'ler, askorbik asit, ürik asit gibi diğer biyomoleküllerin varlığında herhangi bir önemli etkileşim göstermemiş, yüksek seçicilik sergilemiştir. Ayrıca, gerçek idrar örneklerinde yapılan testlerde başarılı sonuçlar alınmıştır. Bu çalışma, floresans tabanlı sensörlerin nörotransmitter tespitindeki potansiyelini vurgulamakta ve yüksek hassasiyet, seçicilik ve biyolojik uyumluluk açısından önemli bir adım olarak öne çıkmaktadır. GSH-NCD'lerin sentez yöntemi ve dopamin tespit

mekanizması, benzer sensörlerin geliştirilmesi için bir referans niteliği taşımaktadır (Wang vd., 2020)

Ferreira ve Orth, 2017 yılında pirinç tarımının önemli bir atık ürünü olan pirinç kabuğu, organofosfat pestisitlerin detoksifikasyonu için sürdürülebilir bir katalizör olarak kullanılmıştır. Pirinç kabuğu, imidazol grupları ile fonksiyonlandırılarak (RHIMZ) organofosfat bileşiklerinin parçalanmasında etkili bir katalizör haline getirilmiştir. RHIMZ, model substrat olan dietil 2,4-dinitrofenil fosfat ile yapılan reaksiyonlarda spontan reaksiyona kıyasla 10^5 kat daha yüksek katalitik aktivite göstermiştir. Ayrıca, gerçek bir pestisit olan Paraokson'un (spontan ömrü = 1 milyon yıl) %60'ını 20 günde parçalayarak 10^7 katlık bir reaktivite artışı sağlamıştır. Bu çalışma, tarımsal atıkların yeniden kullanımı ve toksik pestisitlerin detoksifikasyonu açısından çevre dostu bir yaklaşım sunmaktadır (Ferreira & Orth, 2017)

Zhao ve arkadaşları (2018), karbon nanomalzemeler kullanılarak geliştirilen biyosensörlerin pestisit tespitindeki son gelişmeleri ve uygulamaları kapsamlı bir şekilde incelemektedir. Pestisitlerin aşırı kullanımı, çevre ve insan sağlığı üzerinde ciddi riskler oluşturabilecek kalıntı sorunlarına yol açmaktadır. Geleneksel analiz yöntemlerinin karmaşıklığı ve yüksek maliyeti nedeniyle, karbon nanomalzemelerin üstün özellikleri (yüksek elektriksel iletkenlik, katalitik aktivite, biyouyumluluk vb.) kullanılarak geliştirilen biyosensörler, pestisit tespiti için umut vaat eden alternatifler sunmaktadır. Çalışmada, başlıca karbon nanomalzemeler (grafen, karbon nanotüpler, karbon noktalar, karbon siyahı ve sıralı mezoporous karbon) ve bunların pestisit biyosensörlerindeki rolleri detaylandırılmıştır. Biyotanıma elemanları olarak enzim tabanlı (örneğin, asetilkolinesteraz ve organofosfor hidrolaz) ve enzimsiz (antikor ve aptamer) sistemler karşılaştırılmıştır. İki temel sinyal iletim mekanizması olan elektrokimyasal ve optik biyosensörlerin avantajları ve sınırlamaları tartışılmıştır. Özellikle, nanomalzemelerin kullanımıyla tek adımlı analiz, etiketsiz ve çoklu sinyal amplifikasyon stratejilerinin geliştirilmesi vurgulanmıştır. Çalışma, karbon nanomalzeme tabanlı biyosensörlerin laboratuvar aşamasından ticari uygulamalara geçişindeki zorlukları (örneğin, stabilite, maliyet ve matriks etkileri) ele alarak, gelecekteki araştırmalar için yeşil ve pratik çözümlerin gerekliliğini ortaya koymaktadır (Zhao vd., 2018).

Bu alışmalar, karbon kuantum noktaları gibi nanomalzemelerin pestisit tespiti ve çevresel izleme alanında umut verici bir çözüm sunduğunu göstermekte ve bu çalışmanın literatürdeki önemini pekiştirmektedir.

