

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYA ANABİLİM DALI

DİREKT MİKRODALGA PİROLİZİ İLE AT KESTANESİNDEN KARBON
NANO NOKTALARIN SENTEZİ VE TOKSİK GIDA BOYASI
TARTRAZİNİN SPEKTROFLOROMETRİK TAYİNİ

DOKTORA TEZİ

Ender ÇEKİRGE

NİSAN 2024

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYA ANABİLİM DALI

**DİREKT MİKRODALGA PİROLİZİ İLE AT KESTANESİNDEN KARBON
NANO NOKTALARIN SENTEZİ VE TOKSİK GIDA BOYASI TARTRAZİNİN
SPEKTROFLOROMETRİK TAYİNİ**

Ender ÇEKİRGE

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

"DOKTOR (KİMYA)"

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 / 03 / 2024

Tezin Savunma Tarihi : 02 / 04 / 2024

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ümmühan TURGUT OCAK

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

“Direkt Mikrodalga Pirolyzi ile At Kestanesinden Karbon Nano Noktaların Sentezi ve Toksik Gıda Boyası Tartrazinin Spektroflorometrik Tayini” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Doktora Programı’nda hazırlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana yol göstererek hiçbir desteğini esirgemeyen, bitmeyen enerjisiyle, sonsuz üretkenliğiyle, geniş ufku ve bakış açısıyla, güler yüzüyle, muhteşem gönlüyle hem akademik hayatımın ve hem de yaşamımın olumlu yönde gelişmesine vesile olan, her anlamda gerçek bir bilim insanı, kıymetli Hocam, Prof. Dr. Ümmühan TURGUT OCAK’a minnettarlıklarımı ve şükranlarımı sunarım.

Birlikte çalışmaya başladıktan sonra gerçek bir aile ortamında hissetmemizi sağlayan, bir parçası olmaktan gurur duyduğum çalışma grubumuzun varlığının sürdürülmesinde büyük payı olan, Prof. Dr. Ümmühan TURGUT OCAK ve kendisi ile birlikte kurduğumuz Turkish Journal of Analytical Chemistry dergimizin yayıncısı olan Prof. Dr. Miraç OCAK’a minnettarlıklarımı sunarım.

Doktora tezi izleme sürecinde fikirleri ve önerileriyle tezime katkılarını sunan değerli tez izleme jürisi Prof. Dr. Rabiye TERZİ ve Prof. Dr. Hakan ALP’e teşekkürlerimi sunarım.

Doktora sürecinde gösterdikleri anlayış için Adli Bilimler Enstitüsü Müdürü Prof. Dr. Erdal ÖZER’e ve Müdür Yardımcısı Prof. Dr. Hülya KARADENİZ’e minnettarım.

Deneyisel çalışmalarımın ilk zamanlarında benden yardımını esirgemeyen laboratuvar arkadaşım Dr. Abidin GÜMRÜKÇÜOĞLU’na, daha sonraları da yine yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Nurhayat ÖZBEK’e, laboratuvarımızın meleği Dr. Melek KOÇ KEŞİR’e, kendini bilime adanmış ve araştırma grubumuz içinde yüksek lisansını tamamlamış olan kimya öğretmeni Bahtışen RAMOĞLU’na çok teşekkür ederim. Ayrıca TEM analizleri sürecinde misafirperverliği ve desteklerinden dolayı değerli arkadaşım Dr. Öğr. Üy. Aysel BAŞOĞLU’na teşekkür ederim.

Son olarak doktora sürecinde yoğun çalışma temposunda sabrını, anlayışlarını ve desteklerini eksik etmeyen başta değerli eşim Mukaddes ÇEKİRGE’ye ve aileme, kendisinden çaldığım zamanı ilerde anlayacağını umduğum kızım Eylül’den özür dileyerek, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ender ÇEKİRGE

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Direkt Mikrodalga Pirolyzi ile At Kestanesinden Karbon Nano Noktaların Sentezi ve Toksik Gıda Boyası Tartrazinin Spektrofluorometrik Tayini” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ümmühan TURGUT OCAK’ın sorumluluğuunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 02/04/2024

Ender ÇEKİRGE

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Karbon Nano Noktalar	2
1.2. KNN'lerin Sentezi	3
1.2.1. Yukarıdan-Aşağıya Yöntemler (Top-Down Yaklaşımı)	3
1.2.2. Aşağıdan Yukarı Yöntemler (Bottom-Up Yaklaşımı)	5
1.3. Gıda Toksikolojisi	9
1.3.1. Gıda Katkıları	9
1.3.2. Gıda Boyaları.....	10
1.3.3. Azo Boyalar.....	11
1.3.4. Tartrazin.....	11
1.4. Işık Madde Etkileşimi	13
1.5. Floresans Spektroskopisi	15
1.5.1. Moleküler Floresans	16
1.5.2. Kuantum Verimi	18
1.5.3. Floresans Sönüm	19
1.5.4. Spektrofluorometre	20
1.6. Metot Validasyonu.....	21
1.6.1. Doğruluk.....	21
1.6.2. Kesinlik.....	22

1.6.3. Tekrarlanabilirlik	22
1.6.4. Gözlenebilme Sınırı (GS)	22
1.6.5. Tayin Sınırı (TS).....	23
1.7. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı	23
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	26
2.1. Kullanılan Cihazlar.....	26
2.2. Kullanılan Kimyasal Maddeler ve Malzemeler.....	26
2.3. Gerçek Numunelerin Temini	26
2.4. KNN'lerin Sentezi	27
2.4.1. PY ile KNN'lerin Sentezi	27
2.4.2. HY ile KNN'lerin Sentezi	28
2.4.3. MPY ile KNN'lerin Sentezi	29
2.4.4. KNN'lerin Sulu Çözeltilerinin Hazırlanması	29
2.5. KNN'lerin Karakterizasyonu	30
2.6. KNN'lerin Floresans Özelliklerin Belirlenmesi.....	30
2.6.1. KNN'lerin Floresans Özelliklerine pH Etkisinin Belirlenmesi	31
2.6.2. Gıda Boyaları ile KNN'lerin Etkileşimlerinin Belirlenmesi	31
2.6.3. Tartrazin Gıda Boyasının Spektroflorometrik Titrasyonu.....	31
2.7. Tartrazinin Spektroflorometrik Titrasyonunun pH Üzerine Etkisi.....	32
2.8. KNN'lerin KV'lerinin Hesaplanması.....	32
2.9. Gerçek Numunelerin Hazırlanması	32
2.9.1. Tartrazin İlave Edilmiş Numunelerin Hazırlanması.....	33
2.10. Tartrazin Tayini İçin Önerilen Metot.....	33
2.11. Metot Validasyonu.....	35
2.11.1. Doğruluk.....	35
2.11.2. Kesinlik.....	35
2.11.3. GS ve TS.....	35
3. BULGULAR.....	37
3.1. KNN'lerin Karakterizasyonu	37
3.1.1. KNN'lerin TEM Görüntüleri.....	37

3.1.2. KNN'lerin XRD Spektrumları.....	39
3.1.3. KNN'lerin XPS Spektrumları.....	41
3.1.4. KNN'lerin IR Spektrumları	44
3.1.5. KNN'lerin UV-Vis Spektrumları	45
3.1.6. Parçacık Boyut Dağılımı	45
3.2. KNN Çözeltilerinin Görüntüleri.....	46
3.3. KNN'lerin Çok Renklilik Özellikleri	47
3.4. KNN'lerin Floresans Şiddetine pH'nin Etkisi.....	49
3.5. KNN'lerin KV'lerinin Hesaplanması.....	49
3.6. Floresans Sönüm Mekanizması.....	51
3.7. KNN'lerin Floresans Özelliklerine Gıda Boyalarının Etkileri.....	51
3.8. Spektroflorometrik Titrasyon	53
3.8.1. P-KNN ile Tartrazinin Spektroflorometrik Titrasyonu	53
3.8.2. H-KNN ile Tartrazinin Spektroflorometrik Titrasyonu.....	54
3.8.3. M-KNN ile Tartrazinin Spektroflorometrik Titrasyonu.....	55
3.9. M-KNN ile Tartrazinin Spektroflorometrik Titrasyonuna pH Etkisi	55
3.10. Gıda Numunelerinde Tartrazin Tayini	56
3.11. KNN'lerin Çok Renklilik Özellikleri	61
3.12. Tartrazin Tayini	61
3.13. Metot Validasyonu.....	63
3.13.1. Doğruluk.....	63
3.13.2. Kesinlik.....	64
3.13.3. GS ve TS.....	65
4. TARTIŞMA	68
4.1. KNN'lerin Sentezi	68
4.2. KNN'lerin Karakterizasyonu	78
4.2.1. KNN'lerin TEM Görüntüleri.....	78
4.2.2. KNN'lerin XRD Spektrumları.....	79
4.2.3. KNN'lerin XPS Spektrumları.....	79
4.2.4. KNN'lerin IR Spektrumları	81

4.2.5. KNN'lerin UV-Vis Spektrumları	81
4.2.6. Parçacık Boyut Dağılımı	81
4.3. KNN'lerin Çok Renklilik Özellikleri	82
4.4. KNN'lerin Gıda Boyaları ile Etkileşimi.....	83
4.5. KNN'lerin Tartrazin ile Spektroflorometrik Titrasyonu	83
4.6. Kuantum Verimi (KV).....	84
4.7. Floresans Sönüm Mekanizması.....	87
4.8. Önerilen Yöntemin Literatürdeki Yöntemlerle Karşılaştırılması.....	88
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	95
6. KAYNAKLAR	97
ÖZGEÇMİŞ	

Doktora Tezi

ÖZET

DİREKT MİKRODALGA PİROLİZİ İLE AT KESTANESİNDEN KARBON NANO NOKTALARIN SENTEZİ VE TOKSİK GIDA BOYASI TARTRAZİNİN SPEKTROFLOROMETRİK TAYİNİ

Ender ÇEKİRGE

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ümmühan TURGUT OCAK
2024, 153 Sayfa

Bu çalışmada karbon kaynağı olarak at kestanesi ile üç farklı yöntem kullanılarak karbon nano nokta (KNN) sentezi gerçekleştirilmiştir. Yapısal karakterizasyonları ve kimyasal yapısı karakterize edilmiştir ve gıda boyalarının tayinlerinde kullanılabilme özellikleri floresans spektroskopisi kullanılarak araştırılmıştır. Elde edilen KNN'ler 360 nm uyarma dalga boyu altında 432 – 437 aralığında güçlü floresan emisyonları sergilemiştir. Her üç yöntemle elde edilen KNN'ler toksik gıda boyası olan tartrazinin spektrofotometrik yöntemle tayininde kullanılmıştır. Önerilen yöntemin doğruluğu gerçek gıda örneklerinde ekleme-geri kazanım çalışmaları ile gösterilmiştir. % Geri kazanımlar 98.8 – 100.1 arasında bulunmuştur. Metodun kesinliği günler arası ve gün içi tekrarlı tayinlerle belirlenmiştir. Kesinlik % bağıl standart sapma (%BSS) olarak 0.6 – 2.3 arasında bulunmuştur. Gözlenebilme sınırı (GS) 0.02 mg/L olarak bulunmuştur. Tartrazin tayini için önerilen yeni metodun daha çevreci, basit, hızlı ve ekonomik olması sebebiyle literatürdeki bilinen tartrazin tayin yöntemlerine göre önemli avantajlara sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Karbon Nano Nokta (KNN), Mikrodalga Sentezi, Piroiliz, At Kestanesi, Floresans Spektroskopisi, Tartrazin Tayini

PhD. Thesis

SUMMARY

SYNTHESIS OF CARBON NANODOTS FROM HORSE CHESTNUT BY DIRECT MICROWAVE PYROLYSIS AND SPECTROFLUORIMETRIC DETERMINATION OF THE TOXIC FOOD COLOUR TARTRAZINE

Ender ÇEKİRGE

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Chemistry Graduate Program
Supervisor: Prof. Ümmühan TURGUT OCAK
2024, 153 Pages

In this study, carbon nanodots (CND) were synthesized using three different methods with horse chestnut as carbon source. Their structural characterization and chemical structure were characterized and their ability to be used in the determination of food dyes was investigated using fluorescence spectroscopy. The obtained CNDs exhibited strong fluorescence emissions in the range 432 – 437 nm under 360 nm excitation wavelength. The CNDs obtained by all three methods were used for the spectrofluorometric determination of tartrazine, a toxic food coloring. The accuracy of the proposed method was demonstrated by addition-recovery studies on real food samples. % recoveries were found to be between 98.8 and 100.1. The precision of the method was determined by inter-day and intra-day repeat determinations. The precision was found to be between 0.6 – 2.3 as % relative standard deviation (%RSD). The limit of detection (LOD) was found to be 0.02 mg/L. The proposed new method for the determination of tartrazine has important advantages over the known tartrazine determination methods in the literature as it is more environmentally, friendly, simpler, faster, and more economical.

Key Words: Carbon nanodots (CND), Microwave synthesis, Pyrolysis, Horse chestnut, Fluorescence spectroscopy, Tartrazine determination

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Tartrazinin kimyasal yapısı.....	12
Şekil 2. Işık-madde etkileşimleri çerçevesinde floresans ve fosforesansın konumu	14
Şekil 3. FL yöntemleri (Floresans ve Fosforesans)	15
Şekil 4. Moleküllerin elektron spin halleri	16
Şekil 5. Bir molekülün absorpsiyon, ışımasız durulma ve floresans süreçlerinde yer alan enerji değişimlerinden bazılarını gösteren enerji diyagramları	17
Şekil 6. Absorpsiyon ve floresans emisyon spektrumları	18
Şekil 7. Sıcaklığa bağlı olarak dinamik ve statik sönümlemenin değişimi.....	19
Şekil 8. İki adet optik ağ monokromatörlü spektrofotometre.....	20
Şekil 9. PY yöntemi ile yüksek sıcaklık fırınında gerçekleştirilen KNN sentez şeması	27
Şekil 10. HY yöntemi ile gerçekleştirilen KNN sentez şeması	28
Şekil 11. MPY yöntemi ile gerçekleştirilen KNN sentez şeması	29
Şekil 12. Tartrazin tayini için önerilen standart kalibrasyon metodunun deneysel uygulama şeması.....	34
Şekil 13. Metodun GS'si ve TS'sini belirleyebilmek yapılan pipetleme.....	36
Şekil 14. P-KNN'lerin (A) TEM görüntüleri, (B) HRTEM görüntüleri.....	37
Şekil 15. H-KNN'lerin (A) TEM görüntüleri, (B) HRTEM görüntüleri.....	38
Şekil 16. M-KNN'lerin (A) TEM görüntüleri, (B) HRTEM görüntüsü, (C) FFT görüntüsü	39
Şekil 17. P-KNN XRD Spektrumu	40
Şekil 18. H-KNN XRD Spektrumu	40
Şekil 19. M-KNN XRD Spektrumu.....	41
Şekil 20. KNN'lerin tam XPS Spektrumları (A): P-KNN, (B) H-KNN, (C) M-KNN.....	42
Şekil 21. P-KNN'lerin XPS spektrumları (A) C1s, (B) O1s	43
Şekil 22. H-KNN'lerin XPS spektrumları (A) C1s, (B) N1s, (C) O1s.....	43
Şekil 23. M-KNN'lerin XPS spektrumları (A) C1s, (B) N1s, (C) O1s	44
Şekil 24. KNN'lerin FTIR spektrumları	44
Şekil 25. KNN'lerin UV-Vis spektrumları (A) PY, (B) HY, (C) MPY	45
Şekil 26. KNN çözeltilerinin gün ışığında ve UV ışık altındaki görüntüleri (A) P-KNN, (B) H-KNN, (C) M-KNN	47

Şekil 27.	KNN'lerin farklı uyarıcı dalga boylarındaki emisyon spektrumları (A) P-KNN (B) H-KNN (C) M-KNN	48
Şekil 28.	M-KNN'lerin floresans şiddetinin pH'ye göre değişimi	49
Şekil 29.	KNN'lerin KV'leri (A) PY, (B) HY, (C) MPY	50
Şekil 30.	Stern-Volmer grafiği.....	51
Şekil 31.	KNN'lerin floresans spektrumuna gıda boyalarının etkisi (solda) ve belli dalga boyundaki seçiciliği (sağda) (A) (P-KNN, 432 nm), (B) (H-KNN, 437 nm), (C) (M-KNN, 435 nm), λ_{uy} :360 nm	52
Şekil 32.	(A) P-KNN ile tartrazinin spektrofotometrik titrasyonu, (B) Lambert – Beer kanunundan sapma, (C) doğrusal aralık grafiği, (D) tayin aralığı (0 – 8 mg/L).....	53
Şekil 33.	(A) H-KNN ile tartrazinin spektrofotometrik titrasyonu, (B) Lambert – Beer kanunundan sapma, (C) doğrusal aralık grafiği, (D) tayin aralığı (0 – 8 mg/L).....	54
Şekil 34.	(A) M-KNN ile tartrazinin spektrofotometrik titrasyonu, (B) Lambert – Beer kanunundan sapma, (C) doğrusal aralık grafiği, (D) tayin aralığı (0 – 8 mg/L).....	55
Şekil 35.	M-KNN çözeltisi ile tartrazinin spektrofotometrik titrasyonuna pH etkisi.....	56
Şekil 36.	P-KNN ile granül toz içecek için yapılan tartrazin tayininde kullanılan standart kalibrasyon yöntemine ait floresans spektrumu.....	56
Şekil 37.	P-KNN ile granül toz içecek içerisinde tartrazin tayini için kullanılan kalibrasyon grafiği.....	57
Şekil 38.	H-KNN ile granül toz içecek için yapılan tartrazin tayininde kullanılan standart kalibrasyon yöntemine ait floresans spektrumu.....	57
Şekil 39.	H-KNN ile granül toz içecek içerisinde tartrazin tayini için kullanılan kalibrasyon grafiği.....	58
Şekil 40.	M-KNN ile granül toz içecek için yapılan tartrazin tayininde kullanılan standart kalibrasyon yöntemine ait floresans spektrumu.....	58
Şekil 41.	M-KNN ile granül toz içecek içerisinde tartrazin tayini için kullanılan kalibrasyon grafiği.....	59
Şekil 42.	M-KNN ile tartrazin tayini için kullanılan standart kalibrasyon yöntemine ait floresans spektrumu (solda), kalibrasyon grafiği (sağda) (A) M-KNN bonbon şeker, (B) M-KNN limonata, (C) M-KNN şeker hamuru	60
Şekil 43.	Metodun GS'si ve TS'si için yapılan pipetleme.....	67

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Suda dispers olan M-KNN'ler için parçacık boyut dağılımı	46
Tablo 2. Suda dispers olan H-KNN'ler için parçacık boyut dağılımı.....	46
Tablo 3. KNN'lerin XRD verilerine göre hesaplanan kristal büyüklükleri (pik pozisyonu: $2\theta \sim 14^\circ$).....	46
Tablo 4. KNN'lerin KV'leri.....	50
Tablo 5. Granül toz içecek için üç farklı KNN sentez yönteminin tartrazin tayini açısından karşılaştırılması.....	62
Tablo 6. Granül toz içecek içerisinde tartrazin tayini için önerilen analitik metodun performans verilerinin KNN sentez yöntemleri açısından karşılaştırması	62
Tablo 7. MPY yöntemi ile farklı gıda numunelerinde yapılan tartrazin tayini	62
Tablo 8. Bonbon şeker, limonata ve şeker hamuru numuneleri için M-KNN ile tartrazin tayini için önerilen analitik metodun performans verileri	63
Tablo 9. Gıda numunelerindeki geri kazanım değerleri	63
Tablo 10. Şeker hamuru numunesi için elde edilen doğruluk değeri.....	64
Tablo 11. Şeker hamuru numunesi için akredite laboratuardan elde edilen sonuçlarla önerilen metottan elde edilen sonuçların öğrenci t-testi (student's t-test) ile karşılaştırılması.....	64
Tablo 12. Tartrazin tayini için önerilen metodun kesinlik parametreleri	64
Tablo 13. Metodun GS ve TS	65
Tablo 14. Granül toz içecek için üç farklı KNN sentez yönteminin tartrazin tayini açısından karşılaştırılması.....	66
Tablo 15. Mikrodalga destekli yöntem ile elde edilen KNN'ler için gerekli süre ve uygulanan güçler.....	74
Tablo 16. Literatürdeki KNN sentez yöntemleri için kullanılan başlangıç materyalleri ve sentez yöntemlerinin yüzdesel dağılımı	75
Tablo 17. KNN sentez yöntemleri ve KNN KV'leri	86
Tablo 18. Tartrazin tayini için yöntemlerin duyarlılığının karşılaştırılması	94

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AR	: Allure kırmızısı (Allure Red)
CNO	: Karbon nano-iyonlar
DMF	: Dimetilformamid
EDX	: Enerji Dağılımı X-Işını analizi
F	: Analit içeren KNN çözeltisinin floresans şiddeti
F ₀	: Analit içermeyen KNN çözeltisinin floresans şiddeti
FFT	: Hızlı fourier dönüşümü (Fast Fourier Transform)
FL	: Fotolüminesans
FLG	: Az katmanlı grafen
FŞ	: Floresans şiddet
FWHM	: XRD difraktogramı pik yarı maksimum tam genişlik
g	: Gram
GS	: Gözlenebilme sınırı (limit of detection=LOD)
H-KNN	: Hidrotermal yöntem ile elde edilen karbon nano noktalar
HPLC	: Yüksek performanslı sıvı kromatografisi
HRTEM	: Yüksek çözünürlüklü transmisyon elektron mikroskobu
HY	: Hidrotermal yöntem
KNN	: Karbon nano noktalar
KS	: Kinin sülfat (quinine sulfate)
KV	: Kuantum verimi
M	: Molarite
MDY	: Mikrodalga destekli yöntem
M-KNN	: Mikrodalga piroliz yöntemi ile elde edilen karbon nano noktalar
mL	: Mililitre
MPY	: Mikrodalga piroliz yöntemi
MWCNT	: Çok duvarlı karbon nanotüpler
N	: Tartrazin ilave edilmemiş numune
nm	: Nanometre
P-KNN	: Piroliz yöntemi ile elde edilen karbon nano noktalar
PY	: Piroliz yöntemi

QY	: Kinolin sarısı (Quinoline Yellow)
SI	: Sudan 1
SII	: Sudan 2
SIII	: Sudan 3
SIV	: Sudan 4
S	: Tartrazin ilave edilmiş numune
SR	: Sudan kırmızı (Sudan Red)
SY	: Günbatımı Sarısı (Sunset Yellow)
T	: Tartrazin
TEM	: Geçirimli elektron mikroskobu
TLC	: İnce tabaka kromatografisi
TS	: Tayin sınırı
XRD	: X-ışını kırınım spektrometresi
XPS	: X-ışını fotoelektron spektroskopisi
λ_{uy}	: Uyarma Dalga Boyu
Φ_R	: Kinin sülfat kuantum verimi
Φ_S	: Karbon nano nokta kuantum verimi
η	: Kırma İndisi
%BSS	: % Bağlı standart sapma
°C	: Derece santigrat
μL	: Mikrolitre
μM	: Mikromolar
μm	: Mikrometre

1. GENEL BİLGİLER

Nanobilim ve nanoteknolojinin doğuşu ve devrim niteliğindeki gelişimi, dünya çapında bilim camiasına yeni bir heyecan getirmiştir. Bu heyecanın altında yatan sebep, nano materyallerin boyutlarından ziyade nano materyallerin kendine has optoelektronik ve fizikokimyasal özellikleridir.

Doğada karbonun pek çok formu bulunan karbon bazlı malzemeler nanomalzeme biliminin gelişmesinde önemli bir unsur olmuştur. Bu karbon bazlı malzemeler kimya, mühendislik biyomedikal ve benzeri bilim alanlarında kullanılmaktadır (Z. Li vd., 2019).

Bu süreçte, Karbon Nano Noktalar (KNN), grafen, grafen oksit (GO), grafen kuantum noktalar, indirgenmiş grafen oksit ve karbon nanotüpler gibi karbonlu malzemeler son yıllarda kendine has ve istisnai özellikleri sebebiyle ilgi odağı haline gelmiştir.

KNN'lerin diğer nano materyallere göre pek çok avantajı vardır. Bunlardan ilki biyouyumlu olmalarıdır. KNN'lerin diğer nano materyaller, özellikle inorganik kuantum noktaların (CdSe ve PbS gibi) sahip olduğu toksisite ve üretim maliyeti gibi olumsuz özellikleri yoktur. İkinci olarak bunların kendilerine has karbon bileşimi diğer nano materyallerinkinden farklı olarak yapısal ve elektronik özellikler kazandırır (Ghosal & Ghosh, 2019; Pierrat vd., 2015). KNN'lerin bir başka avantajı da diğer yarıiletken kuantum noktalar, organik boyalar ve indikatör boyalarla karşılaştırıldığında, sudaki çözünürlükleri, kimyasal inertlikleri, kolay modifikasyonları, kolay sentezlenebilmeleri ve toksik olmamalarıdır (Devi vd., 2019; Ghosal & Ghosh, 2019; Gusain vd., 2021). Bu ve buna benzer üstün özellikleri sayesinde KNN'ler biyo görüntüleme, ilaç salınımı, biyolojik ve nano medikal uygulamaları, foto kataliz ve iyonlar, küçük moleküller ve makromoleküller gibi geniş bir alana sahip analitlerin tayini gibi pek çok alanda kendine uygulama alanı bulmuştur (Sciortino vd., 2018; X. Sun & Lei, 2017; L. Xiao & Sun, 2018).

Karbon malzemeler kimya, mühendislik, biyomedikal bilimi gibi çeşitli disiplinlerde kullanılmaktadır. Doğada birçok karbon malzeme formu mevcuttur ve karbon bazlı malzemeler nanomalzeme biliminin gelişiminde kilit bir rol oynamaktadır (Z. Li vd., 2019).

1.1. Karbon Nano Noktalar

Son yirmi yıl içinde keşfedilen karbon kuantum noktalar olarak da adlandırılan karbon nano noktalar (KNN), tipik olarak 10 nm'nin altında ultra ince boyutlara sahip, kristal grafit karakterli ve ayırık nanoparçacıklar olup, yeni bir floresan karbon bazlı nano ölçekli malzeme sınıfıdır (Chu vd., 2019; D'Angelis do E. S. Barbosa vd., 2015; Q. Hu vd., 2014; X. Shi vd., 2019). KNN'ler genellikle yarı küresel nanopartiküllerdir ve sıfır boyutlu karbon konformasyonuna sahiptirler (H. Liu vd., 2019). Çoğunlukla yüzeylerinde oksijen, hidrojen ve azota bağlı sp^2/sp^3 hibridize karbon atomlarından oluşur (Mkhari vd., 2023; Sciortino vd., 2018).

KNN'ler 2004 yılında jel elektroforezi kullanılarak karbon kurumundan tek duvarlı karbon nanotüplerin saflaştırılmasının bir yan ürünü olarak tesadüfen keşfedilmiştir (X. Xu vd., 2004). Ancak KNN'ler o dönemde floresan karbon nanoparçacıkları olarak adlandırılıyordu. 2006 yılında Sun ve diğerleri (2006) lazer ablasyonu yoluyla farklı boyutlarda (< 10 nm) toksik olmayan karbon nanoparçacıkları sentezlemiş ve kendileri bu nanoparçacıkları karbon noktaları olarak adlandırmıştır (Y. P. Sun vd., 2006).

KNN'lerin keşfinden bu yana karbon bazlı bu nanoparçacık türü üzerinde önemli miktarda çalışma yapılmıştır. (Chu vd., 2019; L. Xiao & Sun, 2018). "Karbon Noktalar" terimi için yapılan Scopus veri tabanı araştırmasında 2000 yılından bu yana yayınlanan makale sayısındaki artış bunun bir göstergesidir (Hebbar vd., 2023).

KNN'ler fotostabilitelerinin iyi olması, düşük sitotoksitesi, iyi biyouyumlu olması, suda çözünbilmeleri, kolay yüzey modifikasyonu ve yüksek kimyasal inertlik gibi diğer birçok iyi özelliğe sahiptir ve bu nedenle son yıllarda önemli ölçüde akademik ilgi çekmiştir. KNN'ler, ağır metal bazlı CdS, CdSe, PbSe ve Ag_2S gibi geleneksel floresans yarı iletken kuantum noktaların toksisite, potansiyel sağlık ve çevre tehlikesi ve yüksek maliyet gibi ciddi kısıtlamaları yüzünden yarı iletken kuantum noktaların yerini alacak olası adaylar olarak kabul edilmektedir (Chu vd., 2019; Mkhari vd., 2023; Vanessa vd., 2018).

KNN'ler hücre görüntüleme, ilaç dağıtımı, floresan algılama, foto kataliz, çok renkli ışık yayan diyot (LED) üretimi, enerji dönüşümü, belirli iyonların veya moleküllerin tespiti için problemler, fotovoltaiik ve enerji depolama, ilaç dağıtımı, biyosensör, hastalık tespiti, sentetik kimya ve malzeme bilimi ve depolanması gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmıştır (Hebbar vd., 2023; Kang vd., 2020; Nasrollahzadeh vd., 2019).

Karbon her organik maddede bulunabilen bir element olduğundan, KNN'ler kolayca bulunabilen organik maddelerden hazırlanabilir (Zheng vd., 2018a). KNN'lerin 2004 yılında keşfedilmesinden sonra, KNN hazırlamak için etkili sentetik stratejiler geliştirmeye yönelik büyük bir çaba gösterilmiştir (Lee, 2019). Fotoluminesans (FL) karbon noktalarının en ilgi çekici özelliklerinden biridir (Chu vd., 2019).

1.2. KNN'lerin Sentezi

KNN sentezi için pek çok metot vardır. Genel olarak bu yöntemler iki ana başlık altında toplanabilir (P. Kumar vd., 2022). Başlangıç karbon kaynağına bağlı olarak karbon noktaları sentez metotları, yukarıdan-aşağıya (Top-down) yöntemler ve aşağıdan-yukarıya (Bottom-up) yöntemler olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir (Şen vd., 2022). Yukarıdan-aşağıya yöntemler, grafit, grafen veya karbon fiber gibi büyük öncül karbon kaynaklarının kimyasal, fiziksel veya elektrokimyasal yollarla (Mkhari vd., 2023) nano ölçekli karbon noktalarına doğrudan dönüşmesi ve ardından yüzey muamelesi ile gerçekleştirilir (L. Xiao & Sun, 2018).

Aşağıdan-yukarıya yöntem yaklaşımında nanoyapılar, karbohidratlar, organik asitler, aminler, polimerler gibi organik moleküllerden veya karbon içeren doğal ya da atık ürünlerden başlanarak sentezlenir.

1.2.1. Yukarıdan-Aşağıya Yöntemler (Top-Down Yaklaşımı)

Yukarıdan aşağıya yaklaşım, grafen oksit levhalar, grafen, karbon fiberler, karbon nanotüpler, karbon kurum grafit gibi karbon malzemelerin lazer ablasyon, ark deşarjı ve elektrokimyasal oksidasyon yöntemleriyle fiziksel kuvvetler kullanılarak nano boyutlu parçacıklara kesilmesini veya parçalanması yoluyla gerçekleşmektedir.(Khairul Anuar vd., 2021).

Yukarıdan aşağı yöntemlerden, elektrokimyasal oksidasyon (H. Li vd., 2010; M. Liu vd., 2016; R. Liu vd., 2014; Y. Yang vd., 2015; C. Zhu vd., 2017), ultrasonik muamele (Zhuo vd., 2012) ve lazer ablasyon (Cao vd., 2007; Reyes vd., 2016; Y. P. Sun vd., 2006; Thongpool vd., 2012) yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yukarıdan aşağıya yöntemler genellikle pahalı ve karmaşık ekipmanlara, zorlu reaksiyon koşullarına veya yorucu bir sürece ihtiyaç duyarken, elde edilen KNN'lerin kuantum verimi (KV) ve biyoyuumluluğu tatmin edici değildir. Sonuç olarak, KNN yüzeylerini pasifleştirmek veya

değiştirmek için bu yöntemlerden sonra sıklıkla kimyasal işlemler kullanılmaktadır. (Chu vd., 2019).

- Lazer Ablasyon

Lazer ablasyon yöntemi KNN'leri kontrollü bir şekilde üretmek için kullanılan ilk yöntemdir. (Sciortino vd., 2018). Lazer ablasyonu, yüksek odaklı bir lazer ışınının çevresel bir ortamla çevrili sabit bir hedefe uygulanması ile gerçekleşir (Hebbar vd., 2023). Sıvı veya buhar içindeki bir makro karbon hedefine yüksek enerjili lazer ışını uygulanır. Bu yüksek lazer enerjisi hedefe aktarılarak bağların kırılmasına ve KNN'lerin yüzeyden ayrılmasına sebep olur. Genellikle zaman alan ve dikkat kontrol gerektiren bir yöntemdir (Chu vd., 2019). Ayrıca lazer ablasyon yöntemi pahalıdır, karmaşıktır ve bu yöntem kullanılarak hazırlanan KNN'lerin boyut dağılımı tek tip değildir ve morfolojisi kontrol edilemez (X. Li vd., 2023).

- Kimyasal Oksidasyon (Kimyasal Eksfoliasyon, Kimyasal Ablasyon, Oksidatif Bölünme)

Bir oksidatif kimyasal ile muamele işlemini içerir. Grafen oksit (D. Pan vd., 2010), aktif karbon (Qiao vd., 2010), karbon nano tüpler (Tao vd., 2012), kömür (Ye vd., 2013), mum isi (H. Liu vd., 2007) ve karbon siyahı (Y. Dong vd., 2012) gibi öncül karbon bazlı materyaller H_2SO_4 ve HNO_3 gibi kuvvetli asitler veya H_2O_2 gibi yükseltgeyici kimyasallar yardımıyla bölünürler (Cui vd., 2021). Karbonizasyon adı verilen bu süreç küçük organik molekülleri karbonlu malzemelere dönüştürür. Bu malzemeler daha sonra dikkatlice düzenlenmiş oksidasyon yoluyla mikroskobik tabakalara indirgenebilir. Bu yöntem sert koşullar, zorlu süreçler, çoklu adımlar gerektirir ve ayrıca KNN'lerin boyutları üzerinde zayıf kontrol sunmaktadır (P. Kumar vd., 2022).

- Ark Deşarjı

Ark deşarjı, MWCNT'ler (Çok Duvarlı Karbon Nanotüpler), CNO'lar (karbon nano-iyonlar) ve FLG (az katmanlı grafen) dahil olmak üzere çeşitli karbon nanoyapıları sentezlemek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Hebbar vd., 2023).

Tipik bir ark deşarj prosedürü, gaz plazmasındaki anotta yığın karbon öncülerinden karbon atomlarının yeniden düzenlenmesinden oluşur (Perumal vd., 2021)

Ark deşarj yöntemi, katot ve anot arasındaki sürekli deşarjın yüksek sıcaklığa yol açarak anodun yavaş yavaş tüketilmesini ve ardından KNN'ler oluşturmaları sağlar (X. Li vd., 2023). Damıtılmış suya daldırılmış ve küçük bir mesafe ile ayrılmış elektriksel olarak bağlı iki grafit elektrot arasında bir ark deşarjı oluşturarak KNN'leri üretmek için kullanılmıştır (Hebbbar vd., 2023).

2004 yılında Xu ve diğerleri (2004) ark deşarj yöntemini kullanarak ilk karbon nanopartiküllerini hazırlamışlardır. O zamandan beri, ark deşarj yöntemi hızlı bir hazırlama yöntemi olarak popüler hale gelmiştir. Ancak, bu yöntem kullanılarak hazırlanan KNN'lerin partikül boyutu dağılımı tek tip değildir ve morfoloji de kontrol edilebilir değildir. Ayrıca, bu yöntem kullanılarak üretilen KNN'lerin verimi düşüktür. Şu anda bu yöntem nadiren kullanılmaktadır (X. Li vd., 2023; Perumal vd., 2021).

- Elektrokimyasal Oksidasyon (Elektro Kimyasal Sentez)

Elektrokimyasal yaklaşım, ultra saf KNN'lerin sentezi için grafit, karbon nanotüpler veya karbon fiber elektrotlar gibi bir karbon malzemenin seçici olmayan bir kimyasal kesme işlemidir. Bu yöntemde, tipik olarak üç elektrot (çalışma, karşı ve referans) ve elektrolit çözeltisinden oluşan bir elektrokimyasal hücre kullanılır. Çalışma elektrodu karbondan (grafit, karbon-nanotüp, vb.) ve karşı elektrot platinden (Pt) yapılmıştır (P. Kumar vd., 2022).

KNN'lerin elektrokimyasal sentezinde, başlangıç malzemeleri olarak büyük hacimli karbon kaynakları kullanılır. Katı iki elektrot arasına tatbik edilen sabit bir harici elektrik akımı altındaki elektrokimyasal hücrede gerçekleşen bir redoks reaksiyonundan yararlanan yukarıdan-aşağıya bir yöntemdir (Chu vd., 2019; Sciortino vd., 2018). KNN'lerin elektrokimyasal sentezi ilk olarak Zhu ve diğerleri (2007) tarafından uygulanmıştır. Çok katmanlı karbon nanotüplerin elektrot olarak kullanıldığı bir yöntemle, tetrabütillamonyum perkloratın varlığında üretilen yüksek mavi ışıldayan grafenik KNN'lerin elde edildiği bilinmektedir (Sciortino vd., 2018).

1.2.2. Aşağıdan Yukarı Yöntemler (Bottom-Up Yaklaşımı)

“Yukarıdan-aşağıya” yaklaşım, düşük verim ve büyük yan ürünlerin oluşması gibi bir dizi sorun ortaya çıkarmıştır. Araştırmacılar KNN'lerin mimarilerinden esinlenerek daha büyük sp^2 yapısına sahip KNN üretmek için yeni öncüller kullanmaya başlamışlardır.

“Aşağıdan yukarıya” tekniği diğer işlemlerin yanı sıra dehidrasyon, yoğunlaştırma ve karbonizasyon yoluyla küçük moleküller arasında sp^2 yapılı KNN’lerin üretilmesini sağlar. Bu strateji çeşitli avantajlar sunmaktadır. Başlangıç olarak, organik küçük moleküller ve biyokütle de dahil olmak üzere bir dizi karbon kaynağı, "aşağıdan yukarıya" tekniklerle KNN’lerin oluşturulması için öncü olarak kullanılabilir. İkinci olarak, çözücülerin değiştirilmesi ve reaksiyon koşulları (zaman, sıcaklık ve diğer sentetik faktörler) ayarlanarak, değişken mimarilere ve kimyasal bileşimlere sahip KNN elde edilmesine imkân tanımaktadır. (Fu vd., 2024).

Aşağıdan-yukarıya (Bottom-up) yöntemler küçük molekülleri karbonizasyon ve pasivasyon yoluyla KNN’lere dönüştürür. Düşük maliyetli olmaları, kolay uygulanması basit ekipman ihtiyacı gibi avantajları sayesinde piroliz (Y. Hu vd., 2019; Qin vd., 2019; Tian vd., 2018), hidrotermal ve solvotermal yöntem (L. Lin vd., 2019; Z. Lu vd., 2019; D. Xu vd., 2019), ultrasonik yöntem (H. Huang vd., 2018; H. Liu, Zhang, vd., 2018; Rong vd., 2019), mikrodalga destekli yöntem (MDY) (Deng vd., 2019; X. Li vd., 2020; Tabaraki & Abdi, 2019), gibi yöntemler KNN sentezinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kang vd., 2020).

Aşağıdan-yukarıya yöntem yaklaşımında KNN sentezi için nanoyapıların elde edilmesinde, karbohidratlar (L. Chen & Zhang, 2018; Q. Du vd., 2018; Fan vd., 2017; G. He vd., 2016; Y. Huang & Cheng, 2017; Z. Liang vd., 2016; H. Peng & Travas-Sejdic, 2009; Simões vd., 2014; Thongsai vd., 2017; Z. C. Yang vd., 2011), organik asitler (Ahmed vd., 2015; K. Jiang, Wang, Cai, vd., 2018; K. Jiang, Wang, Gao, vd., 2018; H. Li vd., 2018; Liao vd., 2020; L. Liu vd., 2015; Niu vd., 2013; Prathumsuwan vd., 2018; Shamsipur vd., 2018; X. Tang vd., 2021; Yan vd., 2018; Z. Yi vd., 2021; T. Yu vd., 2018; P. Zhang vd., 2014; R. Zhang & Chen, 2013), aminler (X. Dong vd., 2014; Kong vd., 2022; Tammina & Yang, 2020; D. Zhao vd., 2019; X. Zhu vd., 2022) veya polimerler (L. Huang vd., 2015; R. Liu vd., 2013; J. Shi vd., 2013) gibi organik moleküller, biyokütle ve tarımsal ve evsel atıkların atık karbon kaynağı olarak kullanıldığı basit ve ucuz karbon kaynaklarının kullanıldığı bilinmektedir (Özbek vd., 2023). Bu ucuz atıklara örnek olarak portakal kabukları (Prasannan & Imae, 2013), limon kabuğu (Tyagi vd., 2016) greyfurt kabuğu (P. Xiao vd., 2018), soğan kabuğu atığı (Bandi vd., 2016), atık kağıt (Jeong vd., 2018), peynir altı suyu (Devi vd., 2017), mutfak atıkları (Himaja vd., 2014), lağım çamuru (Y. Hu & Gao, 2020), atık kızartma yağı (Y. Hu vd., 2014), buğday samanı (M. Yuan vd., 2015), yumurta kabuğu zarı külü (Jusuf vd., 2018), insan tırnakları (Chatzimitakos vd., 2018), şarap tortusu (Varisco

vd., 2017), hindistan cevizi suyu (Jayan vd., 2020), hindistan cevizi kabuğu (Chunduri vd., 2016), hurma çekirdeği kabuğu (Balakrishnan vd., 2022), atık köri yaprakları (Maruthupandi vd., 2022), atık pamuk linteri (Eskalen vd., 2020), Meksika nanesi yaprakları (Architha vd., 2021), yabani limon yaprakları (Venugopalan & Vidya, 2023), limon suyu (E. M. Schneider vd., 2019), pirinç kabuğu (Ngu vd., 2016), pomelo kabuğu (Qi vd., 2022), çimen (S. Liu vd., 2012), susam çekirdeği (Roshni & Divya, 2017), balık pulları (G. Wu vd., 2015), insan saçı (Singh vd., 2020), rezene tohumu (Dager vd., 2019), olgun muz kabukları (M. Das vd., 2021) atık nar kabukları (Amith Yadav vd., 2018), akça ağaç yaprağı (Chellasamy vd., 2022), inek gübresi (D'Angelis do E. S. Barbosa vd., 2015), küspe atığı (Xu-Cheng vd., 2018), fındık kabuğu (Gümrükçüoğlu, 2022), yengeç kabuğu (Yao vd., 2017) domuz derisi (Wen vd., 2016), üzüm kabuğu (X. Tang vd., 2022), liçi atığı (Sahoo vd., 2020), liçi çekirdeği (M. Xue vd., 2015), mango kabukları (X. Sun vd., 2019), yemek atığı (Sarswat & Free, 2015), atık çay çöpü (Gunjal vd., 2019), ceviz kabuğu (Cheng vd., 2017), durian kabukları (Praneerad vd., 2019), ananas kabukları (Vandarkuzhali vd., 2017), söğüt yaprakları (Cheng vd., 2019) demirhindi yaprakları (Bano vd., 2018), yer fıstığı kabuğu (X. Ma vd., 2017; M. Xue vd., 2016; J. Zhu vd., 2019), sago ağacı kabuğu (Abdul Manaf vd., 2017), bambu yaprakları (Y. Liu vd., 2014), aloe vera (H. Xu vd., 2015), karpuz kabuğu (J. Zhou vd., 2012), hint fesleğeni yaprağı (A. Kumar vd., 2017), mangostan kabuğu ve posası (Aji vd., 2017; R. Yang vd., 2017), elma çekirdeği (Chatzimarkou vd., 2018) ve hurma çekirdeği (Amin vd., 2018) verilebilir.

- Piroliz Yöntemi (PY)

Piroliz, uzun zincirli polimer halindeki karbonlu malzemelerin ısı ve basınç yoluyla termal olarak parçalanması sonucu kömür, katran ve gaz ürünleri gibi daha küçük daha az karmaşık moleküllerin elde edildiği ayrıştırma işlemidir. Süreç, daha kısa süreli ve oksijen yokluğunda gerçekleştiğinde fazla ısı gerektirmektedir. Piroliz, hava olmaksızın reaksiyona girme süreci olarak da tanımlanmaktadır (Anuar Sharuddin vd., 2016; Demirbas & Arin, 2002; Soltes & Elder, 2018). Ancak son zamanlarda “piroliz” terimi, hava veya diğer katkı maddelerinin varlığına bakılmaksızın ısı uygulanmasıyla sonuçlanan herhangi bir kimyasal reaksiyonu ifade eder hale gelmiştir (Soltes & Elder, 2018). Bu çalışmada yapılan işlemler için piroliz yöntemi ifadesi bu nedenle kullanılmıştır.

PY ilk defa Bourlinos ve diğerleri (2008) tarafından keşfedilmiştir. Organik bileşiklerin 200 – 450 °C'ye kadar yüksek reaksiyon sıcaklığı gerektiren şartlarda ve oksijen

yokluğunda ısıtma, dehidrasyon, bozunma ve karbonizasyon olmak üzere dört ana kritik süreçten geçerek organik karbon içeren KNN'lere dönüştürülmesi şeklinde gerçekleşen bir yöntemdir (Cui vd., 2021; Khairol Anuar vd., 2021; P. Kumar vd., 2022; L. Xiao & Sun, 2018).

- Hidrotermal Yöntem (HY)

Hidrotermal sentez, su içindeki organik bileşikler yüksek sıcaklık ve yüksek basınç altında yapısal karbonlara dönüştürme sürecidir (Chu vd., 2019). HY, düşük maliyeti, basit prosedürü ve çevre dostu avantajları göz önüne alındığında aşağıdan-yukarıya yaklaşımla KNN sentezlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Ozyurt vd., 2023). Hidrotermal sentez, kontrollü sıcaklık (100 °C – 1000 °C) ve basınç altında (1 MPa – 1 GPa), hidroliz reaksiyonunu içerir (Lou vd., 2021; Ng vd., 2021a). Genel olarak, glukoz (Z. C. Yang vd., 2011), sitrik asit (Ogi vd., 2016), kitosan (Y. Yang vd., 2012) ve elma suyu (Mehta vd., 2015) gibi organik moleküller, çözücü olarak su varlığında veya yokluğunda tipik olarak 100 °C ve 1 bar'ın üzerinde teflon kaplı paslanmaz çelik bir otoklavda ısıtılır (Ng vd., 2021a). Bu yöntemin büyük parçalar ve çözünmemiş parçalar gibi safsızlıklar içermesi gibi dezavantajları vardır (Khairul Anuar vd., 2021).