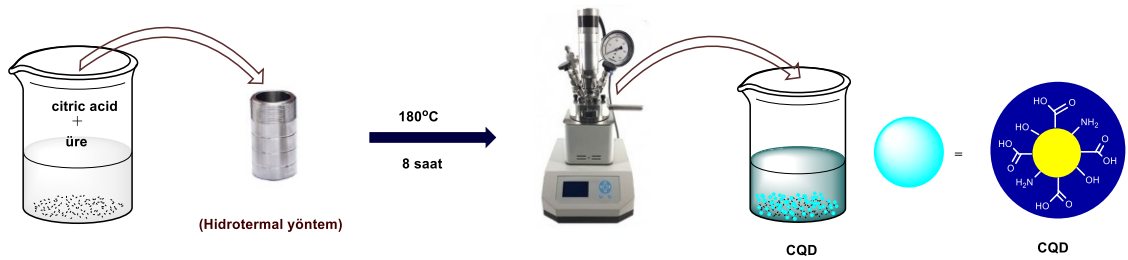


3. MALZEME VE MATERYAL

İlk aşamada, karbon kuantum noktanın (CQD) ve 2-amino-3-pirazin ile modifiye edilmiş türevleri olan CQD-Py nin sentezlenmesi, istenilen boyutlarda elde edilmesi ve karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Karbon kuantum noktalar da en önemli basamaklardan biri kullanılacak karbon kaynağıdır. Literatürde de oldukça sık kullanılan sitrik asit bu maddelerden biridir ve bu çalışmada da karbon kaynağı olarak kullanılmıştır. Üzerinde -OH ve -COOH gruplarının olması sitrik asidi bu tür çalışmalarda cazip hale getirmektedir. Ayrıca floresans özelliğini artırmasından dolayı CQD sentezinde üre kullanılmıştır.

İlk olarak, CQD sentezi Şekil 3.1’deki gibi hidrotermal yöntemle gerçekleştirilmiştir. İlk olarak 3.0 g sitrik asit monohidrat (0.014 mol) tartılarak 5 mL deiyonize su içerisinde çözülmüş ve 2.5 g üre (0.042 mol) ile karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım Teflon otoklava aktarılarak 8 saat süresince 180 °C’de ısıtılmıştır. Reaktör oda koşullarında soğutulduktan sonra karbonizasyon işlemi sonrası alınan malzemenin 10 mL deiyonize su içerisinde çözünmesi sağlanmıştır. Oluşan bu süspansiyondan büyük parçacıkları uzaklaştırmak için 5x20 dakika 6000 rpm’de santrifüjlenmiştir. Santrifüj sonrası süpernatant (üst) alınmış ve 90 °C’de etüvde kurutulmuştur. Temsili sentez şeması Şekil 3.1’de verilmiştir (Ürün CQD olarak kodlanmıştır).



Şekil 3.1. CQD sentezinde kullanılan hidrotermal yöntemi.

Sentez koşulları optimize edilerek, floresans özellikleri yüksek, suda çözünebilen ve boyutları 10 nm’nin altında olan CQD’lerin üretiminin sağlandığı belirlenmiştir. Daha sonra organofosfor pestisitlerin yüzeye daha iyi bağlanabilmesi için farklı yapıda organik bileşik olan ve literatürde bulunmayan 2-Amino-3-pirazin optik sensör (CQD-Py) sentezlenmiştir. Bu sensör organofosfor pestisitlerin ve çeşitli iyonların analizlerinde kullanılacaktır (Wang, F., vd., 2017)

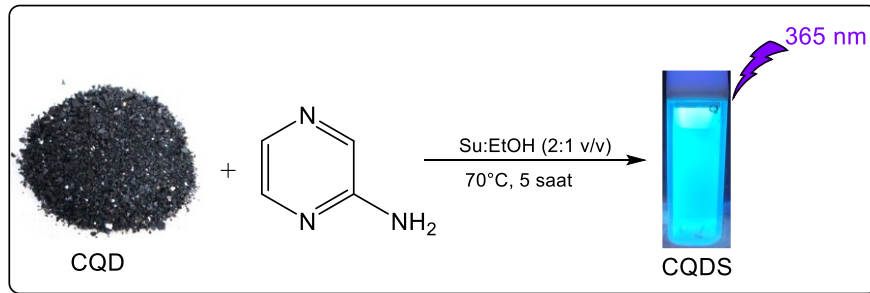
3.1. Karbon Kuantum Noktalarının Yüzeylerinin İşlevselleştirilmesi

Karbon kuantum noktalarının yüzeylerinin işlevselleştirilmesi için 2-amino-3-pirazin kullanılmıştır. (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 CQD-Py sentez şeması.

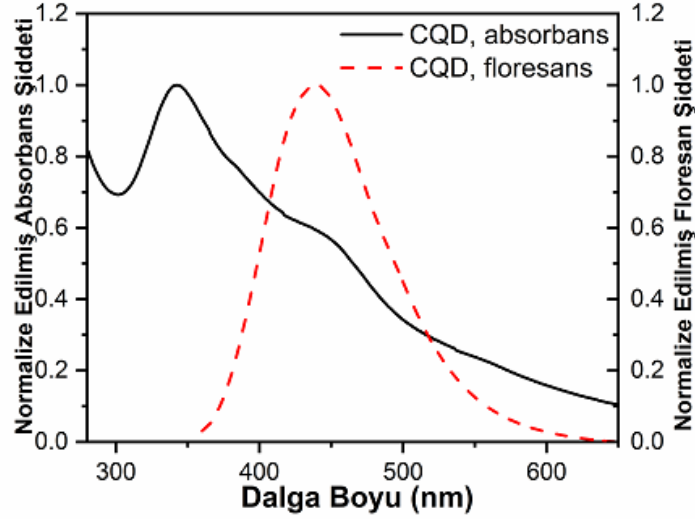
CQD-Py: 1,0 g CQD 50 mL'lik balon içerisinde bulunan ~10 mL saf su içerisinde tamamen çözülerek üzerine 5 mL etanolde çözünmüş 2-amino-3-pirazin 0,48 g (0,005 mol) ilave edilmiş ve oda koşullarında karıştırılmıştır. Daha sonra reaksiyon karışımı geri soğutucu altında 70 °C'de 5 saat karıştırıldıktan sonra reaksiyon sonlandırılmıştır. Reaksiyon sonrası elde edilen çözeltiden büyük parçacıkları uzaklaştırmak için 3x20 dakika 6000 rpm'de santrifüjlenmiştir. Santrifüj sonrası süpernatant (üst) kısım alınmış ve 90 °C'de etüvde kurutulmuştur. Temsili sentez şeması Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3 CQD-Py sentez sürecini modellemesi.