- Solvotermal Yöntem

Solvotermal yöntem hidrotermal yaklaşım temel alınarak oluşturulmuştur. Solvotermal yöntemde su yerine organik çözücüler kullanılır (Lou vd., 2021). Solvotermal yöntem, reaksiyon karışımının otoklav gibi kapalı bir sistemde çözeltinin belirli bir sıcaklık ve basınç altında dimetilformamid (DMF) (Y. Xu vd., 2013) ve oktadeken (Bhunia vd., 2013) gibi organik çözücülerin varlığında organik moleküllerin reaksiyona girerek karbonizasyonunu ile sonuçlanan bir yöntemdir (H. Liu vd., 2024; Ozyurt vd., 2023). Bununla birlikte, yöntemin dezavantajlarından bazıları düşük verim, saflık derecesinin düşük olması ve homojen olmayan partikül boyutudur (Malavika vd., 2022).

- Mikrodalga Destekli Yöntem (MDY)

Mikrodalga destekli sentez yöntemi (mikrodalga ısınlama yöntemi, MDY), öncü molekülleri KNN'ye dönüştürmek için 1 mm ila 1 m dalga uzunluğunda elektromanyetik radyasyon kullanan hızlı ve düşük maliyetli bir KNN oluşturma yöntemidir. Mikrodalga, öncü molekülün kimyasal bağlarını parçalamak için hızlandırılmış enerji verir (Mathew &

Mathew, 2023). Bu metotta karbon öncülleri içeren sulu çözelti mikrodalga fırında KNN oluşuncaya kadar ısıtılır (P. Kumar vd., 2022).

İlk olarak H. Zhu ve diğerleri (2009) tarafından uygulanmıştır. Bu yaklaşım, KNN'lerin eşit dağılımı için eşit ısı sağlar. Hızlı KNN sentezlemek için hızlı ve kullanışlı bir yöntemdir (Mathew & Mathew, 2023). Diğer KNN sentez yöntemleri ile karşılaştırıldığında daha hızlı, daha düşük sıcaklık, dolayısıyla daha düşük enerji gerektiren bir yöntemdir. Ancak MDY'de kullanılan düşük hacimli reaktifler ile gerçekleştirildiği için, büyük ölçekli KNN sentezine imkân vermediği gibi KNN'leri saflaştırma ve ayırıştırma zordur. (Khairrol Anuar vd., 2021).

Mikrodalga ısınlama sentez yöntemi ile KNN'ler ev tipi bir mikrodalga fırın veya laboratuvar tipi bir mikrodalga fırın kullanarak sentezlenebilir. Mikrodalga ısınlama yöntemi karbon kaynağını doğrudan ısıtarak KNN'lere dönüşmesini sağlar. HY'lerde ise bu ısıtma işlemi iletken veya konvektif olarak gerçekleşir. Mikrodalga destekli KNN sentezi açık kaplarda veya kapalı kaplarda gerçekleştirilmektedir. Açık kap MDY atmosfer basıncında gerçekleştirilir. Burada sadece zaman ve mikrodalga güç çıkışı dikkate alınmaktadır. Kapalı kap mikrodalga destekli sentez ise mikrodalga destekli hidrotermal olarak bilinmektedir. Bu yöntemin uygulanmasında hassas sıcaklık kontrolü, basınç tahliye sistemi gibi dikkat edilmesi gereken hususlar mevcuttur (Ng vd., 2021a).

1.3. Gıda Toksikolojisi

Gıda toksikolojisi, gıda kaynaklı kimyasalların güvenliğine ilişkin yargıların temelini oluşturan bilim dalı olarak tanımlanabilir (Taylor & Baumert, 2014). Gıda toksikolojisi, toksik maddelerin gıdaya giriş yolları ve mekanizmaları veya gıda işleme ve depolama sırasında toksik maddelerin oluşumu ve gıda kontaminasyonunu önleme veya azaltma yollarını, gıda bileşenlerinin toksisitesinin ve riskinin değerlendirilmesine yönelik yöntemleri, gıdaların yanı sıra içeceklerin zararlı bileşenlerinin organizma üzerinde yarattığı ve organizmada çeşitli derecelerde işlevsel bozukluklara, hatta ölüme yol açabilen olumsuz etkileri inceler (Püssa, 2013).

1.3.1. Gıda Katkıları

Doğal ve yapay gıda katkı maddeleri, tat ve görünüm gibi gıda kalitesini korumak için yüzyıllardır kullanılmaktadır (Hashim Al Sultani vd., 2019). Gıdalara çeşitli avantajlar

sağlamak üzere bilinçli olarak eklenen kimyasal maddeler gıda katkı maddeleri olarak tanımlanır (Taylor & Baumert, 2014). Avrupa Birliği 1333/2008 (EC) sayılı Yönetmeliğine göre gıda katkı maddeleri, gıdalara renk, lezzet koruma ve asitlik düzenlenmesi gibi özellikler kazandırmak amacı ile eklenen tek başına gıda olarak kullanılmayan maddelerdir. Bazı gıda katkı maddeleri aynı zamanda kıvam arttırıcı, stabilizatör ve emülsiyonlaştırıcı veya topaklanmayı önleyici maddeler olarak da işlev görür (N. Kumar vd., 2019).

Gıda görsel kalitesi, gıda üreticileri, tüketiciler ve perakendeciler için giderek daha önemli ve temel bir unsur haline gelmektedir. Tüketici talep ve beklentilerini karşılamak amacıyla, sentetik gıda renklendiricileri gıda ve içeceklerde görünümünü artırmak ve gıda depolama ve işleme sırasında renk kaybını telafi etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Son zamanlarda yapılan araştırmalar, gıda katkı maddelerinin toksikolojik özelliklerinin insan sağlığı için oldukça tehlikeli olduğunu kanıtlamıştır (Vijeata vd., 2022).

1.3.2. Gıda Boyaları

Gıdaların genel değerlendirmesinde renk, belirgin bir özellik olarak kabul edilir. Tüketiciler için görsel olarak daha estetik hale getirmek ve üretim sürecinde kaybolan orijinal görünümünü geri kazandırmak amacıyla gıda ürünlerine hem doğal hem de sentetik kaynaklı çok çeşitli gıda renklendiricileri eklenmektedir. Ancak doğal kaynaklardan elde edilen boyaların çoğu kararsızdır ve gıdanın işlenmesi sırasında kolayca bozulmaya uğrayabilir. Bu nedenle, sentetik kökenli boyalar, sadece kararlılık nedeniyle değil, aynı zamanda üretim maliyetinin doğal kökenli boyalara kıyasla çok düşük olması nedeniyle de yaygın olarak kullanılmaktadır (Rezaei vd., 2014; Yamjala vd., 2016).

Gıda katkı maddelerinin önemli bir kısmı yapay renklerdir ve 1880'lerden beri gıdalara bazı sentetik renklerin eklenmesine izin verilmektedir. Ancak bu gıda boyası kombinasyonlarından bazıları, özellikle sık sık alındığında sağlık açısından tehlikeler oluşturmaktadır. Sonuç olarak, kabul edilebilir günlük alım miktarının (ADI) belirlenmesi, klinik araştırma ve hayvan testlerinin gerçekleştirilmesi için güvenilir bir referans noktası sunmaktadır. Toksikolojik çalışmalar öncelikle hayvan deneylerine dayanmaktadır çünkü gıda katkı maddelerinin insanlar üzerindeki tehlikeli etkilerini değerlendirmek son derece zordur. (Demirkol vd., 2012).

Sentetik renklendiriciler beş sınıfa ayrılır: indigo renklendiriciler, QY'nin şinoftalon türevleri, triarilmetan grubu, ksantenler (eritrosin gibi) ve azo boyalar (Mpountoukas vd., 2010).

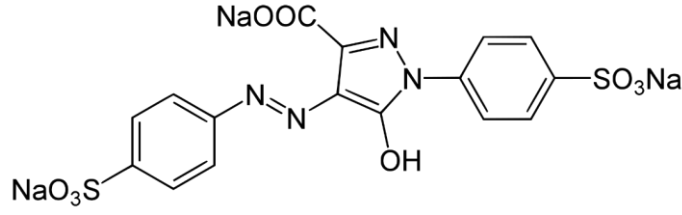
1.3.3. Azo Boyalar

Gıda endüstrisinde kullanılan sentetik boyalar arasında azo boyalar ticari boya pazarının yaklaşık %65'ini oluşturmaktadır (Yamjala vd., 2016). Azo bileşikleri kimyasal olarak $R-N=N-R'$ şeklinde gösterilir, burada $-N=N-$ azo grubu ve R veya R' aril veya alkil bileşikler olabilir (Chung, 2016). Azo boyalar genellikle gıdaların görünümünü iyileştirmek ve daha çekici hale getirmek için gıdalara eklenir (Vidal vd., 2018).

Alura kırmızısı, karmosin, Amaranth, günbatımı sarısı, parlak mavi (brilliant blue), tartrazinin dahil olduğu azo-boyalar, düşük maliyetleri ve stabiliteleri nedeniyle gıda renklendirici maddeler olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Günbatımı sarısı ve tartrazin benzer renklere sahip olmaları ve genellikle gıda ürünlerinde birlikte kullanıldıkları için bu boya grubunun en çok kullanılan üyeleridir. Endüstriyel olarak avantajlı olmalarına rağmen, alerji, anksiyete, astım, kanserojenlik, genotoksisite, sitotoksisite gibi olumsuz etkileri sebebiyle toksik özellik gösterirler (Kaya vd., 2021). Azo boyaların toksikolojisi üzerine yayınlanan çalışmaların çoğunda azo bağının bileşen aminlere indirgeyici bölünmesinin, boyanın kanserojen aktivasyonuna yol açan önemli bir metabolik adım olduğu fikrine dayanmaktadır (Brown & De Vito, 1993).

1.3.4. Tartrazin

Tartrazin, molekül ağırlığı 534.36 g/mol olan $C_{16}H_9N_4Na_3O_9S_2$ kapalı formülüne sahip (trisodyum-5-hidroksil-1-(4-sülfonatofenil)-4-(4-sülfonatofenilazo)-H-pirazol-3-karboksilat) (Şekil 1) yapay, turuncu renkli toz halinde bulunan, sulu çözeltisinde sarı renkli bir azo yapay boyar maddesidir (Chaudhari vd., 2024; Y. Li vd., 2014; Taşlı vd., 2018). E102 olarak da bilinen sentetik boya olan tartrazin, gıda, tıp ve kozmetik endüstrilerinde en yaygın kullanılan katkı maddelerinden biridir (Hashim Al Sultani vd., 2019). Tartrazin oksidasyona ve ısı işlemlere karşı dayanıklı olması, düşük maliyeti ve renk homojenliği açısından avantajlı olduğu için gıda endüstrisinde sentetik renklendirici olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Y. Wang vd., 2019).



Şekil 1. Tartrazinin kimyasal yapısı (URL-1, y.y.)

Son zamanlarda yapılan çalışmalar tartrazinin birçok potansiyel sağlık riskine sahip olduğunu göstermiştir (Hashim Al Sultani vd., 2019). Tartrazin ürtiker, astım, bulantı, egzama, bronşit, rinit, bronkospazm ve baş ağrısı gibi çeşitli olumsuz reaksiyonlarla ilişkili olduğu için toksikologlar ve alerji uzmanları tarafından yaygın olarak incelenen "azo" grubu içeren bir tür yapay boyadır (dos Santos vd., 2022).

Tartrazin toksisitesi doğrudan veya dolaylı olarak azo bağlantısının metabolik indirgeyici biyotransformasyonundan kaynaklanır. Tartrazin, hayvanın kolonunda bağırsak mikrobiyotası tarafından metabolik olarak indirgenerek iki metabolitin, sülfanilik asit ve aminopirazolonun oluşmasına neden olabilir. Tartrazin metabolitleri reaktif oksijen türleri (ROS) oluşturarak ve hepatik ve renal yapıları ve metabolik profilleri değiştirerek oksidatif strese neden olabilir (Khayyat vd., 2017).

Tartrazin toksik, mutajenik ve karsinojenik etkileri, boyanın doğrudan etkisinin bir sonucu olabilmektedir. Tartrazin metabolizması sırasında azo bağının indirgeyici biyotransformasyonu dolaylı olarak toksik etki yaratabilmektedir. Bu süreç, aril amin ve serbest radikal türevlerinin oluşumuyla ilgili olduğu bildirilmiştir (Atlı Şekeroğlu vd., 2017).

Tartrazin toksik etkisi üzerine yapılan çalışmalar bu azo boyasının toksik etkisinin varlığını kanıtlamıştır (Mpountoukas vd., 2010). Ayrıca Demirkol ve diğerleri (2012) yaptıkları çalışmada tartrazinin hücre canlılığını azalttığını tespit etmişlerdir ve tartrazinin toksik olarak kabul edilebileceğini bildirmişlerdir. Taşlı ve diğerleri (2018) *A. cepa* L. test materyali kullanarak yaptıkları çalışmada tartrazinin belirli konsantrasyonlarda toksik etki gösterebileceğini bildirmişlerdir.

Literatürde yapılan bazı çalışmalar tartrazinin insan ve sığır serum albüminine bağlanabildiğini ve bu proteinlerle bir kompleks oluşturarak fizyolojik işlevlerini potansiyel olarak sınırlayabildiğini göstermiştir (Basu & Suresh Kumar, 2015; Masone & Chanforan, 2015; X. Pan vd., 2011). Ayrıca, tartrazinin 30 gün boyunca 125 – 500 mg/kg doz aralığında uygulanmasıyla, hem farelerde hem de sıçanlarda doza bağlı bir şekilde nörotoksisiteye ve

öğrenme ve hafızada kayıplara neden olduğu bildirilmiştir (Amchova vd., 2015). Tartrazin, bir başka gıda katkı maddesi olan benzoik asitle (E210) birleştiğinde çocuklarda hiperaktivite ve nörodavranışsal bozukluklara (uyarılabilirlik, huzursuzluk, somnipati ve konsantrasyon güçlüğü) neden olduğu belirlenmiştir (Püssa, 2013).

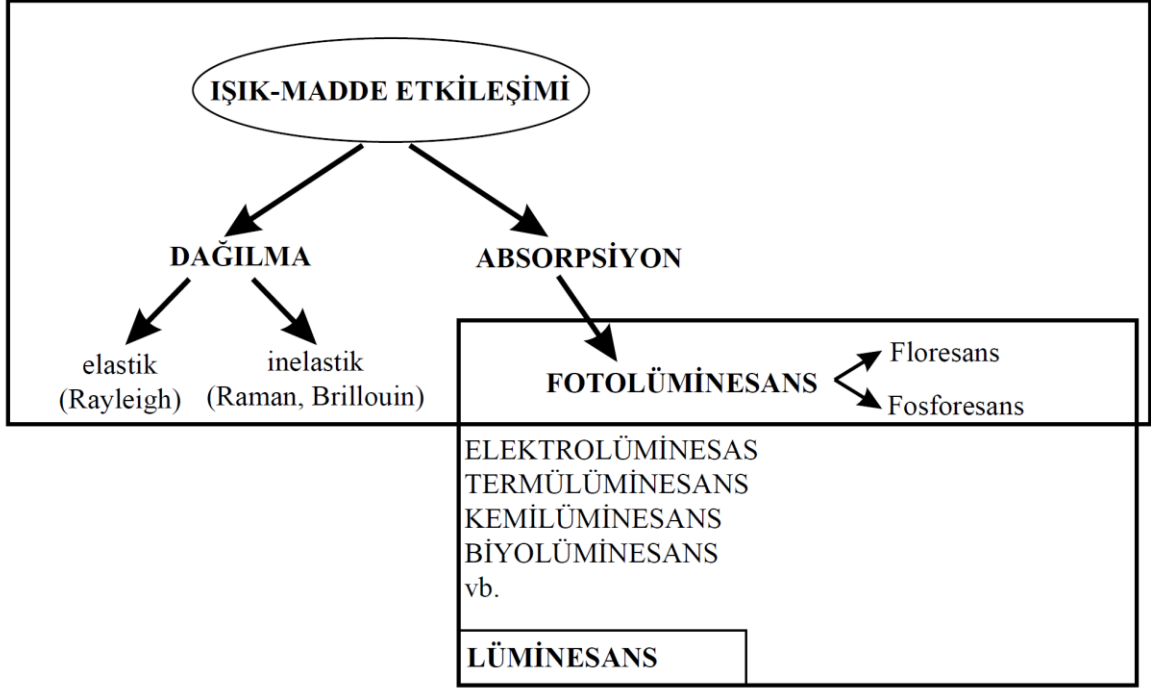
Tartrazin çok yaygın olarak kullanılan bir gıda katkı boyasıdır. Genellikle meyve suları, soslar, bisküviler, dondurmalar ve soğuk içecekler gibi gıda ürünlerinde ve ayrıca ilaçlarda, kozmetiklerde, tekstillerde ve farmasötik ürünlerde kullanılır (Patel vd., 2019).

Tartrazin insan sağlığına zararlı etkileri sebebiyle gıdalardaki tartrazin içeriğinin sıkı bir şekilde kontrol edilmesi ve düzenlenmesi gerekmektedir. Söz konusu olumsuz sağlık etkileri ile ilgili olarak, tartrazin kullanımı birçok ülkede sınırlandırılmıştır. Tartrazin toksisitesini daha düşük konsantrasyonlar için fonksiyonel makromoleküler düzeyde incelemek önemlidir (Y. Li vd., 2014; Zoughi vd., 2021). Gıdalardaki tartrazin içeriğini belirlemek için hızlı, basit ve hassas ölçüm tekniklerinin geliştirilmesine ihtiyaç vardır (H. Xu vd., 2015). Bu amaçla tartrazin tayini için geliştirilecek tayin metotları insan sağlığının iyileştirilmesine yönelik teşvik edici önemli bir yol yoldur (Q. He vd., 2018).

1.4. Işık Madde Etkileşimi

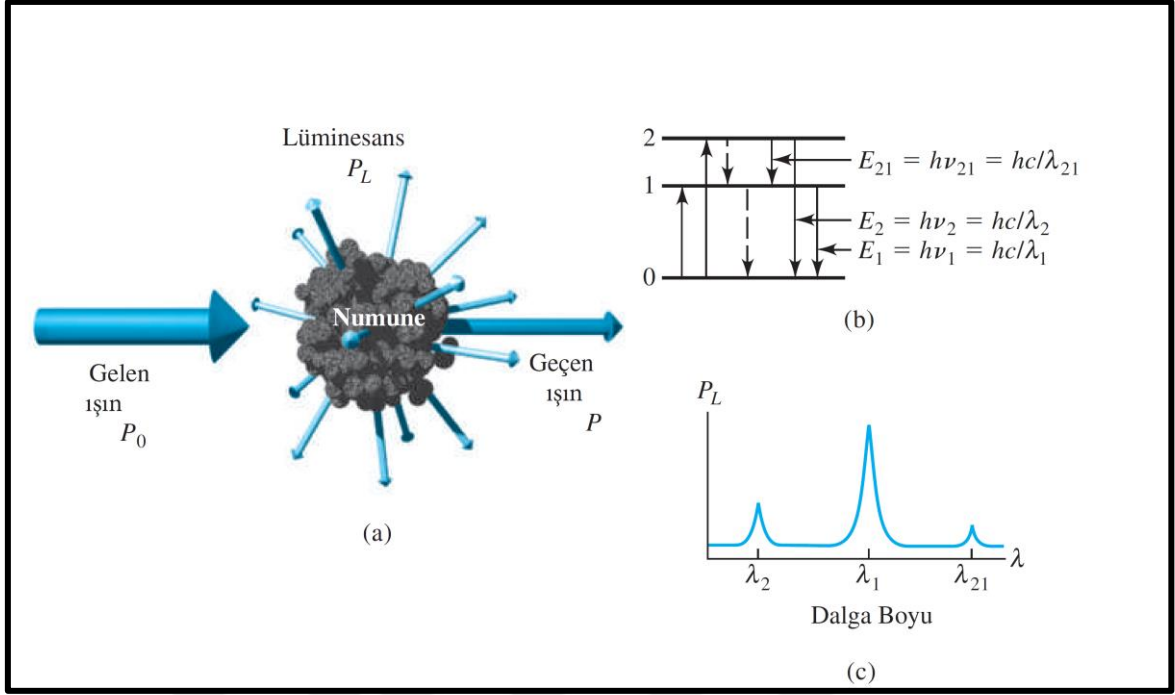
Spektroskopide bir numune hakkında bilgi edinmek için ışınların madde ile etkileşiminden yararlanılır. Numunenin (Chu vd., 2019) bir dış ışın kaynağı kullanılarak uyarılması sırasında ışın ile maddenin atom veya molekülleri ile etkileşirler. Bu etkileşme maddenin bağ elektronları ile ışının elektriksel alanı arasında olur ve maddenin yapısına bağlı olarak değişir. Işının madde ile etkileşime girmesiyle birlikte ışınlar saçılabilir ya da yansiyabilir. Önemli olan gelen ışınların bir kısmının absorplanabilmesi ve analit türlerinin bazılarının uyarılmış hale geçebilmesidir. Absorplanan ışının miktarı dalga boyunun bir fonksiyonu olarak ölçülmesi absorpsiyon spektroskopisi ile, absorpsiyondan sonra yayılan fotonlar ise emisyon spektroskopisi ile ölçülür.

FL bir maddenin absorpladığı ışını aynı veya daha uzun dalga boyunda bir ışın olarak yayması (emisyon) özelliğidir. Analitik amaçlı olarak kullanılan FL'a dayanan spektroskopi yöntemleri floresans ve fosforesans spektroskopisidir (Gündüz, 1999; Skoog vd., 2013).



Şekil 2. Işık-madde etkileşimleri çerçevesinde floresans ve fosforesansın konumu (Valeur, 2001)

Floresans ve fosforesans elektromanyetik ışının absorpsiyonundan ve sonra ışının yayılmasıyla enerjinin dağılmasından meydana gelir (Şekil 3a). Absorpsiyon analitin 1. veya 2. enerji düzeylerine uyarılması ile gerçekleşir. Uyarılmış türün fazla enerjisi, bir foton yayılması sonucu (kesiksiz oklar) ile harcanır. Yayılma uzayın her yönüne olur (Şekil 3b). Yayılan ışının dalga boyu, enerji düzeyleri arasındaki farklara karşılık gelir. Floresans ile fosforesansın arasındaki temel fark emisyonun zaman skalasıdır. Uyarılmış türün emisyonu çok kısa süreli ise floresans; uzun süre devam ederse de fosforesans kavramları kullanılır (Skoog vd., 2013).



Şekil 3. FL yöntemleri (Floresans ve Fosforesans) (Skoog vd., 2013)

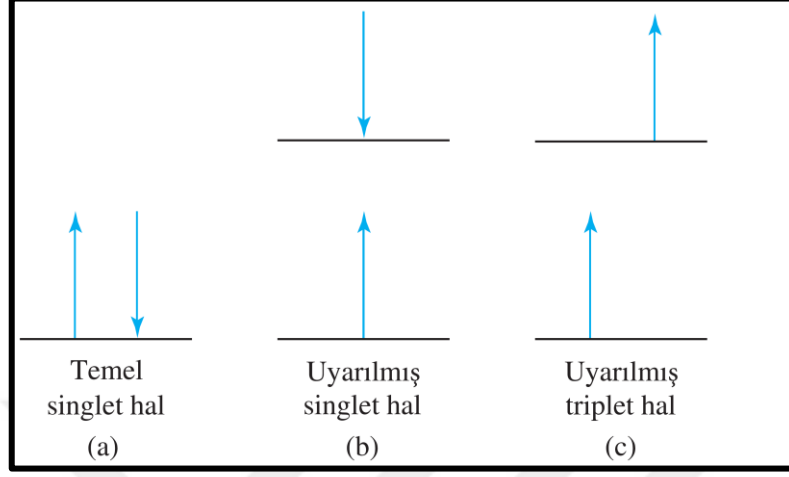
1.5. Floresans Spektroskopisi

Floresans spektroskopisi, maddenin floresans özelliğini temel alan nicel analiz yöntemidir. Absorpsiyon spektroskopisine benzer bazı yönleri olsa da floresans spektroskopisi hem daha hassastır hem de seçiciliği yüksektir. Floresans spektroskopisi kullanılarak birçok maddenin konsantrasyonu mg/L (mg/kg) ve ppb ($\mu\text{g/kg}$) düzeylerinde ölçülebilir. (Gündüz, 1999).

Floresans, atomların veya moleküllerin elektromanyetik ışınları absorplayarak uyarıldığı (Şekil 3) bir FL olayıdır. Uyarılan tür daha sonra temel hale dönerken fazla enerjisini fotonlara dönüştürür (Skoog vd., 2013).

Bir moleküldeki eşleşmemiş elektronlardan biri daha yüksek bir enerji seviyesine (düzeyine) uyarılınca bir singlet ya da bir triplet hal meydana gelir. Uyarılmış singlet halde bir üst düzeye çıkan elektronun spini, yerinde kalan elektronun spini ile terstir. Triplet halde ise, uyarılmış elektronların spinleri eşlenmemiştir, yani birbirlerine paraleldir. Uyarılmış triplet halin enerjisi uyarılmış singlet halin enerjisinden düşüktür. En düşük enerjili veya temel halde spinler daima eşleşmiştir ve bu hale temel singlet hal denir (Şekil 4a). Uyarılmış elektronik halde spin eşleşmiş olarak kalırsa, molekül uyarılmış singlet halledir (Şekil 4b).

Spin eşleşmemiş halde kaldığında ise, molekül uyarılmış triplet haldedir (Şekil 4c) (Skoog vd., 2013).



Şekil 4. Moleküllerin elektron spin halleri (Skoog vd., 2013)

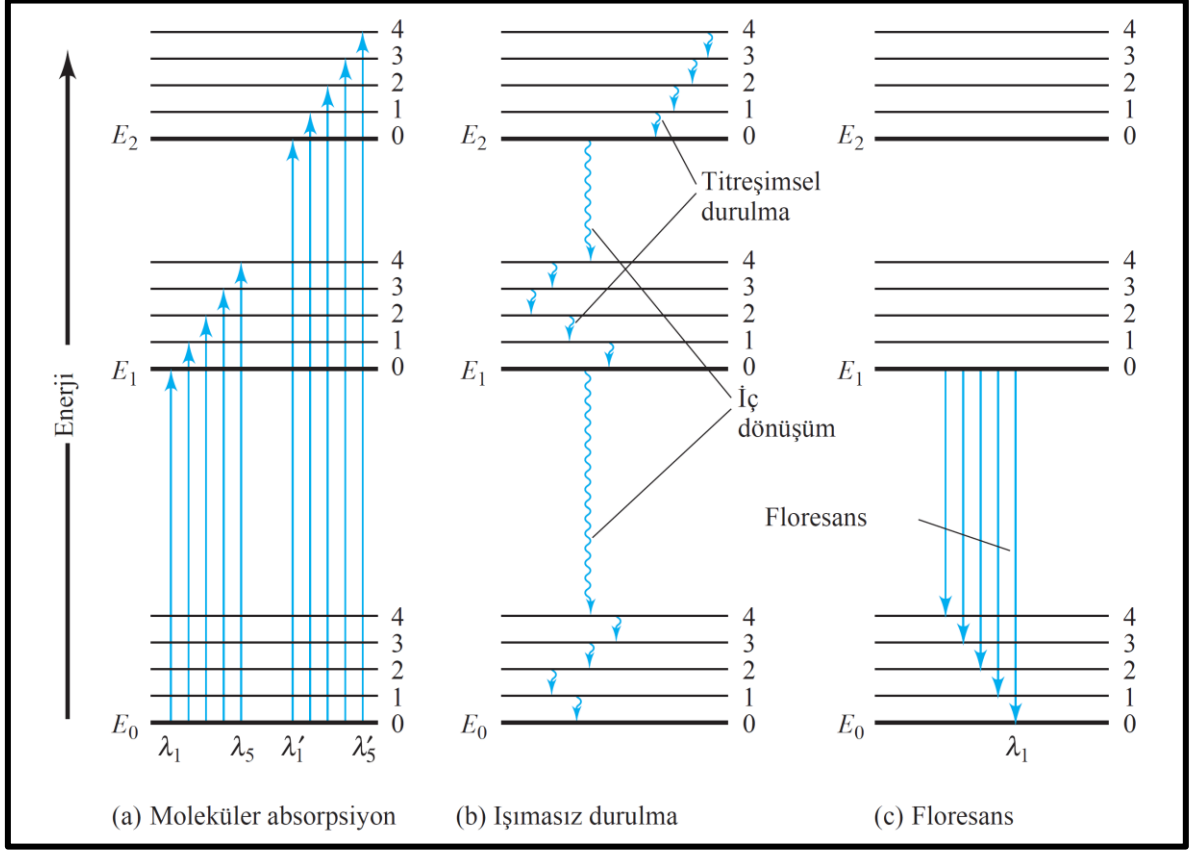
1.5.1. Moleküler Floresans

Floresans, atomların veya moleküllerin bir elektromanyetik ışıma ile uyarılması sürecini içeren bir tip FL'tır. Uyarılmış tür temel hale dönerken fazladan enerjisini bir foton halinde yayar, uyarılmış bir türün fazladan enerjisini verip temel hale dönmesi için birçok mekanizma vardır. Bunların en önemlileri ışımasız durulma ve floresans emisyonudur (Dauglas A. Skoog, Donald M. West, F. James Holler, 2011).

- Işımasız Durulma

Titreşim enerji düzeyleri arasında kısa dalgalı oklarla gösterilen titreşimsel Durulma (Şekil 5b) uyarılmış moleküllerin çözücü molekülleri ile çarpışması esnasında gerçekleşir. Çarpışma esnasında analitin fazladan titreşim enerjisi, Şekil 5'te gösterildiği gibi basamaklı bir yolla çözücü moleküllerine aktarılır. Çözücünün kazandığı titreşim enerjisi ortam sıcaklığında çok küçük bir sıcaklık artışı ile kendini gösterir. Titreşimsel durulmanın etkin bir enerji kayıp süreci olduğu, uyarılmış bir titreşimsel düzeyin ömrünün 10^{-5} s olmasından anlaşılabilmektedir. Şekil 5'te uzun dalgalı oklarla gösterilen ve titreşimsel durulmaya göre çok az etkin olan iç dönüşüm adı verilen ışımasız geçişler, bir uyarılmış elektronik düzeydeki en düşük titreşim enerjisi düzeyinden bir alt elektronik düzeydeki en yüksek enerji düzeyine

mümkün olan geçişlerdir. Bu sebeple uyarılmış elektronik enerji düzeyinin ömrü 10^{-9} ila 10^{-6} s arasındadır.

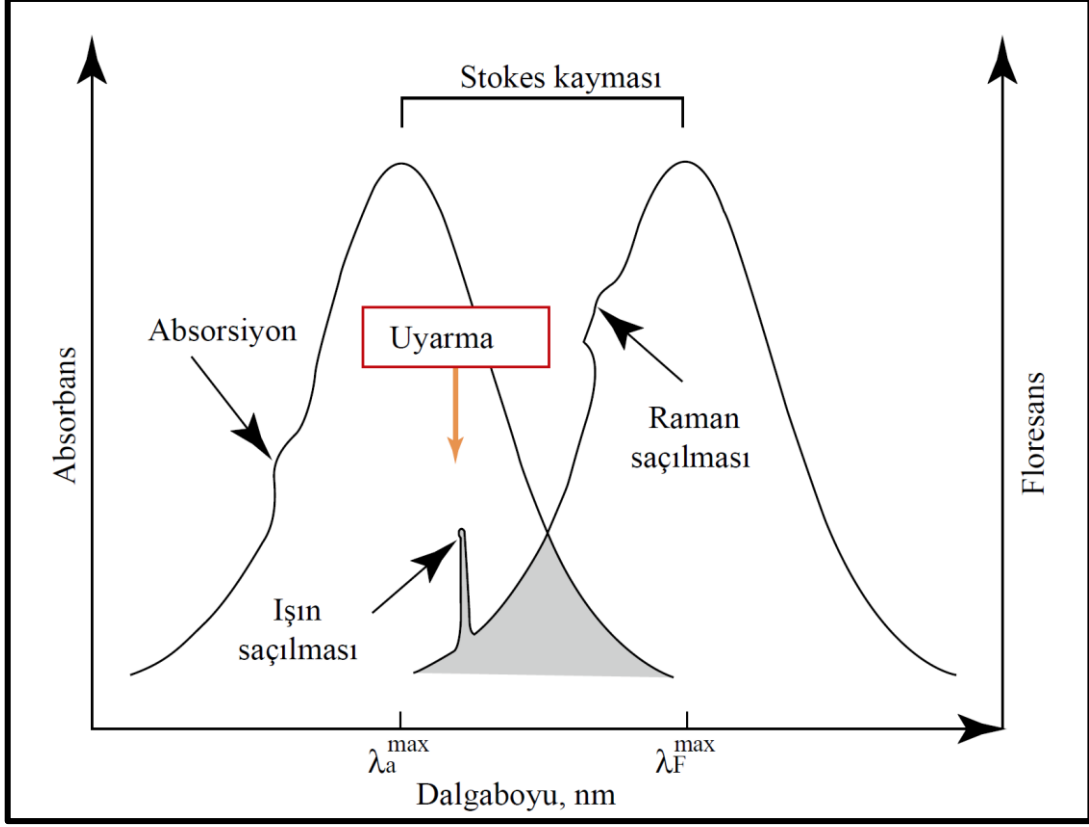


Şekil 5. Bir molekülün absorpsiyon, ışımasız durulma ve floresans süreçlerinde yer alan enerji değişimlerinden bazıılarını gösteren enerji diyagramları (Skoog vd., 2013)

- Floresans

Birçok molekülde Şekil 5b'de gösterilen ışımasız duruma süreçlerini yavaşlatabilecek ve Şekil 5c'de görülen floresans sürecini hızlandıracak yapısal bazı özgün özellikler bulunmamaktadır. Bu sebepten ışımasız durulma hızları ışımalı durulmaya göre büyüktür. Bu durum floresans yapabilen moleküllerin sayısının az olmasının sebebidir. Şekil 5c'de görüldüğü gibi molekülleri E₁ elektronik düzeyinin en düşük titreşim halinden E₀'a ait çok sayıda titreşim haline dönüş mümkün olduğu için bir bant oluşur. Moleküllerin absorpsiyon bantlarında olduğu gibi, moleküler floresans bantları da birbirine çok yakın çizgiden oluşur ve bu çizgilerin birbirinden ayrılması genelde zordur. E₁'den çeşitli E₀ titreşim düzeyleri arasındaki dönüşlerde en yüksek enerjili çizgi λ₁ ile gösterilen çizgidir. Sonuç olarak moleküler floresans bantları floresans için gerekli olan uyarmayı sağlayan dalga boyundan

daha uzun dalga boylarına sahiptir. Uyaran ve yayılan ışınlar arasındaki bu dalga boyu kaymasına Stokes kayması denir (Şekil 6) (Demchenko, 2009).



Şekil 6. Absorpsiyon ve floresans emisyon spektrumları (Demchenko, 2015)

1.5.2. Kuantum Verimi

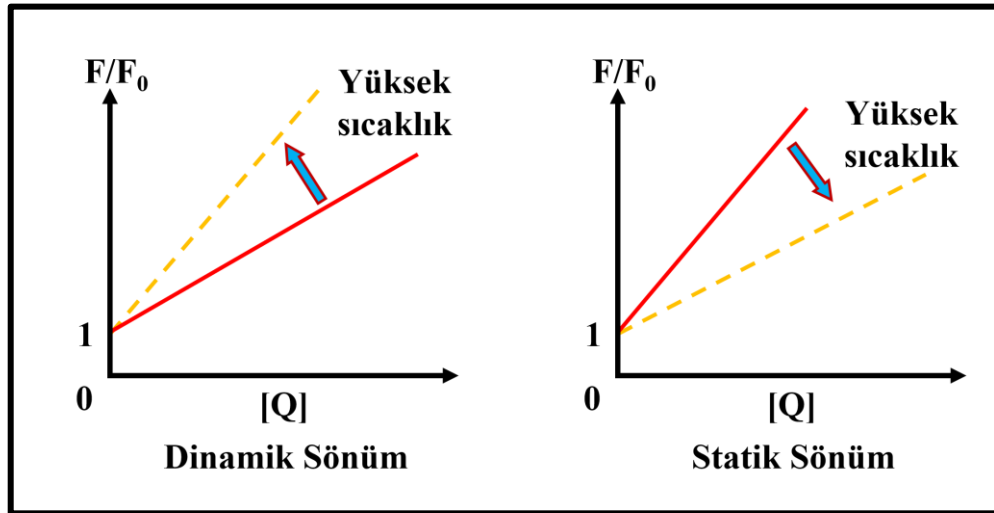
Floresan işleminin verimliliği kuantum verimi ile ölçülür. Bu parametre büyük önem taşımaktadır. Sadece belirli koşullarda bir maddenin fiziksel bir özelliği olmakla kalmaz, aynı zamanda tüm fotofiziksel davranışın çıkarılabileceği söndürme hızı sabitleri, enerji transferi ve ışımsal ve ışımsal olmayan hız sabitlerinin hesaplanmasında da yer almaktadır (Fery-Forgues & Lavabre, 1999). Kuantum verimi bir floroforun belki de en önemli özellikleridir. Kuantum verimi, absorbe edilen foton sayısına göre yayılan foton sayısıdır (Lakowicz, 1999).

1.5.3. Floresans Sönüm

Floresan sönümü, bir maddenin floresan şiddetini azaltan herhangi bir işlemi ifade etmektedir. Çeşitli moleküler etkileşimler sönüm ile sonuçlanabilir. Bunlar arasında uyarılmış hal reaksiyonları, moleküler yeniden düzenlemeler, enerji transferi, temel hal kompleks oluşumu ve çarpışmalı söndürme yer almaktadır.

Floresans sönümü, mekanizmasına bağlı olarak statik veya dinamik sönüm olarak ikiye ayrılabilir. Florofor ve söndürücü moleküller arasındaki çarpışmalar dinamik söndürmeye neden olur. Florofor ve söndürücü moleküller arasındaki kompleks oluşumu ile gerçekleşen sönüme statik sönüm adı verilmektedir. Statik söndürme sırasında söndürücü ve florofor arasında floresans olmayan bir kompleks oluşmaktadır. Bu nedenle sönüm gerçekleşmektedir. Hem statik hem de dinamik sönüm, söndürücü ve florofor arasında temas gerektirir. Çarpışmalı söndürmenin gerçekleşmesi için etkileşimin floroforun uyarılmış hal basamağında olması gerekir.

Sıcaklık, floresan yaşam süreleri ve viskozite, dinamik sönümlemeyi statik sönümlemeden ayırmak için kullanılmaktadır. Difüzyon kaynaklı sönümlemede (dinamik sönümleme), bimoleküler sönüm sabitleri sıcaklıkla birlikte yükselir. Bunun nedeni, sıcaklık arttıkça difüzyon katsayısının artmasıdır. Buna karşın, statik sönümlemede, sıcaklık arttıkça statik sönümleme sabitinin değeri düşer (Şekil 7) (Lakowicz, 2006).



Şekil 7. Sıcaklığa bağlı olarak dinamik ve statik sönümlemin değişimi

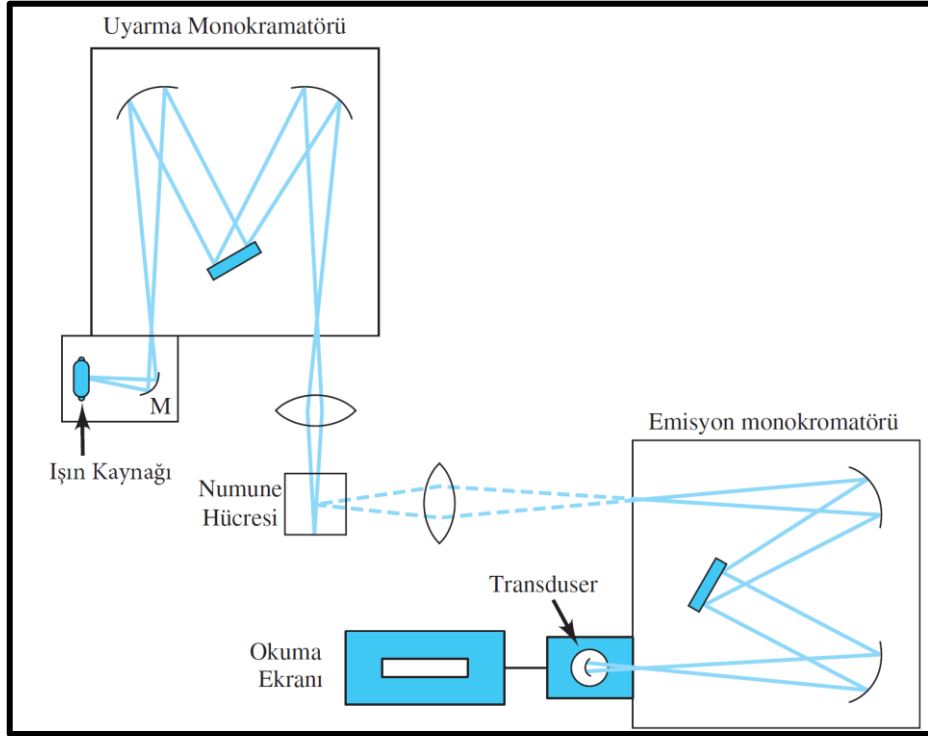
Floresans sönümü Stern-Volmer eşitliği ile açıklanmaktadır.

$$F/F_0 = K_{SV}[Q] \quad (1)$$

Burada F_0 : söndürücü yokluğundaki floresans şiddeti, F : söndürücü varlığındaki floresan şiddeti, $[Q]$: söndürücü konsantrasyonunu ve K_{SV} : Stern-Volmer sabitini ifade etmektedir. Söndürme işlemi Stern-Volmer ilişkisini izlediğinde, söndürücü molar konsantrasyonuna karşı F_0/F grafiği, y eksenini 1'de kesen doğrusal bir grafik haline gelir. Bu durumda, doğrunun eğimi Stern-Volmer sabiti K_{SV} 'ye eşittir (Şatana Kara, 2019).

1.5.4. Spektroflorometre

Bir floresan ölçüm cihazı, ultraviyole-görünür alan cihazına benzer parçalara sahiptir. Şekil 7'de standart bir florometrenin temel bileşenleri gösterilmektedir. Hemen hemen tüm spektroflorometreler, güç kaynağı dalgalanmalarını önlemek için çift ışınli yollu optikleri kullanır. Kaynaktan gelen ışınlar numuneye ulaşmadan önce bir uyarma filtresinden geçer. Bu filtre yalnızca numuneyi uyarmak için kullanılacak ışına izin verir. Uyarılan numune her yönde floresan üretir, ancak en avantajlı olanı uyarma ışınına dik açılardaki emisyonudur. Diğer açılar önemli hatalara yol açar çünkü çözeltideki dağılmayı artırır (Çağlar, 2014).



Şekil 8. İki adet optik ağ monokromatörlü spektroflorometre (Skoog vd., 2013)

Yayılan ışın filtresinden geçen floresan radyasyon örnek foto çoğaltıcısına ulaşır. Kaynaktan gelen ve uyarma filtresine dik olan radyasyon, referans foto çoğaltıcıya ulaşmadan önce ışın yoğunluğu ayarlayıcısından geçer. Işın yoğunluğu ayarlayıcısı, ışının yoğunluğunu kabaca floresan ışınına eşdeğer olacak şekilde ayarlar. Bu amaçla, referans ışının yoğunluğu yaklaşık 100 kat azaltılır. Floresan ve referans ışınları arasındaki enerji farkı yükseltilir ve fark yükselticisi tarafından kaydediciye verilir. Spektroflorometreler ışın kaynağı olarak düşük basınçlı cıva ark lambaları ve yüksek basınçlı ksenon ark lambaları kullanır.

1.6. Metot Validasyonu

Analitik kimya alanında çalışanlar tarafından laboratuvarlarda elde edilen sonuçların doğruluğunu tahmin etmek için çeşitli teknikler kullanılabilir. Analizcinin sonucu, olası hata kaynakları ve bunların sonucu nasıl etkilemiş olabileceğine dair bir açıklama ile sayısal olarak sunulmalıdır. Geçerli bir sonuç elde edebilmek için analizde en az üç ayrı örnek kullanılmalıdır. Bir veya iki analizin sonucunun gerçeği ne derece doğru temsil ettiğini tahmin etmek imkânsız olmasa da son derece zordur. Sonuç olarak, metot validasyonunun yapılması gerekir. Metot validasyonu, analitik bir metodun ilgili tayin için uygun olduğunu gösterme sürecidir. Bunun için metot özgünlüğü, doğrusallık, doğruluk, kesinlik, doğrusal aralık, gözlenebilirlik, tayin sınırı (TS) ve sağlamlık gibi parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir (Başoğlu, 2014).

1.6.1. Doğruluk

Uygulanan metot sonucu elde edilen değer gerçek ya da gerçek kabul edilen değere yakınlığı olarak ifade edilir. Ölçüt olarak hata şeklinde ifade edilir. Hatanın büyüklüğü doğruluğun ölçüsüdür. Genellikle % geri kazanım olarak ifade edildiği için % hata olarak da adlandırılmaktadır (Aydın, 2016; Dauglas A. Skoog, Donald M. West, F. James Holler, 2011). Analiz edilecek maddenin (analit) belirli miktarı numuneye eklenerek ölçümler yapılır. Eklenen madde miktarı %100 kabul edilerek % geri kazanım hesaplanır. Hesaplanan geri kazanım miktarlarının ortalaması ve gerçek değer olarak kabul edilen değer arasındaki fark hesaplanarak doğruluk bulunmuş olur (Aydın, 2016).

$$\% Hata = \frac{(X_G - X_{ort})}{X_G} \times 100 \quad (2)$$

X_G : Gerçek değer,

X_{ort} : Ölçümlerin aritmetik ortalaması

1.6.2. Kesinlik

Kesinlik, ölçüm sonuçlarının birbirine yakınlığının bir ölçüsüdür. Aynı metotla yapılan tekrarlı ölçüm sonucu arasındaki yakınlığını ifade etmek için kullanılır. Ölçüm bulgularının ortalama değer etrafındaki dağılımını gösterir. Hassasiyet, standart sapma veya %BSS olarak ifade edilir (Karaman & Akalın, 2008).

1.6.3. Tekrarlanabilirlik

Aynı kişi tarafından, aynı şartlar altında, belirli zaman aralıklarında, belirli bir numunenin, belirli bir metot kullanılarak yapılan ölçümlerin kesinliği olarak ifade edilir. Gün içi ve günler arası tekrarlanabilirlik değerleri %BSS olarak ifade edilir (Ertaş & Kayalı, 2005).