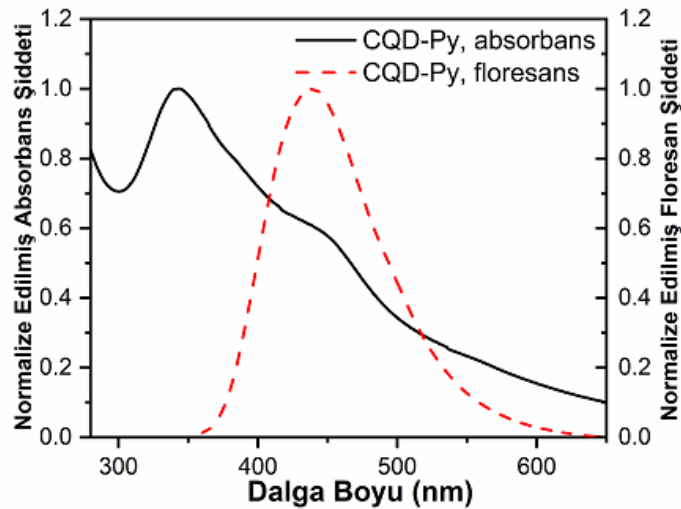
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

CQD ve CQD-Py'nin Spektral Karakteristikleri ve Organofosfor temelli pestisitlere karşı seçicilikleri;



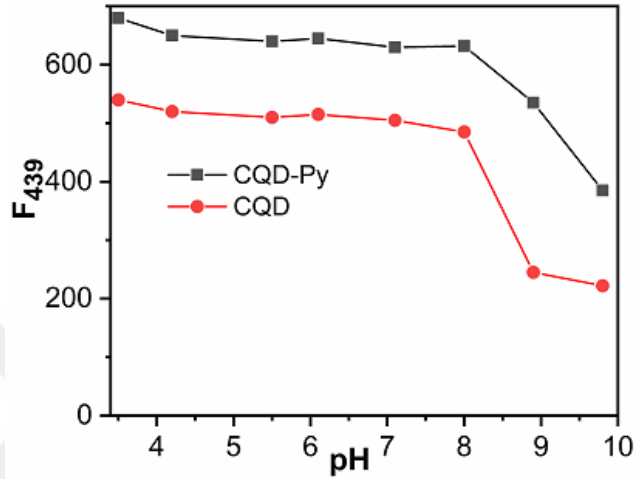
Şekil 4.1 Ultra-saf su içerisinde CQD'nin (0,75 mg/ml) normalize edilmiş UV-vis ve floresan spektrumları.

Şekil 4.1'de gösterildiği gibi, CQD normalize edilmiş emilim ve emisyon spektrumları ultra-saf su içerisinde test edilmiştir. CQD, ~342 nm'de dar bir maksimum emilim bandı gösterir. 340 nm'lik uyarma ışığı altında, CQD, ~439 nm'de dar bir maksimum floresan emisyon tepe noktası gösterir. Bu nedenle, CQD ~97 nm'lik daha büyük bir Stokes kaymasına sahiptir.



Şekil 4.2 Ultra-saf su içerisinde CQD-Py'nin (0,75 mg/ml) normalize edilmiş UV-vis ve floresan spektrumları.

CQD-Py'nin de normalize edilmiş emilim ve emisyon spektrumları incelenmiştir. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi, CQD-Py, ~344 nm'de dar bir maksimum emilim bandı gösterir. 340 nm'lik uyarma ışığı altında, CQD-Py, ~439 nm'de dar bir maksimum floresan emisyon tepe noktası gösterir. Bu nedenle, CQD-Py ~95 nm'lik daha büyük bir Stokes kaymasına sahiptir. CQD ve CQD-Py'nin spektral özellikleri karşılaştırıldığında aralarında büyük farklar olmadığı bulunmuştur.

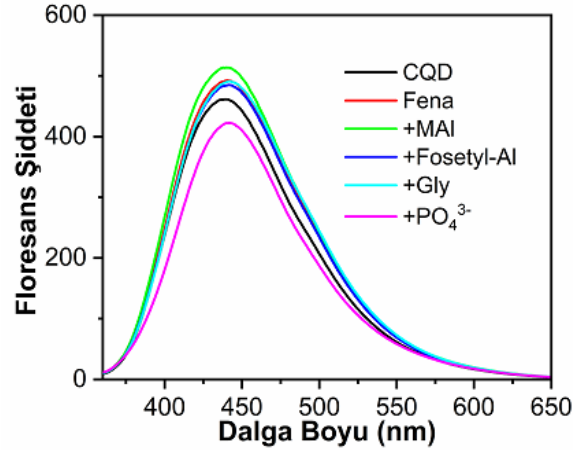


Şekil 4.3 CQD (0,75 mg/ml) ve CQD-Py'nin (0,75 mg/ml) farklı pH'larda davranışları.

CQD ve CQD-Py'nin sensör olarak kullanılabilirliklerinin test amacıyla organofosfor temelli (OP) pestisitlere karşı seçicilikleri incelenmiştir. Seçicilik deneylerinden önce farklı pH'lardaki davranışları incelenmiştir. CQD ve CQD-Py floresans spektrumları (Ex= 340 nm) 3,4-9,8 arasındaki farklı pH'larda toplanmış ve 439 nm'deki emisyon değerleri alınarak Şekil 4.3 oluşturulmuştur. CQD ve CQD-Py'nin her ikisi de pH 3,4-8,0 aralığında hidrojen iyonlarına cevap vermezken, pH 8,00'dan yüksek olduğunda emisyon değerlerinde önemli derecede azalmalar görülmüştür (Şekil 4.3). Yapılan literatür taramalarında da, yüksek pH'larda karbon noktalarının floresans değerlerinde benzer değişimler olduğu görülmüştür (Man vd., 2023; Lazarevic-Pasti, 2023). OP pestisitlerin eklemeleri ortamın pH'sını yükseltmediği için seçicilik denemelerinde ultra-saf su kullanılmasına karar verilmiştir.

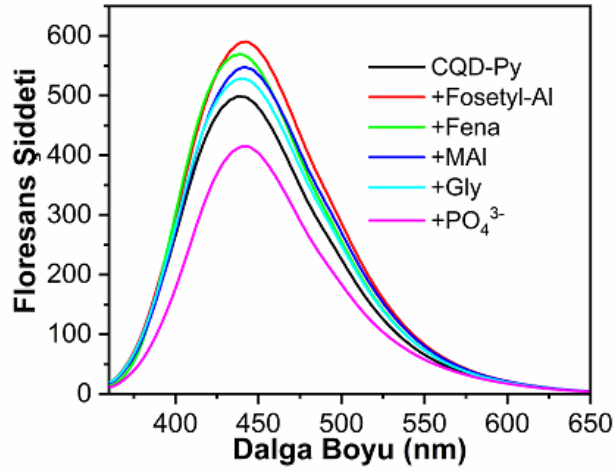
OP pestisitlerin seçiciliği için, fenamifos (Fena), malatyon (MAL), glifosat (Gly), fosetil-Al ve fosfat iyonu (PO_4^{3-}) kullanılmıştır. Maddeler CQD ve CQD-Py çözeltilerinin üzerine son konsantrasyonları 1 mg/ml olacak şekilde eklenmiştir. Şekil 4.4'de görüldüğü gibi, CQD üzerine OP pestisitler eklendiğinde içlerinden MAL,

floresans şiddetini önemli miktarda artırmıştır. PO_4^{3-} ise floresans şiddetinde azalmaya (~% 20) sebebiyet vermiştir.



Şekil 4.4 CQD'nin (0,75 mg/ml) bazı OP pestisitler (1 mg/ml) ve PO_4^{3-} (1 mg/ml) karşı floresan tepkileri.

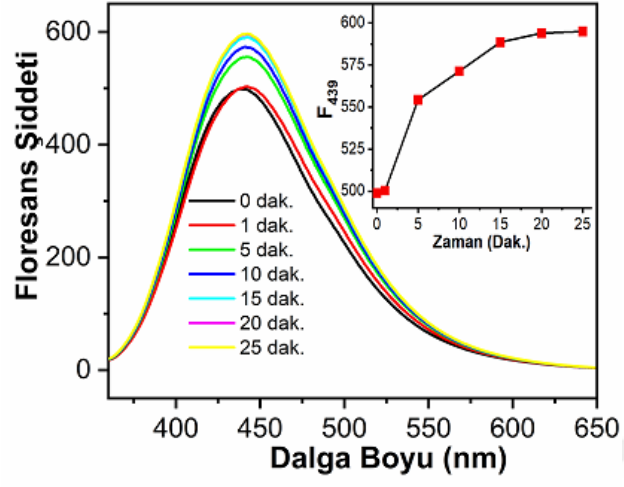
Şekil 4.5, CQD-Py'nin OP pestisitlerine ve PO_4^{3-} 'ye karşı floresans cevaplarını göstermektedir. CQD-Py'nin üzerine fosetil-Al eklendiğinde floresans şiddeti önemli derecede artmış ve 7 nm bir kırmızı kayma gözlemlenmiştir. PO_4^{3-} ise floresans şiddetinde azalmaya (~% 20) sebebiyet vermiştir. CQD ve CQD-Py'nin seçicilikleri karşılaştırıldığında CQD MAI'a cevap verirken CQD-Py fosetil-Al'ye cevap vermiştir.