1.6.4. Gözlenebilme Sınırı (GS)

Gözlenebilme sınırı (GS) bir analitik yöntemin performansını belirlemek için kullanılan yöntemlerden biridir. Cihazın sinyal gürültüsünden farklı olarak tespit edilebilen ancak miktarının belirlenemediği en küçük analit derişimi olarak tanımlanabilir. GS'nin birimi analitin konsantrasyonu cinsinden verilir. GS en az 10 tanık çözeltinin sinyal ölçümlerinin standart sapmasının üç katının, analizde kullanılan kalibrasyon grafiğinin eğimine bölünmesiyle elde edilir (Armbruster & Pry, 2008; Başoğlu, 2014; Çağlar, 2014).

$$GS = 3\sigma/m \quad (3)$$

σ : tanık çözeltilerin standart sapması

m : kalibrasyon grafiği eğimi

1.6.5. Tayin Sınırı (TS)

Tayin sınırı (TS) belirlenen deneysel şartlarda kabul edilebilir doğruluk ve kesinlikle tayin edilebilen analitin en düşük derişimidir. Tekrarlanabilirlik GS’de çok düşük olmasından ötürü sağlıklı analizler yapılabilmesi için TS, GS değerinin belirlenmesinde kullanılan oranın 5, 9 veya 10 katı alınarak uygulanır (Armbruster & Pry, 2008; Aydın, 2016; Başoğlu, 2014; Çağlar, 2014)

$$TS = 9\sigma/m \quad (4)$$

σ : tanık çözeltilerin standart sapması

m : kalibrasyon grafiği eğimi

1.7. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı

Gıda katkısı çeşitlerinden biri olan gıda boyaları, gıda maddelerinin görüntüsünü ve tadını arttırmak için geniş ölçüde kullanılmaktadır. Son yıllarda sentetik gıda boyalarının yüksek sıcaklıklardaki kararlılıkları, düşük miktarlarda yüksek renklendirme kapasitesi, düşük mikrobiyolojik kirlenme gibi özellikleri sebebiyle doğal gıda boyalarının yerine kullanılmaktadır (H. Yang, Ran, vd., 2018; H. Zhang vd., 2017). Kullanılan bu sentetik boyalardan olan günbatımı sarısı aşırı miktarlarda tüketildiğinde alerji, ishal, anksiyete ve migren hatta karaciğer ve böbrekler için zararlı olduğu bildirilmiştir (H. Zhang vd., 2017). Başka bir gıda boyası olan tartrazinin benzer hastalıklara yol açtığı bildirilmiştir (Q. He vd., 2018).

Bu gibi olumsuz etkileri yüzünden sentetik gıda boyalarının kullanımının kanunlarla sınırlandırılması ve kontrol altına alınması önemlidir (H. Zhang vd., 2017). Yasal sınırlamaların giderek artması gıda boyalarının analitik olarak belirlenmesini zorlu bir görev haline getirmiştir (Karim-Nezhad vd., 2017). Bu sebeple tartrazinin ve diğer gıda boyalarının yiyecek ve içeceklerdeki miktarlarının belirlenmesi modern dünyanın gıda güvenliğinin sağlanması açısından önemli bir konu haline gelmiştir (Grumezescu & Holban, 2018). Ulusal ve uluslararası mevzuatta tartrazin için kabul edilen maksimum seviye 100 mg/L’dir (Resmi Gazete, 2023; M. Wang & Zhao, 2015). Hızlı, yüksek hassasiyetli ve yüksek seçimli bir tayin metodu geliştirmek insan sağlığı için değer taşımaktadır (Q. He vd., 2018).

Literatürde tartrazin tayini için birçok yöntem önerilmiştir. Örneğin bu amaçla HPLC, TLC, voltametri, LC-TQMS gibi çeşitli enstrümantal metotlar kullanılmıştır. Her ne

kadar bu metotlar yüksek kesinlik, iyi yeniden üretilebilirlik ve gereken TS'sini sağlasa da yüksek maliyet, uzun ve zahmetli örnek hazırlama, uzun analiz süreleri gibi pek çok dezavantajı vardır. Bu sebeple tartrazin tayini için basit, ekonomik, hızlı ve güvenilir bir yöntem geliştirmek hala önemini koruyan bir konudur (Sakthivel vd., 2018; J. Song vd., 2018; H. Xu vd., 2015).

Literatürde floresans özellik gösteren KNN'ler kendine has özellikleri sebebiyle pek çok analitin tayininde sensör malzemesi olarak kullanılmıştır (X. Sun & Lei, 2017). Bu analitlerden birisi de tartrazindir. Örneğin, Chatzimitakos ve diğerleri (2017) turunçgil kabuklarından PY ile elde edilen KNN'lerle dondurma, meyve suyu ve enerji içeceklerinde yapılan florometrik yöntemle tartrazin tayininde kullanmışlardır ve GS'yi 0.11 mg/L ve doğrusal aralığı 0.32 – 12.56 mg/L olarak vermişlerdir. Aloe vera bitkisinden HY ile elde edilen KNN'lerle bal, şeker ve buğulanmış kurabiyede yapılan florometrik yöntemle tartrazin tayininde GS 0.04 mg/L ve doğrusal aralık 0.13 – 17.32 mg/L olarak verilmiştir (H. Xu vd., 2015). HPLC ile yoğurtta yapılan tartrazin tayininde GS 0.65 mg/L olarak verilmiştir (de Araújo Siqueira Bento vd., 2015). HPLC ile yapılmış başka bir çalışmada ise yiyecek örneklerinde yapılan tartrazin tayininde GS 0.00005 mg/L ve doğrusal aralık 0.0005 – 2.0 mg/L olarak verilmiştir (Sha vd., 2015). İçeceklerde kapiler elektroforezle yapılan tartrazin tayininde GS 1.30 mg/L ve doğrusal aralık 2.99 – 95.12 mg/L olarak verilmiştir (Pérez-Urquiza & Beltrán, 2000). Florometrik yöntemlerle kapiler elektroforez yöntemi karşılaştırıldığında florometrik yöntemlerin ortalama olarak kapiler elektroforez yönteminden yaklaşık 16 kat daha düşük GS'ye sahip olduğu ve daha düşük konsantrasyonlarda doğrusal aralığının olduğu görülmektedir (Dossi, Piccin, vd., 2007; Dossi, Toniolo, vd., 2007; H. Y. Huang vd., 2002; Jager vd., 2005; Pérez-Urquiza & Beltrán, 2000). Yoğurtta HPLC ile yapılan tartrazin tayininde GS'nin florometrik yöntemlere göre ortalama olarak yaklaşık 8 kat daha yüksek olduğu görülmektedir. Öte yandan konu içeceklerde yapılan tartrazin tayinine geldiğinde ise HPLC metodunun hem GS (1500 kat) hem de doğrusallık konusunda (250 kat) florometrik yöntemlere olan üstünlüğü göze çarpmaktadır.

Analitik reaktif olarak kullanılacak olan bir malzemenin hazırlanmasının basit, hızlı ve ekonomik olması da istenen bir özelliktir. Bu amaçla kullanılacak olan KNN'lerin elde edilmesi için de pek çok yöntem geliştirilmiştir. Ancak bu metotların çoğu zehirli ve pahalı öncü madde, karmaşık reaksiyon şartları ve yüksek enerji gerektirmektedir. Bu nedenle KNN sentezi için yeşil öncü maddelerin kullanıldığı yeni metotların geliştirilmesine ihtiyaç

duyulmaktadır. Son yıllarda bazı bilim insanları tarafından doğal ürünlerin karbon kaynağı olarak kullanıldığı KNN sentez yöntemleri uygulanmıştır. Daha yeşil metotlar elde edebilmek amacıyla, biyoatık ve biyokütle türevleri olan kâğıt tozu, çim, meyve kabuğu, yaprak, hint yağı ve bitki kabukları gibi öncül maddeler karbon kaynağı olarak kullanmışlardır. Hem çevre dostu beklentileri karşılamak hem de kolaylıkla bulunabilecek biyoyoumlu ve biyobozunur öncü materyalleri kullanmak son derece önemlidir (Shi vd., 2019, (Bressi vd., 2023). Hazırlanan KNN'lerin floresans özelliklerinin de kullanılan yönteme, kullanılan çözücüye, reaksiyon sıcaklığına ve karbon kaynağına büyük ölçüde bağlı olduğu bilinmektedir (Bhamore vd., 2018; El-Shafey, 2021; H. Liu vd., 2024; Y. Zhang vd., 2016).

Önerilen bu tez çalışmasında, doğal bir ürün olan ancak ekonomik değeri olmayan at kestanesinde üç farklı sentez yöntemi kullanılarak hazırlanan KNN'lerin tartrazinin ucuz, hızlı, tekrarlanabilir, yüksek seçimli, yüksek hassasiyette tayini için yeni bir spektrofotometrik yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen yöntemin analiz öncesinde numunede herhangi bir ayırma veya ön işlem gerektirmeyecek olması itibari ile literatürdeki zaman alıcı ve pahalı yöntemlere göre avantaj sağlaması hedeflenmiştir. Yukarıda kısaca özetlenen literatürdeki diğer yöntemlerin tayin öncesi matrikste ön ayırma ve zenginleştirme işlemlerini içerdiği belirlendiğinden önerilen çalışmanın literatürdeki tartrazin tayini ile ilgili bu olumsuzlukları gidereceği ve bu alana katkı sağlayacağı düşünülmüştür. Böylece hem KNN'lerin hazırlanması için optimum sentez şartları hem de analitik tayin yöntemi için optimum şartların belirlenmesi hedeflenerek deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Kullanılan Cihazlar

Analitik terazi	: Sartorius Ed224s
Çalkalayıcı	: Edmund Bühler GmbH KS-15 Control
Destile/deiyonize su cihazı	: Merck Milipore Direct-Q 8 UV
İnfrared spektrofotometresi	: Perkin Elmer 1600 FT – IR
Mikrodalga fırın	: Sinbo
Partikül boyut ölçüm cihazı	: Master-Siezer
pH metre	: Orion Research Model 601 Digital Ionalyzer
Spektroflorometre	: PTI QM-4-2006
Transmisyon elektron mikroskobu	: FEI TALOS F200S TEM 200kV
Ultrasonik banyo	: Bandelin DT 102H
Uv-vis. spektrofotometre	: Analytik Jena Specord 210 Plus
Vakumlu etüv	: Vacuelli Eco Line
Vorteks çalkalayıcı	: Heidoph Instruments D-91126
Yüksek sıcaklık fırını	: SFL BS12 2UR
X-ışını fotoelektron spektrometresi	: SPECS Flex-Mod
X-ışınları kırınım difraktometresi	: Panalytical Empyran diffractometer ($\lambda=1.54 \text{ Å}$)

2.2. Kullanılan Kimyasal Maddeler ve Malzemeler

Gıda boyaları, diyaliz torbası (6000 D) Merck (Darmstat, Germany) firmasından satın alınmıştır. Tek kullanımlık filtreler (22 μ m) Sartorius firmasından satın alınmıştır. 10 mm'lik kuvarz küvet Hellma Analytics firmasından satın alındı.

2.3. Gerçek Numunelerin Temini

Tartrazin tayini için kullanılacak gerçek numuneler olan granül halinde içecek tozu ve bonbon şeker Muğla ili Köyceğiz ilçesindeki yerel marketten temin edilmiştir. Limonata ve şeker hamuru örnekleri Trabzon ilinde zincir market şubesinden temin edilmiştir.

2.4. KNN'lerin Sentezi

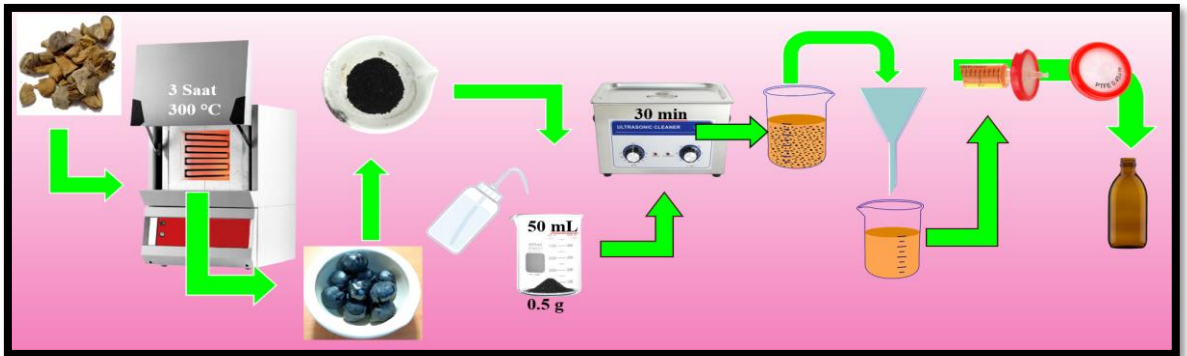
KNN'lerin sentezi için karbon kaynağı olarak Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Yerleşkesi içerisinde bulunan at kestanesi (*Aesculus hippocastanum*) ağaçlarının aynı isimle adlandırılan meyveleri kullanılmıştır. Olgunlaşıp yere düşen at kestaneleri sonbahar döneminde toplanmıştır. Toplanan at kestaneleri önce safsızlıklardan arındırmak amacı ile yıkanarak temizlenmiş ve sonrasında 80 °C'de 2 saat kurutulmuştur (Özbek vd., 2023). Kurutulan at kestaneleri parçalara ayrılarak, KNN'lerin sentezi için kullanılmıştır.

PY ve mikrodalga piroliz yöntemi (MPY) ile elde edilen katı toz, HY ile elde edilen sulu çözelti, "2.4.4. KNN'lerin Sulu Çözeltilerinin Hazırlanması" bölümünde anlatıldığı gibi hazırlandıktan sonra 365 nm dalga boyundaki UV ışınları ile uyarılıp floresans ışıma yapıp yapmadıkları kontrol edilmiştir.

2.4.1. PY ile KNN'lerin Sentezi

Temizlenip hazırlanan at kestaneleri bir kroze konulup yakma fırınında 300 °C'de 3 saat bekletildi. Bu süre sonunda karbonlaşmış at kestaneleri fırından çıkartılıp soğumaya bırakıldı. Soğuyan piroliz ürünü porselen havanda ezilerek toz haline getirildi. Toz haline getirilen piroliz ürününden 0.5 g tartılıp üzerine 50 mL saf su ilave edildi. 30 dakika ultrasonik banyoda bekletildi. Sonrasında süzgeç kağıdından süzülde ve 0.22 µ'luk membrandan geçirilen çözelti analitik amaçlı çözeltileri hazırlamak üzere ağzı kapalı kapta saklandı (Özbek vd., 2023; L. Xiao & Sun, 2018).

Şekil 9, at keşanesinden PY yöntemi ile yüksek sıcaklık fırınında gerçekleştirilen KNN sentezini özetlemektedir.



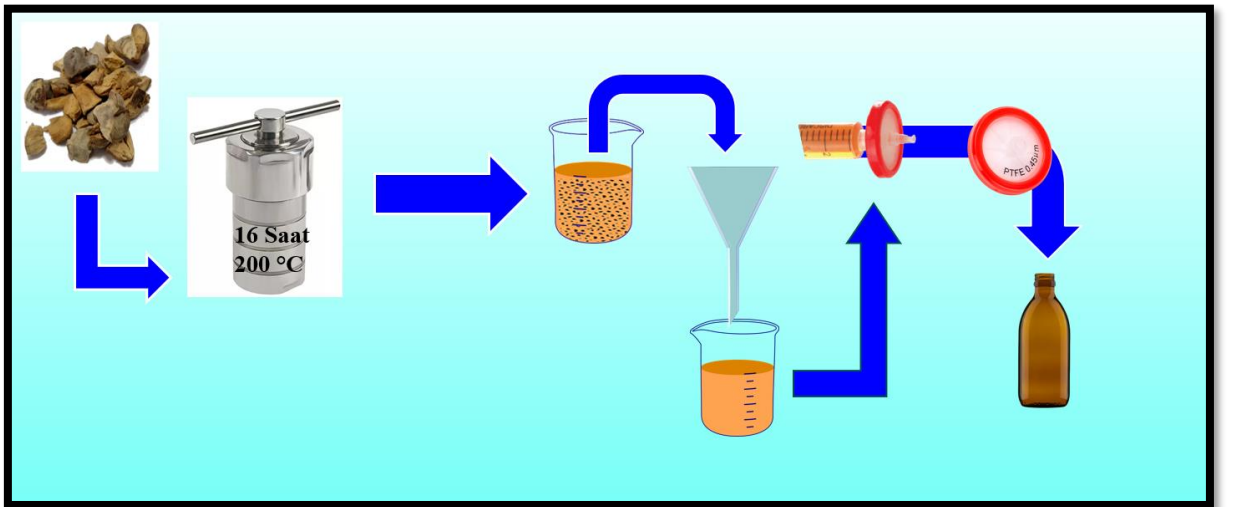
Şekil 9. PY yöntemi ile yüksek sıcaklık fırınında gerçekleştirilen KNN sentez şeması

Bunun için at kestaneleri bir porselen krozede yakma fırınında 300 °C’de 3 saat bekletildi. Bu süre sonunda soğuyan piroliz ürünü porselen havanda ezilerek toz haline getirildi ve 0.5 g tartılıp 50 mL saf su içerisinde dispers edilmek üzere 30 dakika ultrasonik banyoda bekletildi. Süspansiyon süzgeç kağıdından süzildükten sonra 0.22 µ’luk membrandan geçirildi ve hacmi 50 mL’ye tamamlandı. Analitik çalışmalarda bu hali ile kullanıldı.

2.4.2. HY ile KNN’lerin Sentezi

Temizlenip hazırlanan at kestaneleri küçük parçalara ayrıldı. Bu küçük parçalar teflon kaplı bir otoklava konuldu ve üzerine 200 mL saf su ilave edilerek 200 °C’de 16 saat bekletildi. Bu süre sonunda oda şartlarında kendi kendine soğumaya bırakıldı. Soğuyan otoklav açıldı ve içindeki kahverengi çözelti 0.45 ve 0.22 µm’lik membran filtreden süzülüp ağzı kapalı bir kaptaki +4 °C’de saklandı (Bressi vd., 2023; Ng vd., 2021a).

At keşanesinden HY ile hazırlanan KNN’lerin sentezi Şema 2’de özetlenmiştir. Bunun için 200 mL saf su içerisinde küçük parçalara ayrılmış at kestaneleri teflon kaplı bir otoklavda 200 °C’deki bir fırında 16 saat bekletildi. Elde edilen kahverengi çözelti 0.45 ve 0.22 µm’lik membran filtreden süzülerek hacmi 50 mL’ye tamamlandı ve analitik çalışmalarda kullanıldı.



Şekil 10. HY yöntemi ile gerçekleştirilen KNN sentez şeması

2.4.3. MPY ile KNN'lerin Sentezi

Temizlenip hazırlanan at kestaneleri, katı halde, hiçbir işleme tabi tutulmadan, hiçbir kimyasal eklenmeden, bir behere konuldu. Beher ev tipi bir mikrodalga fırına yerleştirilip 700 W'ta çalıştırıldı. Çalıştırdıktan 3 dakika sonra tamamen karbonlaşmış ürün elde edildi. Karbonlaşmış at kestaneleri mikrodalga fırından çıkartılıp soğumaya bırakıldı. Soğuyan at kestaneleri porselen havanda ezilerek toz haline getirildi. Bu piroliz ürününden 0.5 g tartılıp üzerine 50 mL saf su ilave edildi. 30 dakika ultrasonik banyoda bekletildi. Sonrasında süzgeç kağıdından ve 0.22 μ 'luk membrandan süzüldü. Bu şekilde hazırlanan KNN çözeltilerinin gerektiğinde tekrar hazırlanması için toz haline getirilen piroliz ürünü ağzı kapalı kapta saklandı.

Tez kapsamında önerilen MPY ile KNN sentezi için Şekil 11'de özetlenmiştir. Bunun için at kestaneleri katı halde hiçbir işleme tabi tutulmadan, hiçbir kimyasal madde veya çözücü eklenmeden bir beher içerisinde ev tipi bir mikrodalga fırında 700 W'da 3 dakika tutuldu. Ezilerek toz haline getirilen karbonlaşmış ham ürünün 0.5 g'ı 50 mL saf su içerisinde 30 dakika ultrasonik banyoda dispers edildi. Süspansiyon önce süzgeç kağıdından, sonra 0.45 μ 'luk membrandan süzüldü hacmi 50 mL'ye tamamlandı. Analitik çalışmalarda bu çözelti kullanıldı.



Şekil 11. MPY yöntemi ile gerçekleştirilen KNN sentez şeması

2.4.4. KNN'lerin Sulu Çözeltilerinin Hazırlanması

PY ve MPY ile elde edilen toz piroliz ürününden yaklaşık 5 g tartılıp üzerine 100 ml saf su ilave edildi. Ardından 15+15 dakika olmak üzere toplamda 30 dakika ultrasonik banyoda KNN'lerin dağılarak çözünmesi sağlandı. Sonrasında bu karışım sıra ile adi süzgeç

kâğıdı, beyaz bant süzgeç kâğıdı ve son olarak da mavi bant süzgeç kâğıdından süzüldü. Süzüntü 0.45 ve 0.22 μm 'lik membran filtreden geçirildi. Son hacim 100 ml olacak şekilde saf su eklendi. +4 $^{\circ}\text{C}$ 'de saklandı.

HY ile elde edilen sulu çözelti sadece 0.45 ve 0.22 μm 'lik membran filtreden süzülerek +4 $^{\circ}\text{C}$ 'de saklandı.

2.5. KNN'lerin Karakterizasyonu

KNN'lerin karakterizasyonunda TEM, HR-TEM, XRD, XPS, FTIR, UV-Vis ve floresans spektroskopik yöntemler kullanıldı. TEM, HR-TEM, XPS ve FTIR analizlerinde kullanılmak üzere KNN'lerin sulu çözeltileri vakumlu etüvde 150 $^{\circ}\text{C}$ 'de kurutularak elde edildi. XRD analizi için KNN'lerin sulu çözeltileri cam lameller üzerinde ince film oluşturacak şekilde damla damla konulup vakumlu etüvde 150 $^{\circ}\text{C}$ 'de kurutuldu. TEM analizi için KNN'lerin Sulu Çözeltileri 6000 D'luk diyaliz torbası kullanılarak 4 gün boyunca diyalize bırakıldı. Diyaliz sonrasında diyaliz içi ve diyaliz dışı KNN'lerin sulu çözeltilerinin floresans şiddetleri ölçüldü. Yapılan ölçümler neticesinde diyaliz torba dışındaki çözelti kullanıldı. Suda dispers olan KNN'lerin parçacık boyut dağılımı ölçümü için Master-Sizer cihazı kullanıldı. XRD sonuçlarından partikül boyutlarının belirlenmesi için Scherrer Eşitliğinden faydalanıldı (Eşitlik (5)).

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (5)$$

K: Scherrer sabiti

λ : dalga boyu

β : pikin yarı maksimumdaki tam genişliği (FWHM)

θ : Bragg açısı

2.6. KNN'lerin Floresans Özelliklerin Belirlenmesi

KNN'lerin floresans özellikleri belirlenirken kullanılan KNN'lerin çözelti oranları belirlendi. Bunun için elde edilen KNN'lerin sulu çözeltilerinden deneme-yanılma metodu ile en uygun floresans şiddeti verecek şekilde belirli miktarlarda alınarak denemeler yapıldı. Örnek olarak, 50 μL KNN sulu çözeltisi alınıp 4000 μL 'ye tamamlanıp 400 – 300 nm aralığında 10'ar nm aralıklarla uyarılarak emisyonları gözlemlendi. Böylece en yüksek emisyonun gözlemlendiği dalga boyları tespit edildi. Birbirine yakın floresans emisyon

veren dalga boylarından enerjisi düşük olan dalga boyu seçilerek uyarma dalga boyu belirlenmiştir.

2.6.1. KNN'lerin Floresans Özelliklerine pH Etkisinin Belirlenmesi

KNN'lerin floresans şiddeti üzerine pH'nin etkisini belirlemek amacıyla uygun tampon çözeltiler kullanılarak pH 3 – 12 aralığında hazırlanan KNN çözeltileri 360 nm dalga boyunda uyarılarak ölçümler alınmıştır.

2.6.2. Gıda Boyaları ile KNN'lerin Etkileşimlerinin Belirlenmesi

KNN çözeltilerinin uygun seyreltme oranları belirlendikten sonra bu çözeltilerden 2000 µL alınarak tüplere konuldu. Son hacimdeki gıda boyası konsantrasyonu 13.36 mg/L olacak şekilde üzerlerine gıda boyaalarının çeşitli konsantrasyonlarda hazırlandığı ara stok çözeltilerinden gerekli miktarlarda ilave edildi. Son hacim 4000 µL olacak şekilde saf su ile tamamlandı. Maksimum floresans şiddetin tespit edildiği dalga boyunda uyarılarak floresans spektrumları alındı.