Şekil 4.5 CQD-Py'nin (0,75 mg/ml) bazı OP pestisitler (1 mg/ml) ve PO_4^{3-} (1 mg/ml) karşı floresan tepkileri.

CQD-Py + Fosetil-Al çözeltisinin absorpsiyon ve floresans özellikleri 1-25 dakika aralığında izlenmiştir. 439 nm'de ölçülen floresans şiddeti, reaksiyonun başlamasıyla

birlikte 1. dakikadan itibaren artış göstermiş ve 20 dakika sonunda dengelenerek sabit kalmıştır. (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Ultra saf su içerisinde farklı reaksiyon zaman aralıklarında (0, 1, 5, 10, 15, 20, ve 25 dakika) CQD-Py+fosetil-Al'nin floresans spektrumları.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada OP pestisitlerin seçiciliği için, fenamifos (Fena), malatyon (MAL), glifosat (Gly), fosetil-Al ve fosfat iyonu (PO_4^{3-}) kullanılmıştır. Deney ve gözlemler, OP pestisitler için karbon kuantum noktaları tabanlı floresan sensörlerin geliştirilmesini ve bu sensörlerin etkinliğini ortaya koymuştur. Sonuçlar, malatyonun ve fosetil-Al'nin düşük konsantrasyonlarda dahi yüksek hassasiyetle tespit edilebildiğini ancak glifosatın tespit edilemediğini göstermiştir.

Fosetil-Al ve CQD-Py arasındaki reaksiyon süresi incelenmiş olup, CQD-Py + Fosetil-Al çözeltisinin absorpsiyon ve floresans özellikleri 1 ila 25 dakikalık zaman aralıklarında değerlendirilmiştir. 439 nm'de ölçülen floresans şiddetinin 1. dakikadan itibaren artmaya başladığı ve 20. dakikadan sonra sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Bu bulgu, Fosetil-Al ile CQD-Py arasındaki reaksiyonun 20 dakika içinde tamamlandığını ortaya koymaktadır.

Ayrıca, yapılan ön deneyler, 2-amino-3-pirazin ile modifiye edilen CQD'lerin seçicilik davranışlarında değişiklikler olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, CQD yapılarına farklı fonksiyonel grupların (R grupları) eklenerek yeni sensör sistemlerinin geliştirilmesi açısından umut vaat etmektedir. Bu bulgular ışığında, ileriki çalışmalarda CQD tabanlı nanomalzemelerin tasarımı ve uygulama potansiyelinin araştırılması önerilmektedir.

Bu çalışmanın bulguları, çevresel izleme ve gıda güvenliği alanlarında önemli bir potansiyel sunmaktadır. Özellikle düşük maliyetli, hızlı ve güvenilir analizlerin mümkün olması, sensörlerin pratik uygulamalarda yaygınlaşabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, sensörlerin farklı pestisit türleri ve daha karmaşık çevresel örneklerde test edilmesi, gelecekteki araştırmalar için bir odak noktası olabilir.

Pestisit tespitinde sensörlerin taşınabilirliğinin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılabilir. Ayrıca, bu teknolojilerin su ve toprak kirliliğini izleme projelerinde entegre bir şekilde kullanılması, çevresel kirliliğin kontrol altına alınmasına katkı sağlayabilir.

KAYNAKLAR

Ağar, S., Aydınoğlu, H., Temel, O., İkizunal, K., & Ece, H. (1991). Pestisit kullanımının tarihçesi bugünü ve geleceği. Türkiye Entomoloji Dergisi, 15(4), 247-256.

Akdoğan, A., Divrikli, Ü., & Latif, E. (2012). Pestisitlerin önemi ve ekosisteme etkileri. Akademik Gıda Dergisi, 10(1), 125-132.

Alivisatos, A. P. (1996). Semiconductor clusters, nanocrystals, and quantum dots. Science, 271(5251), 933-937. <https://doi.org/10.1126/science.271.5251.933>

Ayrancı, R. (2017). Floresans grup içeren iletken polimerlerin sentezi, elektrokromik ve sensör uygulamaları [Doktora tezi, Pamukkale Üniversitesi].

Bak, S., Kim, D., & Lee, H. (2016). Graphene quantum dots and their possible energy applications: A review. Current Applied Physics, 16(9), 1192-1201. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2016.03.026>

Berberan-Santos, M. N. (Ed.). (2008). Fluorescence of supermolecules, polymers, and nanosystems. Springer Science & Business Media.

Bernardes, M. F. F., Pazin, M., Pereira, L. C., & Dorta, D. J. (2015). Impact of pesticides on environmental and human health. In A. C. Andreazza & G. Scola (Eds.), Toxicology studies: Cells, drugs and environment (pp. 195-233). InTech.

Bingül, S., Önal, Y. & Gökbulut, İ. (2023). Geleceğin Malzemesi Olarak Karbon Kuantum Noktacık Ve Uygulama Alanları. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (50), 23-29.

Birişik, N., Özdem, A., Karahan, A., Sezgen, M., Ertürk, S., Alkan, M., Çakır, E., Elibüyük, A. E., Koca, E., & Aksu, P. (2018). Teoriden pratiğe kimyasal mücadele. Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü.

British Crop Production Council. (2012). The pesticide manual: A world compendium (16th ed.). BCPC Publications.

Buratti, F.M., D'Aniello, A., Volpe, M.T., Meneguz, A., and Testai, E., Malatiyon bioaktivasyon in the human liver: the contribution of different cytochrome p450 isoforms. *Drug Metab. Dispos.* 33: 295-302. 2005.

Chen, L., Kan, J., Zalán, Z., Xu, D., Cai, T., & Chen, K. (2025). Application of nanomaterials in the detection of pesticide residues in spices. *Food Chemistry*, 473, 143101. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143101>

Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2022). Tarım ilacı (pestisit) kullanımı. <https://cevresehgostergeler.csb.gov.tr/tarim-ilaci-pestisit-kullanimi-i-85834>

Çınar, A., & Uygun, N. (2001). Bitki koruma. Adana Devlet Planlama Teşkilatı.

Daş, Y. K., & Aksoy, A. (2016). Pestisitler. *Türkiye Klinikleri Veterinary Sciences-Pharmacology and Toxicology-Special Topics Journal Identity*, 2(2), 1-17.

Ecevit, O. (1999). Tarımsal mücadele ilaçları ve çevreye olan etkileri. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yayınları.

Ekimov, A. I., Onushchenko, A. A., & Tsekhomskii, V. A. (1981). Quantum size effect in the optical spectra of semiconductor microcrystals. *Soviet Physics Semiconductors*, 15(5), 605-609.

Erdoğan, C. (2024). Türkiye’de ve Dünya’da bitki koruma ürünlerinin kullanımının değerlendirilmesi ve öneriler. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 27(2), 382-392.

Eskalen, H., Uruş, S., Cömertpay, S., Kurt, A. H., & Özgan, Ş. (2020). Microwave-assisted ultra-fast synthesis of carbon quantum dots from linter: Fluorescence cancer imaging and human cell growth inhibition properties. *Industrial Crops and Products*, 147, 112209. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112209>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) & World Health Organization (WHO). (2021). The International Code of Conduct on Pesticide Management: Managing pesticides in agriculture and public health – A compendium of FAO and WHO guidelines and other resources (2nd ed.). Rome. <https://doi.org/10.4060/cb3179en>

Ferreira, J. G. L., & Orth, E. S. (2017). Degrading pesticides with waste product: Imidazole-functionalized rice husk catalyst for organophosphate detoxification. Journal of the Brazilian Chemical Society, 28(9), 1760-1768. <https://dx.doi.org/10.21577/0103-5053.20170027>

Food and Agriculture Organization (FAO). (2021). World food and agriculture - Statistical yearbook 2021. <https://doi.org/10.4060/cb4477en>

Gandhi K., Khan S., Patrikar M., Markad A., Kumar N., Choudhari A., Sagar P., Indurkar S., (2021). Exposure risk and environmental impacts of glyphosate highlights on the toxicity of herbicide co-formulants. Environmental Challenges, 4, 100149.

Gülşen, E. (2018). Kumarin temelli floresan kemosensörlerin sentezi ve fotofiziksel özelliklerinin incelenmesi [Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi].

Heibati, M. A. (2019). Applications of natural organic matter optical properties for assessing drinking water disinfection and distribution [Doktora tezi, Chalmers University of Technology].

International Agency for Research on Cancer. (2015a). Glyphosate classified as probably carcinogenic to humans [Press release]. https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/pr236_E.pdf

Kang, Z., Lee, S. T., & Sun, Y. (2019). Carbon dots: Advances in nanocarbon applications. Nanoscale, 11(41), 19214-19224. <https://doi.org/10.1039/C9NR05647E>

Kozacı, N., Organofosfat Zehirlenmelerinde Pralidoksimin Farklı Doz Uygulama Şekillerinin Etkinliği ve Yan Etkilerinin Klinik Karşılaştırılması. Ç.Ü. Acil Tıp AD. Uzm. Tezi. 2006.

Larsam, M.M., Annabi, A.B., Rezg, R., Elj, N., Slimen, S., Kamoun, A., El-Fazza, S., Gharbi, N.: Effect of short-time malatiyon administration on glucose homeostasis in Wistar rat. Pestic. Biochem. Phys. 92: 114-119. 2008.

Lazarevic-Pasti, T. 2023. Carbon Materials for Organophosphate Pesticide Sensing. Chemosensors, 11(2), 93.

Lei, J., Wang, B., Li, Y. P., Ji, W. J., Wang, K., Qi, H., Chou, P. T., Zhang, M. M., Bian, H., & Zhai, Q. G. (2021). A new molecular recognition concept: Multiple hydrogen bonds and their optically triggered proton transfer in confined metal-organic frameworks for superior sensing element. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 13(19), 22457-22465. <https://doi.org/10.1021/acsami.1c03410>

Li, H., He, X., Kang, Z., Huang, H., Liu, Y., Liu, J., ... & Lee, S. T. (2010). Water-soluble fluorescent carbon quantum dots and photocatalyst design. *Angewandte Chemie International Edition*, 49(26), 4430-4434. <https://doi.org/10.1002/anie.200906154>

Manap, R. Y., Günenç, E., & Doğaç, E. (2023). Pesticides: Their classification, toxicological effects, and detection. *Journal of Ata-Chem*, 3(2), 9-23.