2.6.3. Tartrazin Gıda Boyasının Spektrofluorometrik Titrasyonu

Tartrazin gıda boyasının KNN ile etkileşiminin tartrazinin konsantrasyonuna bağlı olup olmadığının anlaşılabilmesi amacı ile spektrofluorometrik titrasyon çalışması yapıldı. Bu çalışma için öncelikle 11 adet deney tüpüne hazırlanan KNN'lerin sulu çözeltilerinden 2.0 mL konuldu. Üzerine ilk tüp hariç 53.44 mg/L'lik tartrazin çözeltisinden 100 µL – 1000 µL arasında artan şekilde kalan 10 tüpe tartrazin çözeltisi ilave edildi. Daha sonra tüplere son hacim 4 mL olacak şekilde saf su eklendi. Sonrasında spektrofluorometre cihazında 360 nm uyarma dalga boyunda ölçüm yapıldı. Artan tartrazin konsantrasyonuna karşılık KNN'lerin sulu çözeltilerinin floresans şiddetlerinde düzenli azalmanın varlığı tespit edildi. Her bir yöntem için belirlenen emisyon dalga boyundaki floresans şiddet değerleri ile (PY=432 nm, HY=437 nm, MPY=435 nm) tartrazin konsantrasyonları grafiğe geçirildi. Her bir yöntem için elde edilen grafiklerden 13.4 mg/L tartrazin konsantrasyonundan sonra Lambert-Beer Kanunundan sapmaların olduğu tespit edildi.

2.7. Tartrazinin Spektroflorometrik Titrasyonunun pH Üzerine Etkisi

Sabit miktardaki M-KNN ve 0 – 66 mg/L konsantrasyon aralığında tartrazin içeren çözeltiler hazırlandı ve her bir tüpteki çözeltinin pH değeri ölçüldü.

2.8. KNN'lerin KV'lerinin Hesaplanması

KNN'lerin KV'leri (Φ_{CNDs}) karşılaştırmalı bir yöntemle belirlenmiştir (Q. Hu vd., 2014). Kırma indisi $\eta=1.33$ olan 0.1 M'lik H_2SO_4 içerisinde çözünmüş Kinin Sülfat ($\Phi_R = 0.54$) çözeltisi referans floresan standart olarak kullanılmıştır. Kırma indisi $\eta=1.33$ olan saf su içinde KNN'lerin çözeltileri hazırlandı. Hazırlanan her iki çözeltiden farklı konsantrasyonlarda tüpler hazırlanarak 360 nm uyarma dalga boyunda (λ_{ex}) emisyonları ölçülerek emisyon grafiklerinin integral değerleri hesaplanmıştır. Ardından her iki çözeltinin Emisyon ölçüm konsantrasyonları kullanılarak absorbansları ölçüldü. Elde edilen integral değerlerine karşılık gelen absorbans değerleri kullanılarak Entegre Edilmiş Floresans Şiddet – Absorbans Grafiği çizildi. Çizilen bu grafikten elde edilen doğruların eğimi (m) kullanılarak KNN'lerin KV'leri (Φ_s) aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\Phi_{CNDs} = \Phi_Q (m_{CNDs}/m_Q) (\eta_{CNDs}^2/\eta_Q^2) \quad (6)$$

Eşitlik (6)'de CNDs ve Q altsimgeleri KNN ve kinin sülfatı ifade etmektedir. m entegre edilmiş floresans şiddetin absorbansa karşı çizilen grafiğinden elde edilen eğimi göstermektedir. η ise kırma indisidir.

2.9. Gerçek Numunelerin Hazırlanması

Çalışmada dört adet gerçek numune kullanılmıştır. Bunlar; granül içecek tozu, bonbon şeker, limonata ve şeker hamurudur. Kullanılan gerçek numunelerden bonbon şeker öncelikle porselen havanda ezilerek toz hale getirilmiş ve kullanılmıştır. Granül içecek tozu ve şeker hamuruna herhangi bir işlem uygulanmamıştır. Daha sonra bu numunelerden 10 g tartılmış, ardından 100 ml'lik balon jojeye konulup son hacim 100 ml'ye tamamlanmıştır. Ardından 15 dakika 500 rpm değerinde manyetik karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra 15 dakika ultrasonik banyoda bekletilerek numuneler tamamen çözünür hale getirilmiştir.

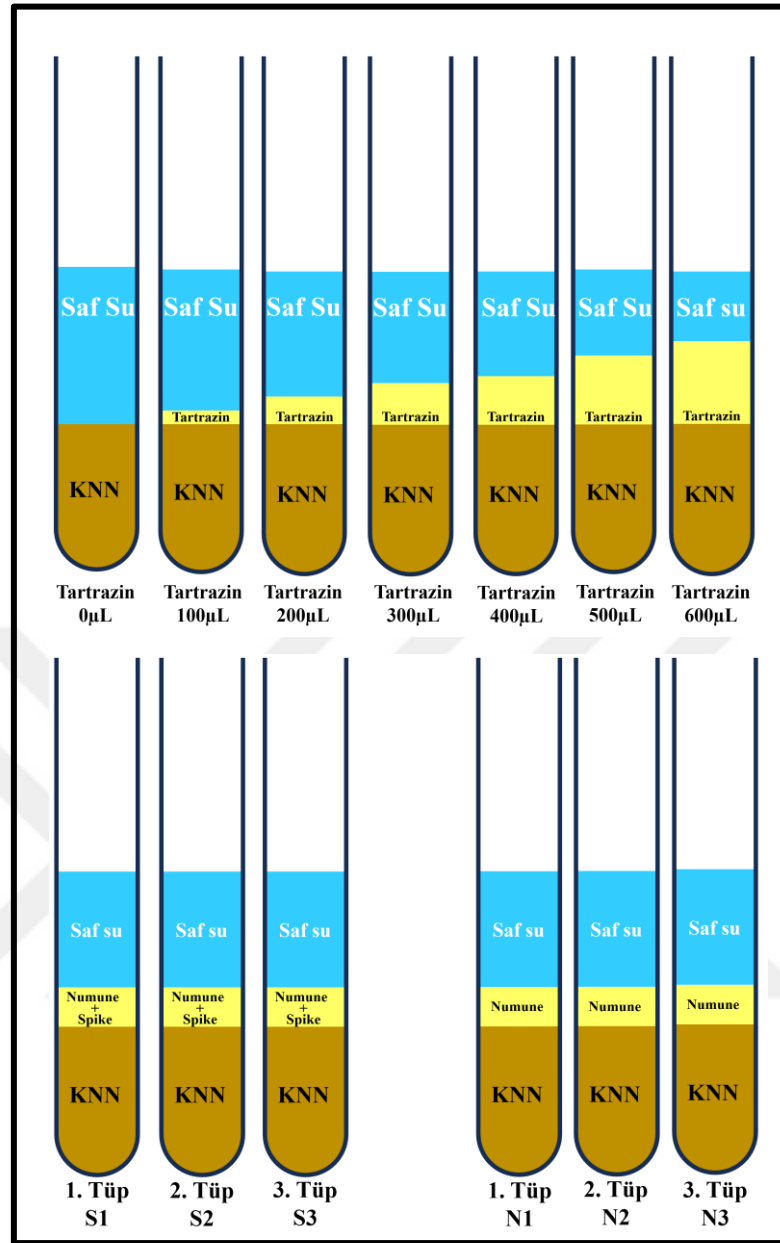
Daha sonra 0.45 ve 0.22 μm 'lik filtreden süzölmüş ve analize hazır hale getirilmiştir. Limonata ise 0.45 ve 0.22 μm 'lik filtreden geçirilerek analize hazır hale getirilmiştir.

2.9.1. Tartrazin İlave Edilmiş Numunelerin Hazırlanması

Tüpteki son tartrazin konsantrasyonu 1 mg/L olacak şekilde 25 ml tartrazin ilave edilmiş numune çözeltileri (spike) hazırlandı. Tartrazin konsantrasyonu 53.44 mg/L olan tartrazin çözeltisinden gereken miktar hesaplandıktan sonra bu miktar 25 ml'lik bir balon jöjeye konuldu ve üzeri gerçek numune çözeltisi ile 25 ml'ye tamamlandı.

2.10. Tartrazin Tayini İçin Önerilen Metot

Gerçek gıda numunelerinde tartrazin analizi için standart kalibrasyon grafiği yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem için hazırlanan KNN çözeltilerinden 7 adet tüpe 2000'er μL konulmuştur. Üzerlerine 53.44 mg/L konsantrasyonunda tartrazin çözeltisinden 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600'er μL konulmuştur. Daha sonra toplam hacim 4000 μL olacak şekilde saf su ilave edilerek elde edilen çözeltilerin floresans spektrumları alındı. İlgili emisyon dalga boyundaki floresans şiddetleri tartrazin konsantrasyonuna karşı grafiğe geçirilerek kalibrasyon grafikleri hazırlandı. Daha sonra hem tartrazin ilave edilen (S) hem de tartrazin ilave edilmemiş (N) olan gerçek numune çözeltilerindeki tartrazin miktarı bu kalibrasyon grafikleri kullanılarak belirlendi. Sonra tartrazin ilave edilen ve edilmeyen çözeltilerden bulunan tartrazin miktarları arasındaki fark geri kazanım ölçümlerinde aranan tartrazin konsantrasyonu olarak kullanıldı. Elde edilen değerin ilave edilen konsantrasyon değerine olan yakınlığı % hata olarak ifade edildi. Ölçümler 3 tekrarlı yapıldı.



Şekil 12. Tartrazin tayini için önerilen standart kalibrasyon metodunun deneysel uygulama şeması

Analiz için öncelikle kalibrasyon grafiği için gereken artan konsantrasyonda Tartrazin standardı içeren tüpler, sonrasında spike'lı numuneler (3 adet) ardından ise gerçek numune tüplerinin (3 adet) floresans şiddetleri ölçüldü. Maksimum emisyonun gözlemlendiği dalga boylarındaki emisyon şiddetleri ile Tartrazin konsantrasyonuna karşı grafiğe geçirildi. Spike'lı numunelerin ve gerçek numunelerin konsantrasyonları $y = mx + n$ denkleminde ayrı ayrı bulundu. Sonra bu değerlerin ortalamaları alındı. Her üç tüp için Spike'lı numune ortalama konsantrasyon değerinden gerçek numune ortalama konsantrasyon değeri çıkartıldı. Spike'lı üç tüp (S1, S2, S3) için elde edilen ortalama değerden gerçek numune

içeren üç tüpün (N1, N2, N3) ortalama değeri çıkartılarak spike edilen konsantrasyon değeri bulundu.

Elde edilen değerin spike edilen konsantrasyon değerine olan yakınlığı (% hata) bize metodun doğruluğunu göstermektedir.

$$\frac{\text{Ölçülen Spike'lı Numune Konsantrasyonu}}{\text{Ölçülen Numune Konsantrasyonu}} - 1 = \frac{\text{Spike edilen Tartrazin Konsantrasyonu}}{\text{Ölçülen Numune Konsantrasyonu}} \quad (7)$$

Spike'lı numune konsantrasyon değerinden spike edilen değer çıkartıldığında ise gerçek numune içinde bulunan Tartrazin konsantrasyon değeri elde edilmiştir.

2.11. Metot Validasyonu

2.11.1. Doğruluk

Metodun doğruluğu tartrazin eklenmiş gıda boyalarının ekleme – geri kazanım analizi çalışmaları ve Trabzon İl Gıda Kontrol Laboratuvarında bilinen standart metotlarla analiz edilen şeker hamuru numunesi ile doğrulanmıştır. Granül toz içecek, bonbon şeker, limonata ve şeker hamuru için yapılan analizler için geri kazanım değerleri gösterilmiştir.

2.11.2. Kesinlik

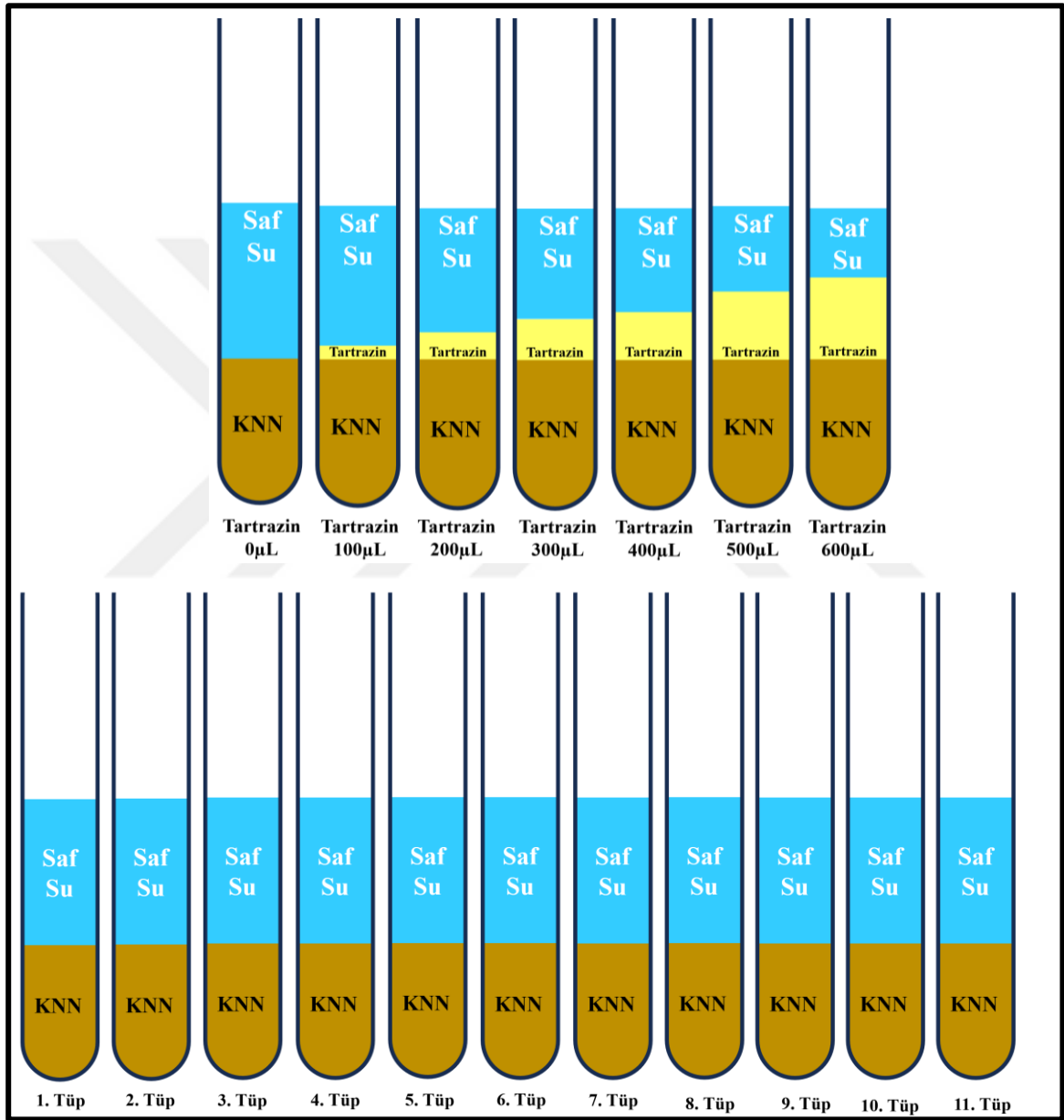
Metodun kesinliğini belirlemek için gün içi ve günler arası ölçümler yapılmıştır.

2.11.3. GS ve TS

Metodun GS'sini ve TS'sini belirleyebilmek için iki seri pipetleme yapıldı. İlk pipetleme, standart kalibrasyon yönteminde kullanılan kalibrasyon grafiğini elde etmek için 0 – 5.13 mg/L içecek şekilde (0 – 600 µL tartrazin) hazırlandı. İlgili uyarma dalga boyunda (360 nm) uyarılarak emisyonlar ölçüldü. İlgili emisyon dalga boylarındaki (PY için 432 nm, HY için 437 nm, MPY için 435nm) floresans şiddet – konsantrasyon grafiği çizildi. Elde edilen grafiğin eğimi GS ve TS tespitinde kullanılmak üzere kaydedildi.

İkinci pipetleme F₀ değeri için elde edeceğimiz standart sapma değerini bulmak için yapıldı. F₀ değerini elde ettiğimiz KNN çözeltisinden 11 adet hazırlandı (2 mL KNN çözelti + 2 mL saf su).

Bu çözeltilerin Floresans şiddetleri ilgili uyarma dalga boyunda (360 nm) uyarılarak ilgili emisyon dalga boyundaki (PY için 432 nm, HY için 437 nm, MPY için 435 nm) floresans şiddetleri ölçüldü. Ölçülen 11 adet floresans şiddet değerinin standart sapma değeri hesaplandı. Elde edilen standart sapma değerinin 3 katı kalibrasyon grafiğinin eğimine bölünerek GS belirlenmiştir. GS değerlerinin 3 katı ise tespit sınırı olarak belirlenmiştir.



Şekil 13. Metodun GS'si ve TS'sini belirleyebilmek yapılan pipetleme

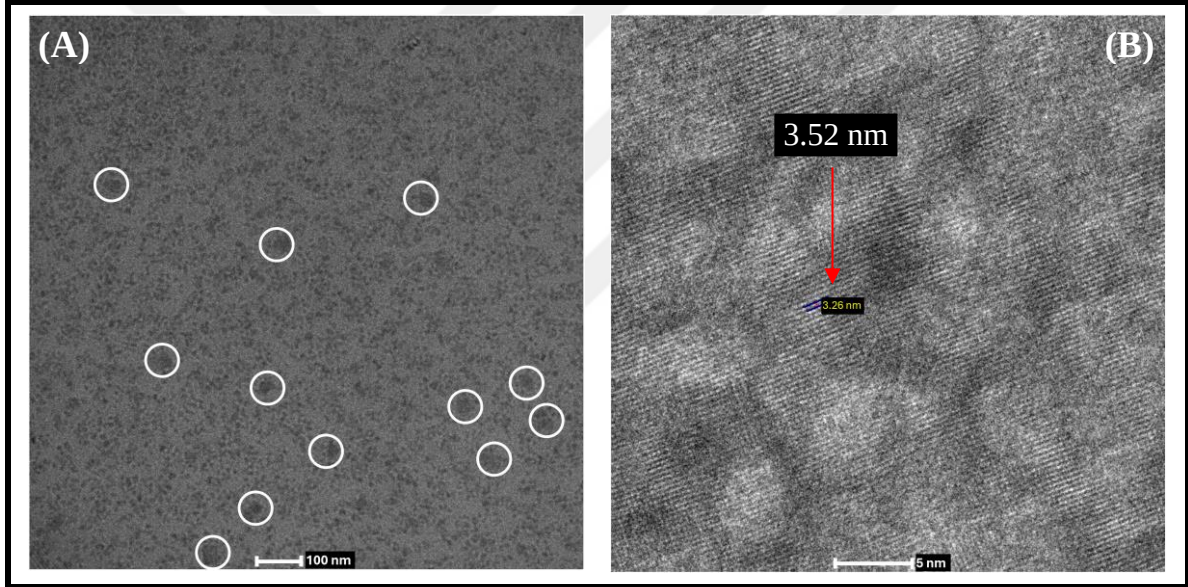
3. BULGULAR

3.1. KNN'lerin Karakterizasyonu

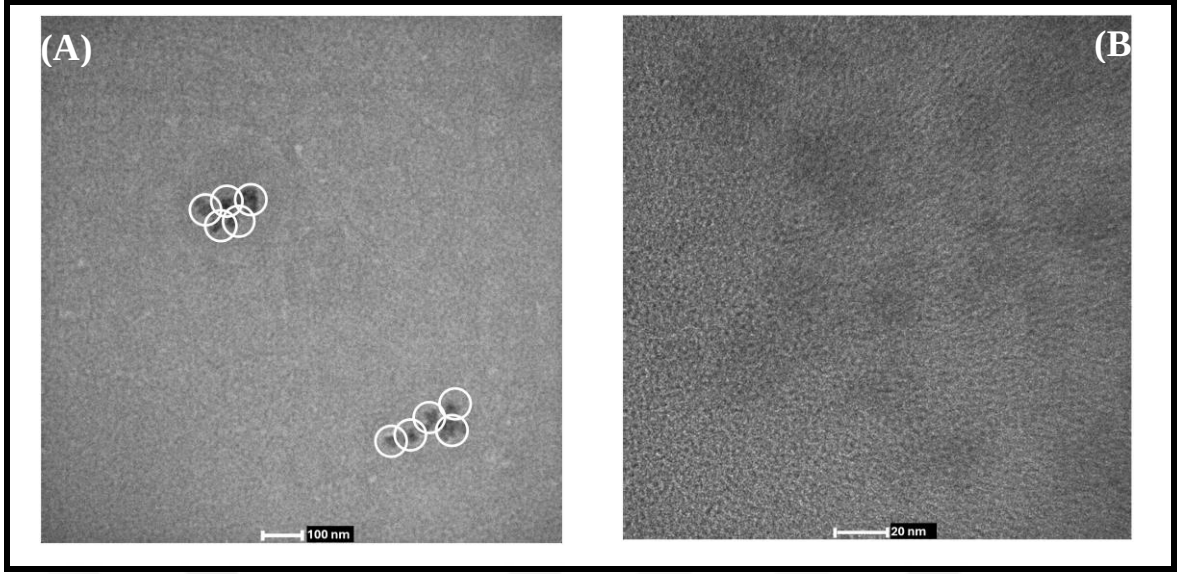
3.1.1. KNN'lerin TEM Görüntüleri

KNN'lerin şekilsel karakterizasyonu için TEM görüntüleri alındı. Daha ayrıntılı analiz için HRTEM görüntüleri de alınarak kristal yapıları hakkında bilgi elde edildi.

P-KNN'lerin ve H-KNN'lerin TEM ve HRTEM görüntüleri sırasıyla Şekil 14 ve Şekil 15 'de verilmiştir.