Man, H., Chaima, M., Wang, X., Xiu, L., Yang, L., Huang, J. 2022. "Fluorescent Detection of Organophosphorus Pesticides Using Carbon Dots Derived from Broccoli." *Arabian Journal for Science and Engineering*, 1-10.

Mandal, P., Sahoo, D., Sarkar, P., Chakraborty, K., & Das, S. (2019). Fluorescence turn-on and turn-off sensing of pesticides by carbon dot-based sensor. *New Journal of Chemistry*, 43(Issue), 12345-12356. <https://doi.org/10.1039/c9nj03192h>

Miller, G. T. (2002). *Living in the environment* (12th ed.). Wadsworth/Thomson Learning.

Mirtchev, P., Henderson, E. J., Soheilnia, N., Yip, C. M., & Ozin, G. A. (2012). Solution phase synthesis of carbon quantum dots as sensitizers for nanocrystalline TiO₂ solar cells. *Journal of Materials Chemistry*, 22(4), 1265-1269. <https://doi.org/10.1039/C1JM14112K>

Muñoz J. P., Silva-Pavez E., Carrillo-Beltrán D., & Calaf G. M., (2023). Occurrence and exposure assessment of glyphosate in the environment and its impact on human beings. *Environmental Research*, 116201.

Müller, F., Ackermann, P., & Margot, P. (2012). Fungicides, Agricultural, 2. Individual Fungicides. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Wiley-VCH. DOI: 10.1002/14356007.o12_o06

Niemann L., Sieke C., Pfei, R., & Solecki R., (2015). A critical review of glyphosate findings in human urine samples and comparison with the exposure of operators and consumers. Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 10, 3-12.

Okur, O. (2015). Aydın ilinde güvenli tarım uygulamalarında sektörler arası iş birliği yaklaşımı ve e-egitim modeli geliştirilmesi [Uzmanlık tezi, Adnan Menderes Üniversitesi].

Ornes, S. (2016). Core concept: Quantum dots. Proceedings of the National Academy of Sciences, 113(12), 2796-2797. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1601852113>

Perona-Bermejo, C., Vismara, R., Padial, N. M., Almora-Barrios, N., Maldonado, C. R., Bandosz, T. J., Garrido-Barros, P., Carmona, F. J., & Navarro, J. A. R. (2024). Metalorganic polyhedra polyoxometalate hybrid salts for tandem photooxidative-hydrolytic pesticide detoxification. Advanced Functional Materials, 34(45), 2405785. <https://doi.org/10.1002/adfm.202405785>

Pournaki, M., Fallah, A., Gülcan, H. O., & Gazi, M. (2021). A novel chitosan based fluorescence chemosensor for selective detection of Fe (III) ion in acetic aqueous medium. Materials Technology, 36(2), 91-96. <https://doi.org/10.1080/10667857.2020.1730565>

Richmond M. E., (2018). Glyphosate: A review of its global use, environmental impact, and potential health effects on humans and other species. Journal of Environmental Studies and Sciences, 8, 416-434

Samsel A., Seneff S., (2013). Glyphosate's suppression of cytochrome P450 enzymes and amino acid biosynthesis by the gut microbiome pathways to modern diseases. Entropy, 15(4), 1416-1463.

Sun, Y. P., Zhou, B., Lin, Y., Wang, W., Fernando, K. S., Pathak, P., ... & Xie, S. Y. (2006). Quantum-sized carbon dots for bright and colorful photoluminescence. Journal

of the American Chemical Society, 128(24), 7756-7757.
<https://doi.org/10.1021/ja062677d>

Taşkıran, Ş. (2005). 4'-Didodesil-3-hidroksiflavon temelli floresan problemlerin sentez ve tasarımları [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].

Tunçer, N. (2021). Yüksek pH değerlerinde çalışan Bodipy tabanlı floresan pH sensörlerinin tasarımı ve sentezi [Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi].

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2025). Tarımsal ilaç kullanımı, 2006-2023 [Excel veri tablosu]. Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı. URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/DownloadIstatistikselTablo%3Fp%3DBhORnbCe8aJdQrdM4v1/u7b/pluCHxTcNtvgeVnXAXCFD5YEBWr11h1rLVoeEsMw&ved=2ahUKewiupYeNu - MAXW4QvEDHf ABuEQFnoECBsQAQ&usg=AOvVaw013buGZ3EzQKIE807Q3Z4g>, Erişim tarihi: 38.04.2025

Ulutaş, M. Y. (2022). Hidrazin tespiti için reaktif bazlı floresan sensörlerin geliştirilmesi [Yüksek lisans tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi].

U.S. Environmental Protection Agency. (2020). Superfund Remedy Report 16th Edition. EPA/100/R-20/001. <https://www.epa.gov/risk>

Vural, N.: Toksikoloji. Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları No:53. Ankara Üniversitesi Basımevi. Ankara. 2005.