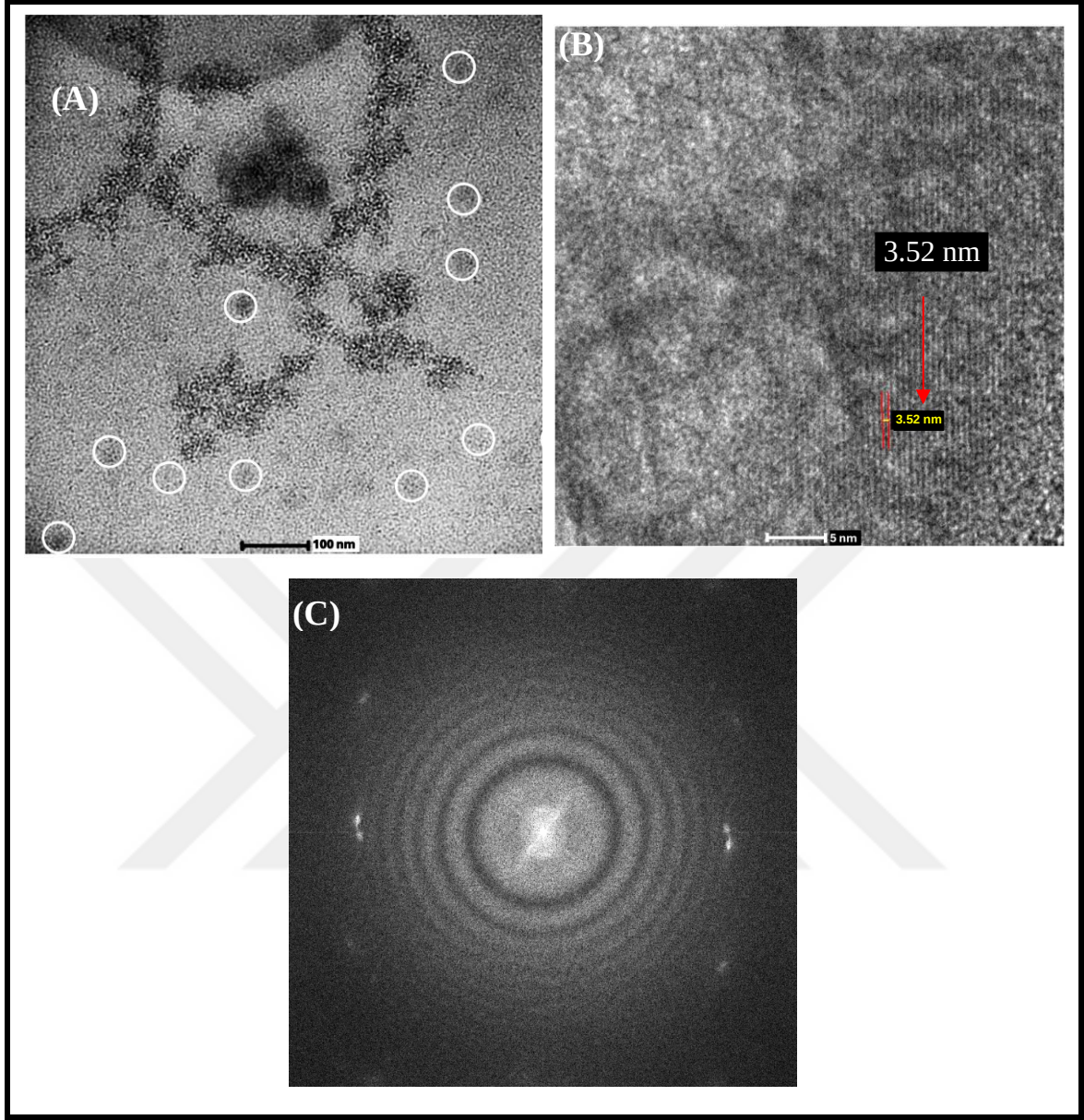


Şekil 14. P-KNN'lerin (A) TEM görüntüleri, (B) HRTEM görüntüleri



Şekil 15. H-KNN'lerin (A)TEM görüntüleri, (B) HRTEM görüntüleri

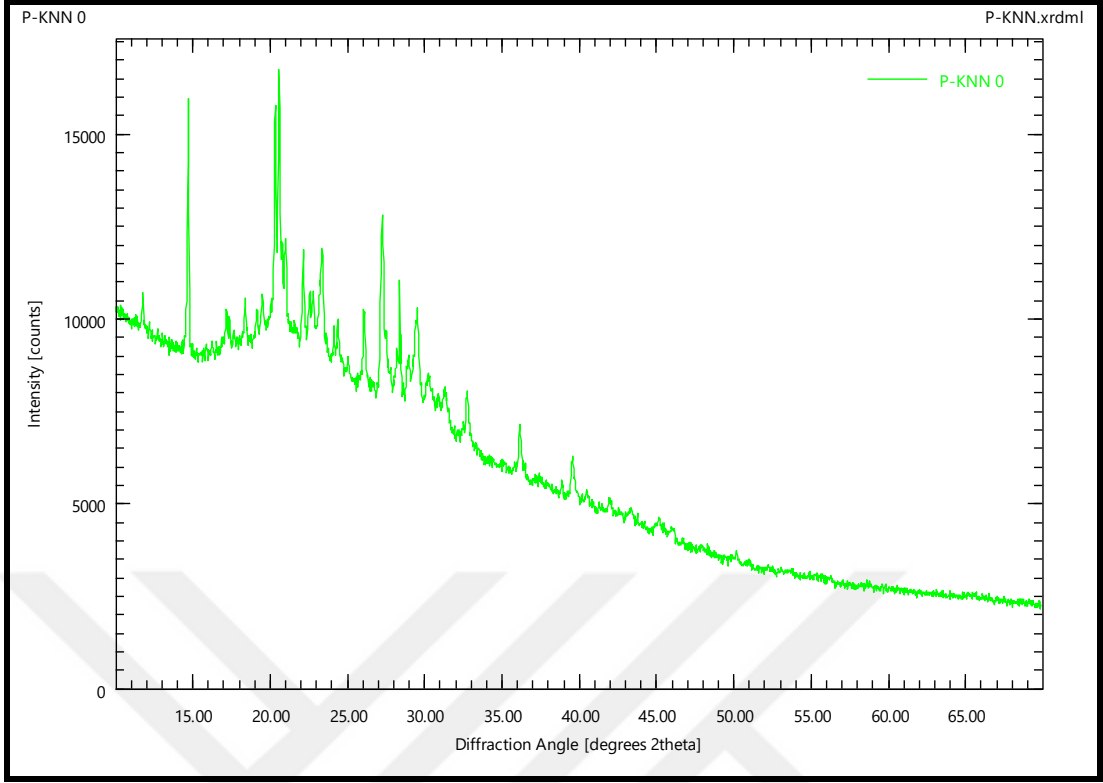
M-KNN'lerin TEM ve HRTEM görüntüleri Şekil 16'de verilmiştir. M-KNN'lerin kristal yapısı hakkında ayrıntılı bilgi almak için HRTEM görüntülerinden elde edilen FFT görüntüsü de Şekil 16C'de verilmiştir.



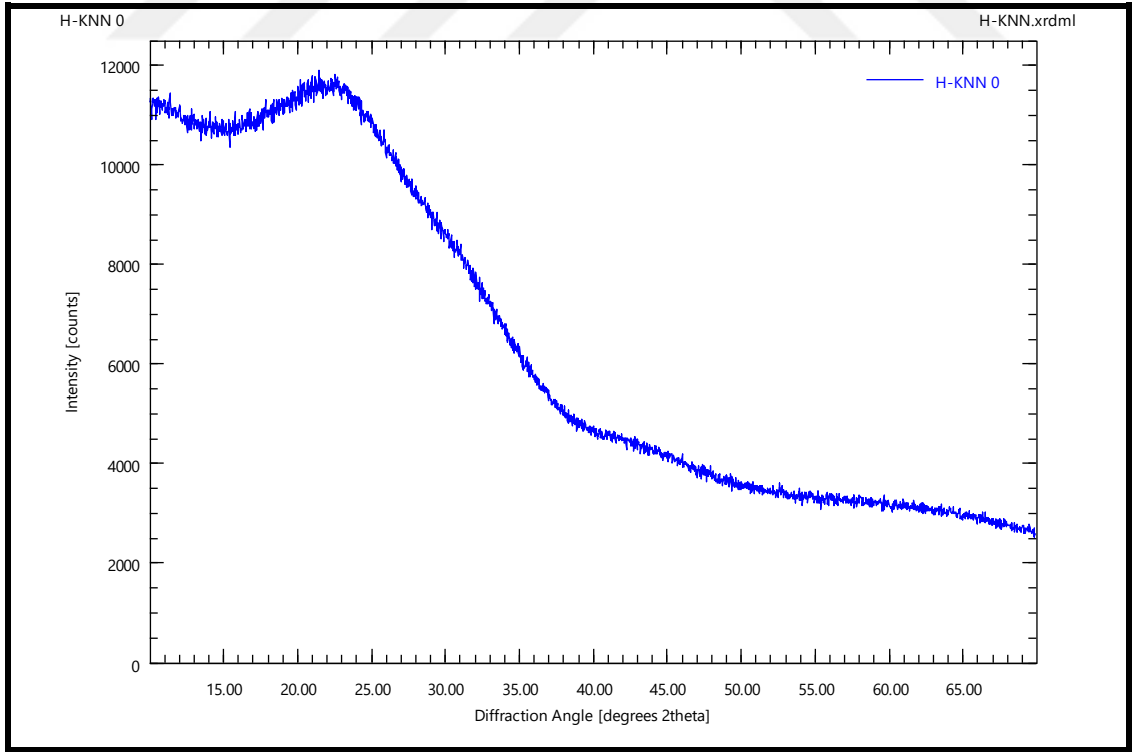
Şekil 16. M-KNN'lerin (A) TEM görüntüleri, (B) HRTEM görüntüsü, (C) FFT görüntüsü

3.1.2. KNN'lerin XRD Spektrumları

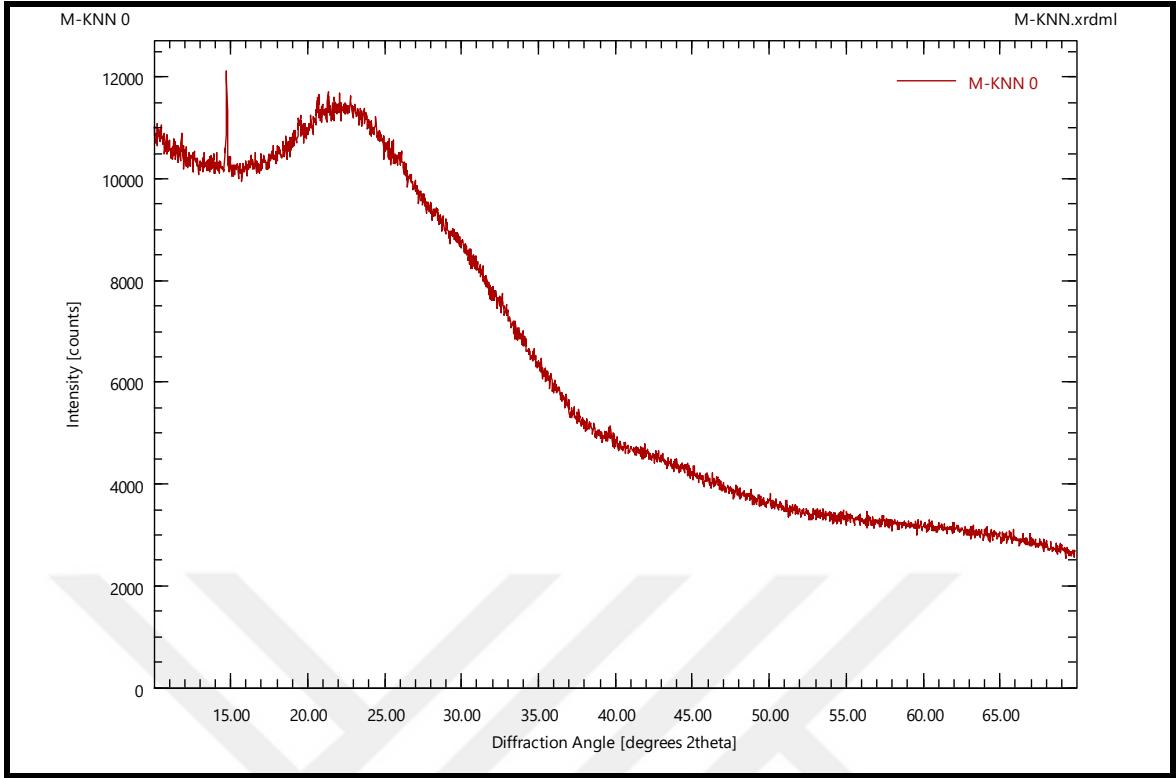
KNN'lerin kristal yapısı hakkında bilgi almak için XRD analizleri yapıldı. Sonuçlar Şekil 17, Şekil 18 ve Şekil 19'de verilmiştir.



Şekil 17. P-KNN XRD Spektrumu



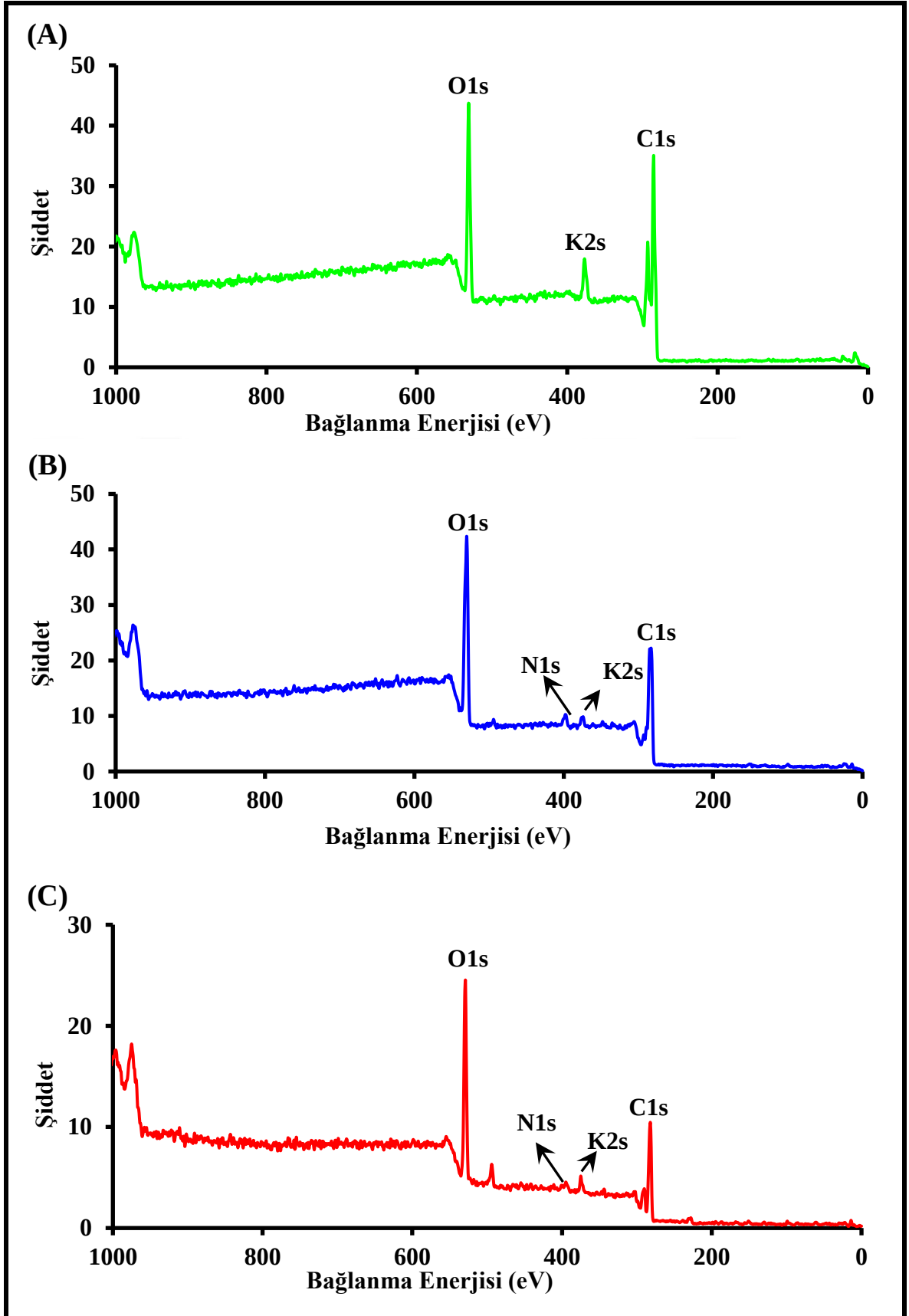
Şekil 18. H-KNN XRD Spektrumu



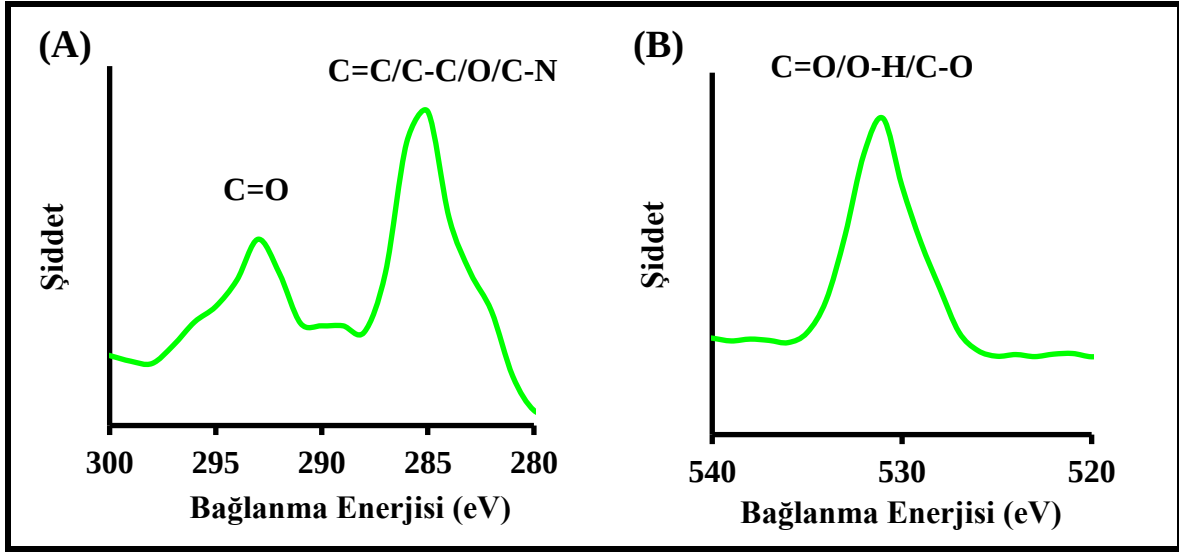
Şekil 19. M-KNN XRD Spektrumu

3.1.3. KNN'lerin XPS Spektrumları

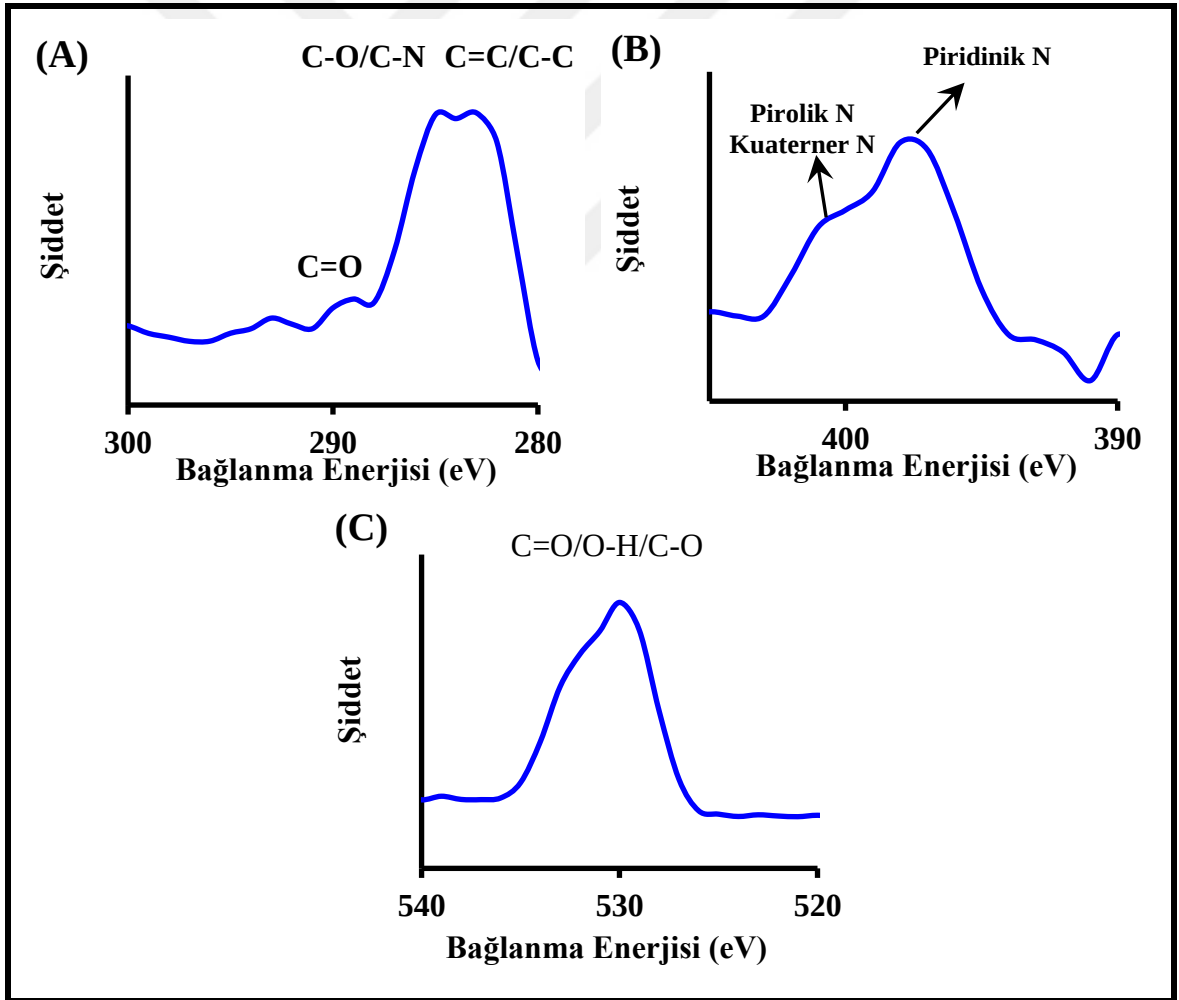
KNN'lerin elementel bileşimi hakkında bilgi almak için XPS spektrumları alındı. Sonuçlar Şekil 20'de verilmiştir.