Wang, F., Chen, P., Feng, Y., Xie, Z., Liu, Y., Su, Y., Zhang, Q., Wang, Y., Yao, K., Lv, W., & Liu, G. (2017). Facile synthesis of N-doped carbon dots/g-C₃N₄ photocatalyst with enhanced visible-light photocatalytic activity for the degradation of indomethacin. Applied Catalysis B: Environmental, 207, 103-113. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.02.024>

Wang, L., Jana, J., Chung, J. S., & Hur, S. H. (2020). Glutathione modified N-doped carbon dots for sensitive and selective dopamine detection. Dyes and Pigments, 109028. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2020.109028>

Wang, R., Lu, K.-Q., Tang, Z.-R., & Xu, Y.-J. (2017). Recent progress in carbon quantum dots: Synthesis, properties and applications in photocatalysis. *Journal of Materials Chemistry A*, 5(8), 3717-3734. <https://doi.org/10.1039/C6TA08660H>

Wang, Y., Zhu, Y., Yu, S., & Jiang, C. (2017). Fluorescent carbon dots: Rational synthesis, tunable optical properties and analytical applications. *RSC Advances*, 7(65), 40973-40989. <https://doi.org/10.1039/C7RA07573A>

Wei, X., Yang, D., Wang, L., Wen, Z., Cui, Z., Wang, L., He, H., Zhang, W., Han, Z., Mei, S., Qu, S., & Guo, R. (2022). Facile synthesis of red-emissive carbon dots with theoretical understanding for cellular imaging. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 220, 112869. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2022.112869>

Xie, J., Wang, L., Su, X., & Rodrigues, J. (2021). Coumarin-based fluorescent probes for bioimaging: Recent applications and developments. *Current Organic Chemistry*, 25(18), 2142-2154. <https://doi.org/10.2174/1385272825666210728101823>

Xu, X., Ray, R., Gu, Y., Ploehn, H. J., Gearheart, L., Raker, K., & Scrivens, W. A. (2004). Electrophoretic analysis and purification of fluorescent single-walled carbon nanotube fragments. *Journal of the American Chemical Society*, 126(40), 12736-12737. <https://doi.org/10.1021/ja040082h>

Yıldız, M., Gürkan, O., Turgut, C., Kaya, Ü., & Ünal, G. (2005). Tarımsal savaşımında kullanılan pestisitlerin yol açtığı çevre sorunları. VI. Türkiye Ziraat Mühendisliği Teknik Kongresi, 3-7 Ocak, Ankara.

Zhao, F., Wu, J., Ying, Y., She, Y., Wang, J., & Ping, J. (2018). Carbon nanomaterial-enabled pesticide biosensors: Design strategy, biosensing mechanism, and practical application. *Trends in Analytical Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.06.017>

ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı : Neşe Kuplay Ercan

2. Ünvanı : Kimyager

3. Öğrenim Durumu : Yüksek Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	Kimya	Çukurova Üniversitesi	2005
Yüksek Lisans	Kimya	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2025

4. İş Tecrübesi:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Kimya Öğretmeni	Dört Yol Fen Lisesi	2023



T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TEZ ÇALIŞMASI BENZERLİK RAPORU FORMU
(SAVUNMA SONRASI)

FORM
TEZLİ YL-24

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ

Adı ve Soyadı	Neşe KUPLAY ERCAN
Öğrenci Numarası	2212105101
Ana Bilim/ Ana Sanat Dalı	Anorganik Kimya Anabilim Dalı
Danışman Unvanı, Adı-Soyadı	Prof. Dr. Mustafa KELEŞ
Tez Başlığı (Türkçe)	Organofosfor Pestisitler İçin Karbon Kuantum Nokta Esaslı Floresan Sensörün Geliştirilmesi

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Özet ve Abstract c) Giriş, d) Ana bölümler, e) Sonuç ve f) Kaynakça kısımlarından oluşan toplam 42 sayfalık kısmına ilişkin, 05 /05 /2025 tarihinde Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezin benzerlik oranı % 3 ‘tür.

Filtreleme Tip 1 (maksimum %30) ☐

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar dâhil.

Filtreleme Tip 2 (maksimum %10) ☒

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar hariç,
- 4- 5 Kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç.

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Çalışması Benzerlik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları’nı inceledim ve bu Uygulama Esasları’nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Tarih ve İmza

Öğrenci

Danışman Onayı
UYGUNDUR

Unvanı, Adı Soyadı
(İmzası)

Enstitü Onayı
UYGUNDUR

Adı Soyadı
(İmzası)

AÇIKLAMALAR

- Lisansüstü tezler, savunma öncesinde benzerlik raporu ile birlikte Enstitüye teslim edilir.
- Benzerlik raporu ile ilgili olarak etik kurallar dâhilindeki benzerlik oranları ilgili Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenir. (Enstitü Yönetim Kurulu tarafından tezin, intihal kapsamı dışında değerlendirilmesi için TURNITIN’den alınan raporda “benzerlik oranı”nın, “alıntılar hariç” en fazla %10, “alıntılar dahil” % 30’u geçmemesi şeklinde kabul edilmiştir).