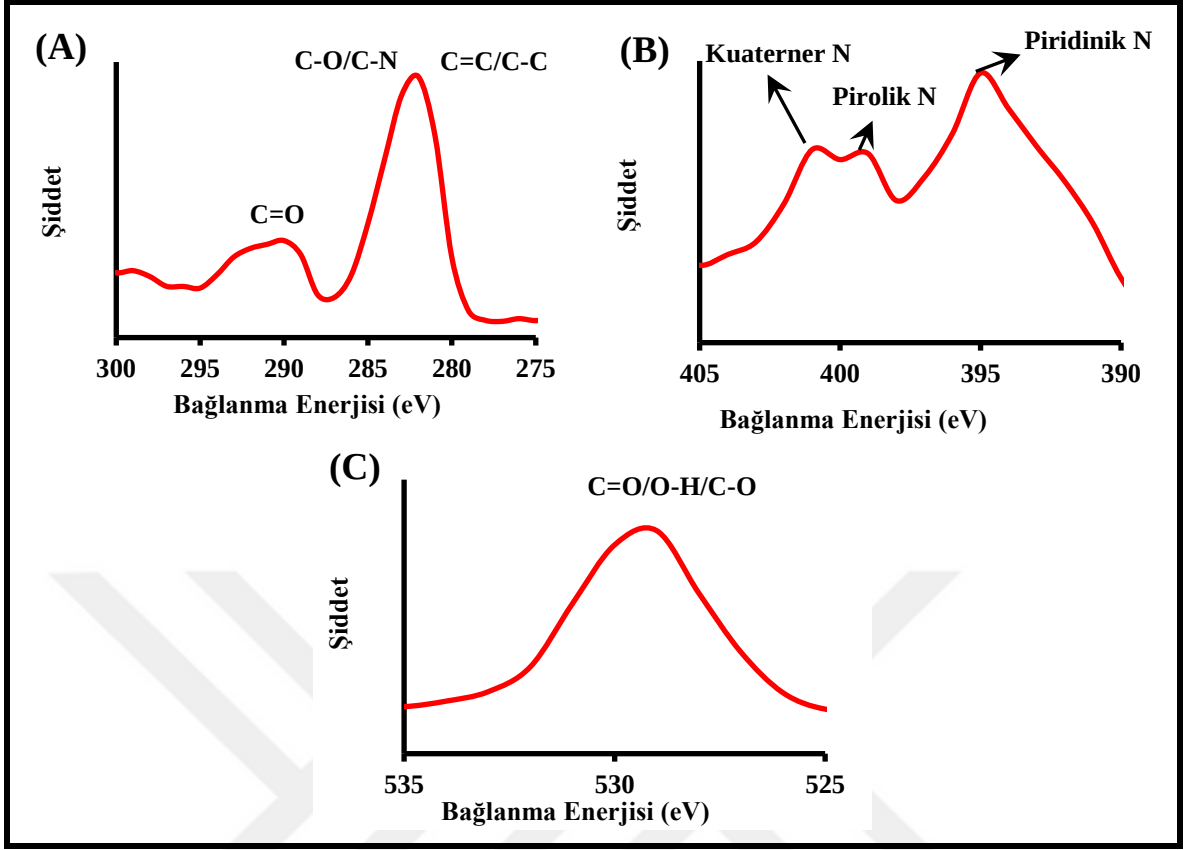
Şekil 20. KNN'lerin tam XPS Spektrumları (A): P-KNN, (B) H-KNN, (C) M-KNN



Şekil 21. P-KNN'lerin XPS spektrumları (A) C1s, (B) O1s



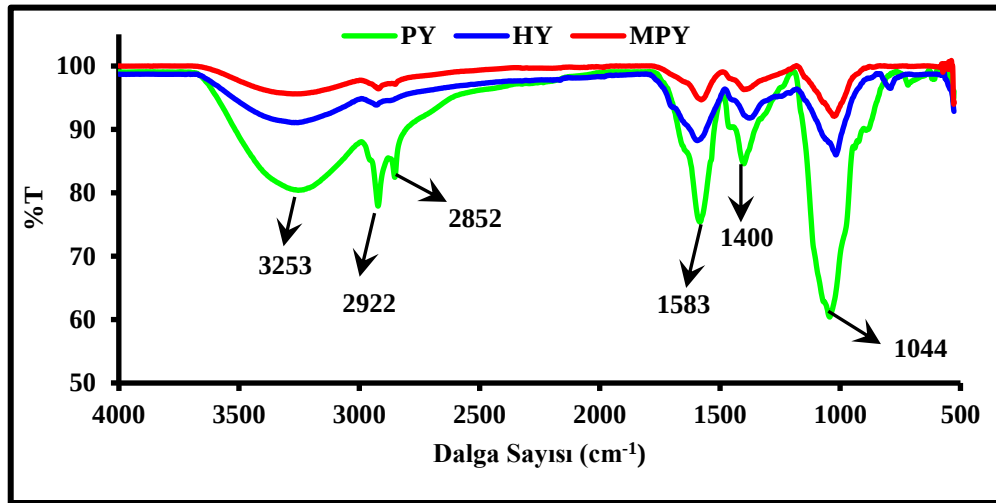
Şekil 22. H-KNN'lerin XPS spektrumları (A) C1s, (B) N1s, (C) O1s



Şekil 23. M-KNN'lerin XPS spektrumları (A) C1s, (B) N1s, (C) O1s

3.1.4. KNN'lerin IR Spektrumları

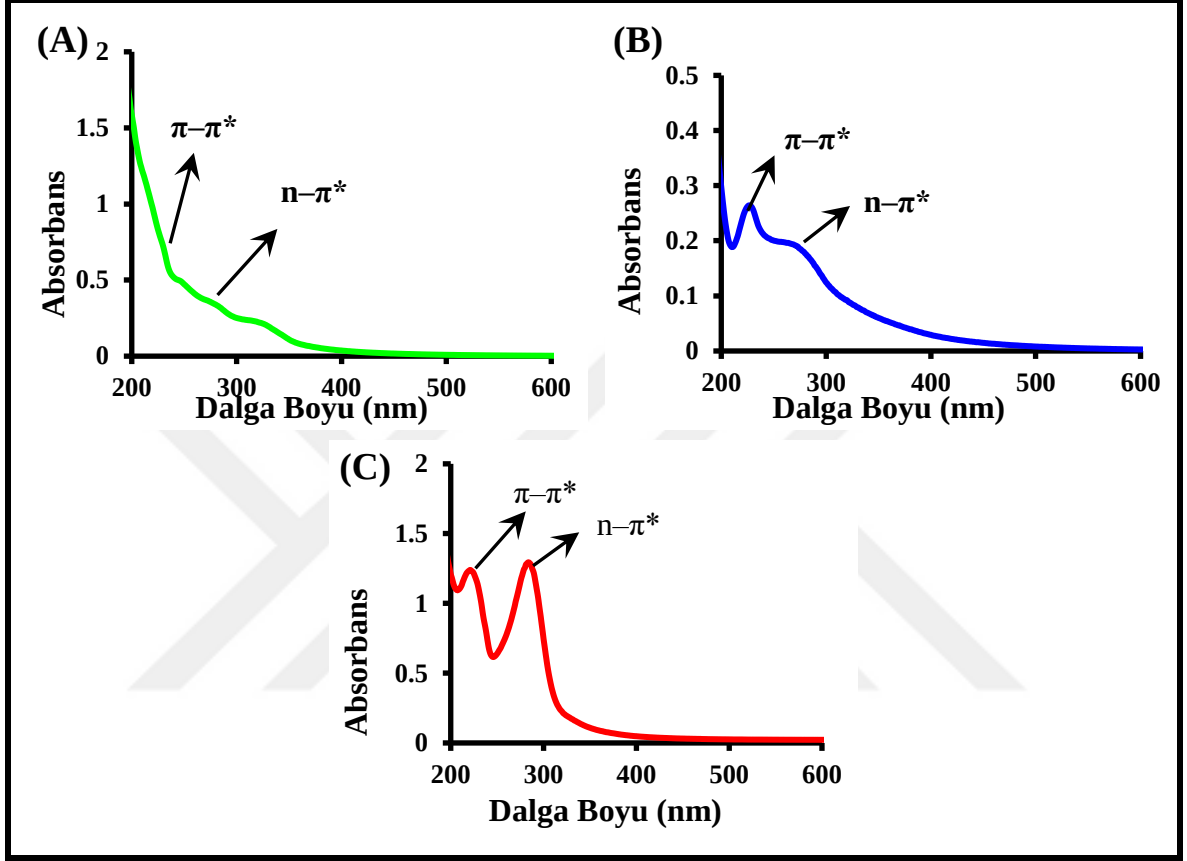
KNN'lerin yapılarındaki kimyasal bağlar hakkında bilgi almak için FTIR spektrumları alındı. Sonuçlar Şekil 24'de verilmiştir.



Şekil 24. KNN'lerin FTIR spektrumları

3.1.5. KNN'lerin UV-Vis Spektrumları

KNN'lerin optik özelliklerinin belirlenmesi için UV-vis absorpsiyon spektrumları alındı. Sonuçlar Şekil 25'te verilmiştir.



Şekil 25. KNN'lerin UV-Vis spektrumları (A) PY, (B) HY, (C) MPY

3.1.6. Parçacık Boyut Dağılımı

KNN'lerin parçacık boyutlarının ölçümü XRD ve Master-Sizer ölçümleri ile yapılmıştır. Bunun için katı hale getirilen KNN'ler kullanılmıştır. P-KNN ve M-KNN'lerin XRD spektrumları uygun keskin pikler içerdiğinden bu KNN'ler için parçacık boyutlarını hesaplamak için Scherrer eşitliği kullanıldı.

H-KNN ve M-KNN'lerin katı faz miktarları Master-Sizer ölçümü için uygun olduğu için bu KNN'lerin sudaki dispers hallerine ait partikül boyutları hesaplandı. İlgili sonuçlar Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilmiştir. Scherrer eşitliği kullanılarak elde edilen değerler Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Suda dispers olan M-KNN'ler için parçacık boyut dağılımı

Kayıt Numarası	Örnek Adı	Dx (10) (μm)	Dx (50) (μm)	Dx (90) (μm)
1	M-KNN	0.587	3.40	62.4
2	M-KNN	0.606	3.62	95.5
3	M-KNN	0.607	3.61	99.7
4	M-KNN	0.600	3.53	85.8
5	M-KNN	0.593	3.51	83.7
Ortalama		0.599	3.54	85.4
1×Std Sapma		0.00826	0.0871	14.5
1× % BSS		1.38	2.46	17

Tablo 2. Suda dispers olan H-KNN'ler için parçacık boyut dağılımı

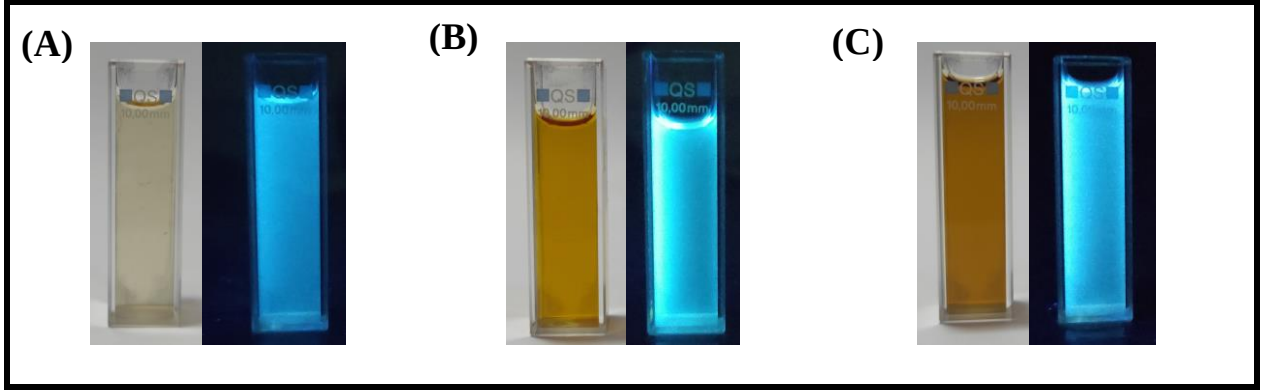
Kayıt Numarası	Örnek Adı	Dx (10) (μm)	Dx (50) (μm)	Dx (90) (μm)
7	H-KNN	33.6	178	514
8	H-KNN	32.3	175	544
9	H-KNN	30.3	168	521
10	H-KNN	29.6	168	534
11	H-KNN	29.1	167	563
Ortalama		31	171	535
1×Std Sapma		1.91	4.96	19.6
1× % BSS		6.17	2.9	3.67

Tablo 3. KNN'lerin XRD verilerine göre hesaplanan kristal büyüklükleri (pik pozisyonu: $2\theta \sim 14^\circ$)

KNN	Kristal büyüklüğü (nm)
P-KNN	81.8
M-KNN	89.5

3.2. KNN Çözeltilerinin Görüntüleri

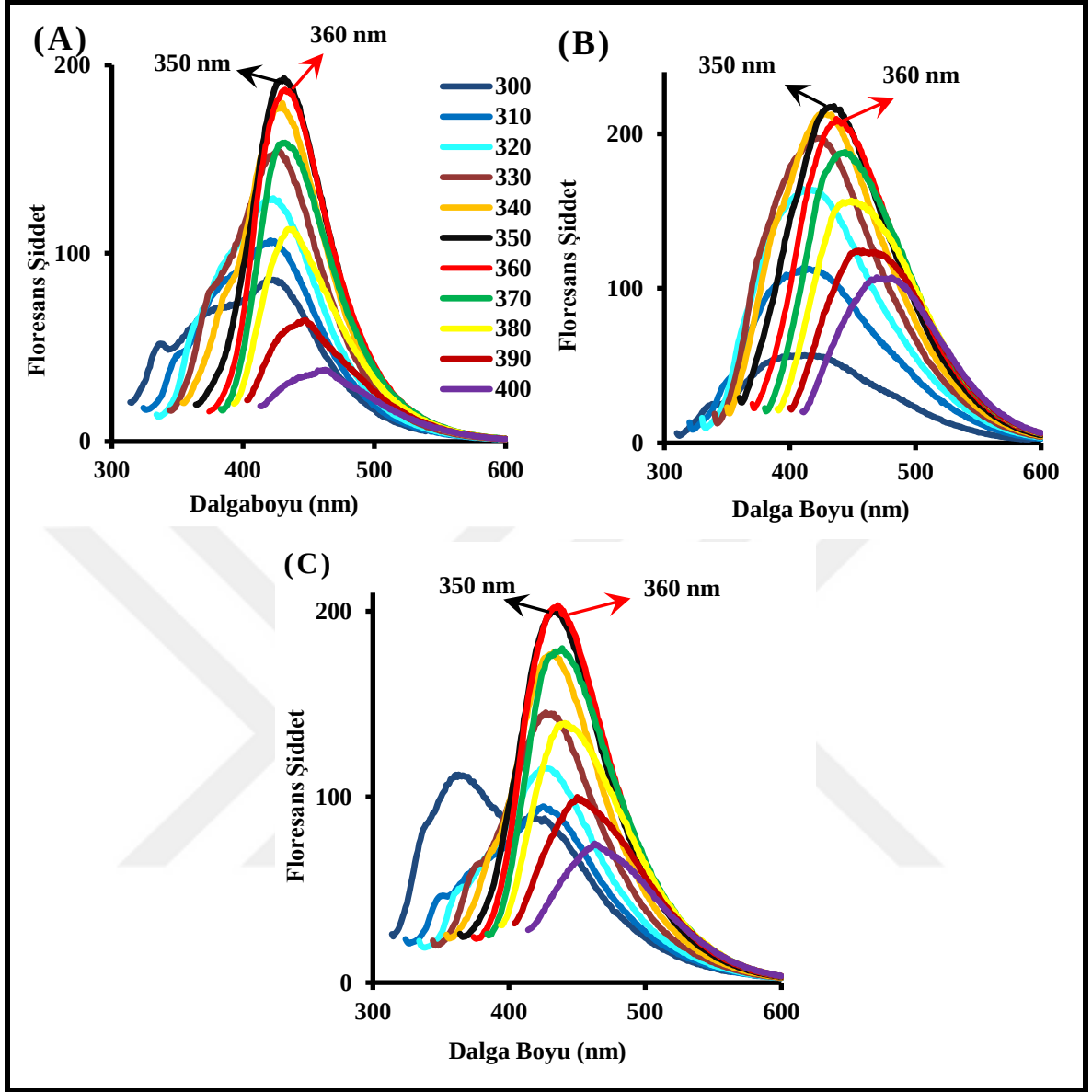
KNN'lerin gün ışığı ve 365 nm'lik UV ışık altındaki görüntüleri Şekil 26'de verilmiştir. Şekil 26A'dan görüldüğü gibi P-KNN çözeltisi gün ışığında çok açık sarı renkli iken H-KNN ve M-KNN çözeltileri giderek daha koyu sarı renkli olarak görülmektedir. 365 nm ile uyarıldıklarında ise her üç KNN çözeltisinin de mavi renkli floresans ışımaya verdikleri görülmektedir. Bununla birlikte HY ve MY ile hazırlanan KNN'lerin yani H-KNN ve M-KNN çözeltilerinin floresans ışımalarının daha şiddetli olduğu yine Şekil 18'den rahatlıkla görülmektedir. Bu sonuçlar hazırlanan KNN'lerin floresans özelliğe sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 26. KNN çözeltilerinin gün ışığında ve UV ışık altındaki görüntüleri (A) P-KNN, (B) H-KNN, (C) M-KNN

3.3. KNN'lerin Çok Renklilik Özellikleri

KNN'lerin çok renklilik özellikleri KNN çözeltilerinin 400 – 300 nm aralığında 10'ar nm aralıklarla uyarılması ile elde edilen emisyon spektrumları incelenerek araştırılmıştır (Şekil 27).



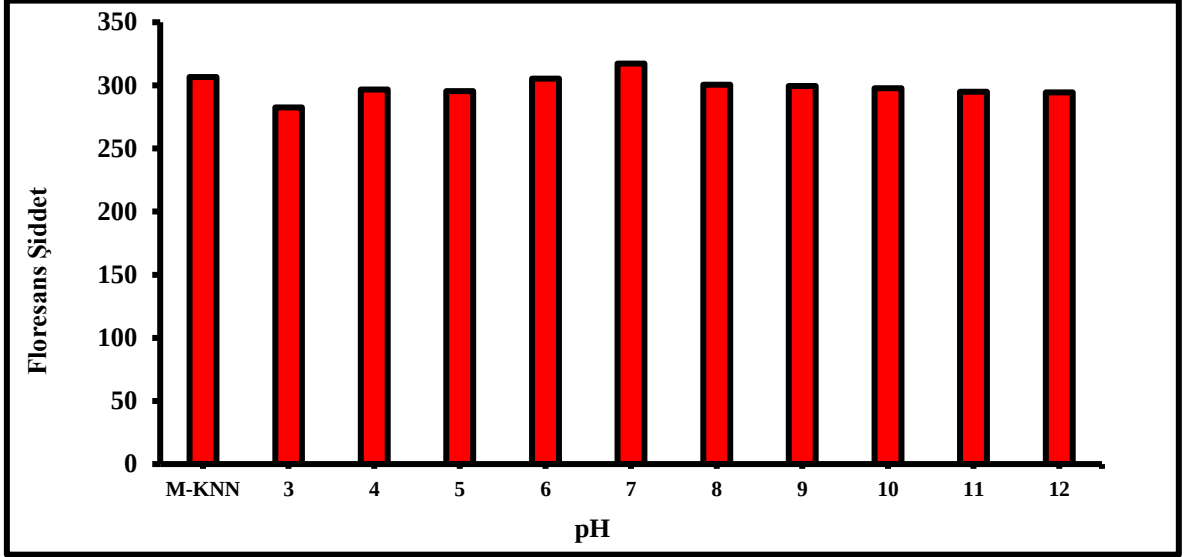
Şekil 27. KNN'lerin farklı uyarıcı dalga boylarındaki emisyon spektrumları (A) P-KNN (B) H-KNN (C) M-KNN

Şekil 27'de P-KNN için maksimum emisyon veren uyarma dalga boyunun 350 nm, H-KNN için için maksimum emisyon veren uyarma dalga boyunun 350 nm ve M-KNN için için maksimum emisyon veren uyarma dalga boyunun 360 nm olduğu görülmektedir.

Emisyon şiddetleri arasındaki farkın az olması, 360 nm uyarma dalga boyunun daha düşük enerjili olması ve 360 nm uyarma dalga boyunda elde edilen emisyon spektrumunun daha kırmızıya kayması sebebiyle ilerleyen aşamalarda tüm KNN'ler için uyarma dalga boyu olarak 360 nm seçilmiştir.

3.4. KNN'lerin Floresans Şiddetine pH'nin Etkisi

M-KNN'lerin floresans şiddetinin pH'ye göre değişimini belirlemek için pH 3 – 12 aralığında hazırlanan KNN çözeltileri 360 nm uyarma dalga boyunda uyarılarak alınan ölçümler aşağıda gösterilmiştir.



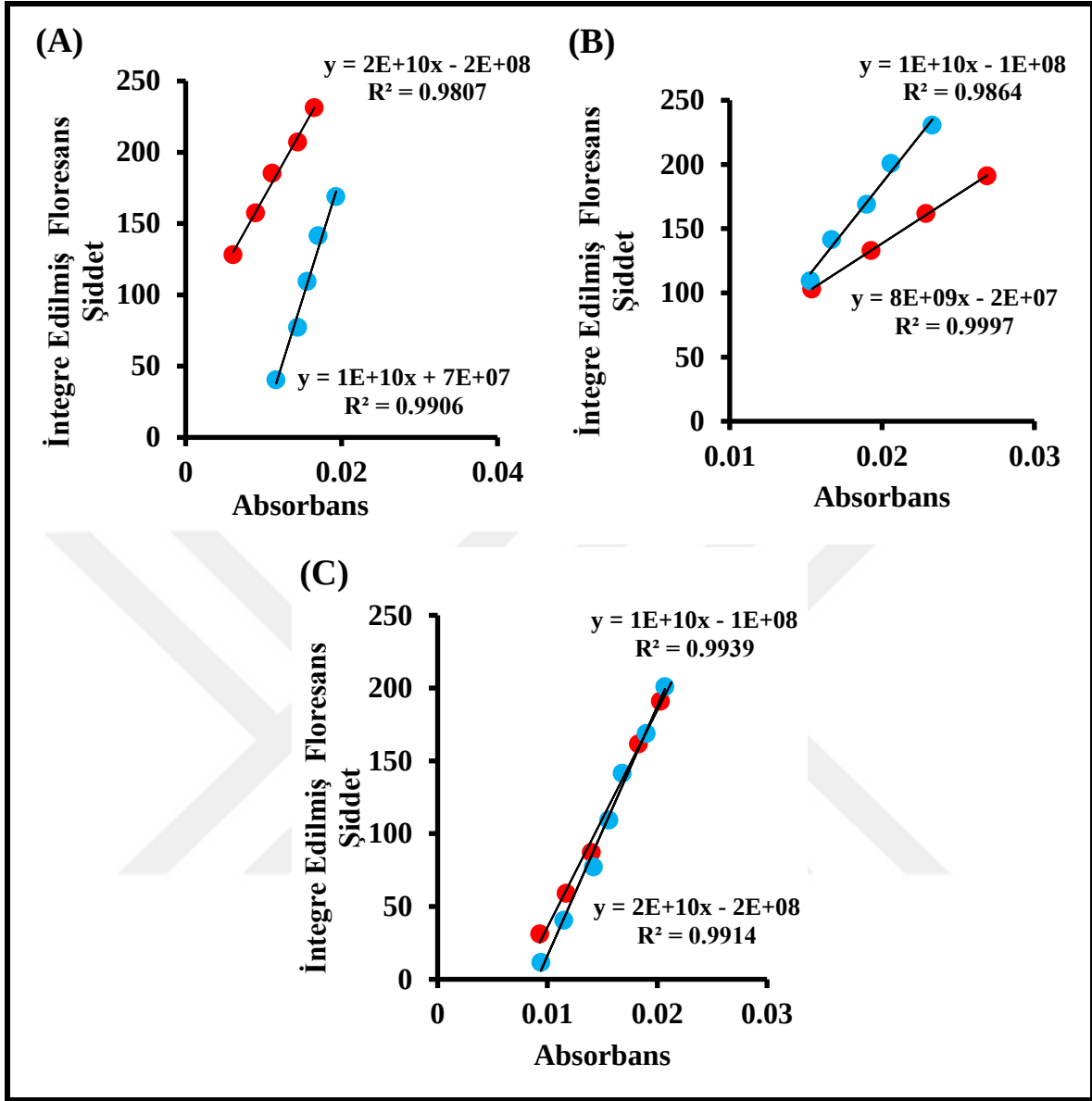
Şekil 28. M-KNN'lerin floresans şiddetinin pH'ye göre değişimi

Yapılan ölçümlerde M-KNN'leri için 435 nm emisyon dalga boyundaki floresans şiddetleri karşılaştırıldığında en yüksek floresans şiddetinin pH 7'de olduğu görülmektedir. Ayrıca M-KNN çözeltisinin pH değeri 7.0 olarak ölçülmüştür. Bu sebeple sonraki çalışmalarda pH ayarlamasına gerek kalmadan direkt M-KNN çözeltisi kullanılmıştır.

3.5. KNN'lerin KV'lerinin Hesaplanması

KNN'lerin KV'nin hesaplanması için kinin sülfatın kullanıldığı standartlaşmış bir yöntem uygulandı (Başoğlu, 2023; Treepet vd., 2022). Ölçümlerde kullanılan grafikler Şekil 20'de verilmiştir.

Hazırlanan KNN'lerin floresans KV'leri ölçülmüştür. Bunun için literatürde bildirilen yöntem kullanılmıştır (Başoğlu, 2023; Treepet vd., 2022). Şekil 29'de KV hesaplaması için KNN'lerin ve KS'nin 360 nm uyarma dalga boyundaki absorpsiyonuna karşılık integre edilmiş floresans şiddetini göstermektedir.



Şekil 29. KNN'lerin KV'leri (A) PY, (B) HY, (C) MPY

KNN'ler için Denklem (6) kullanılarak hesaplanan KV'leri Tablo 4'te gösterilmiştir.

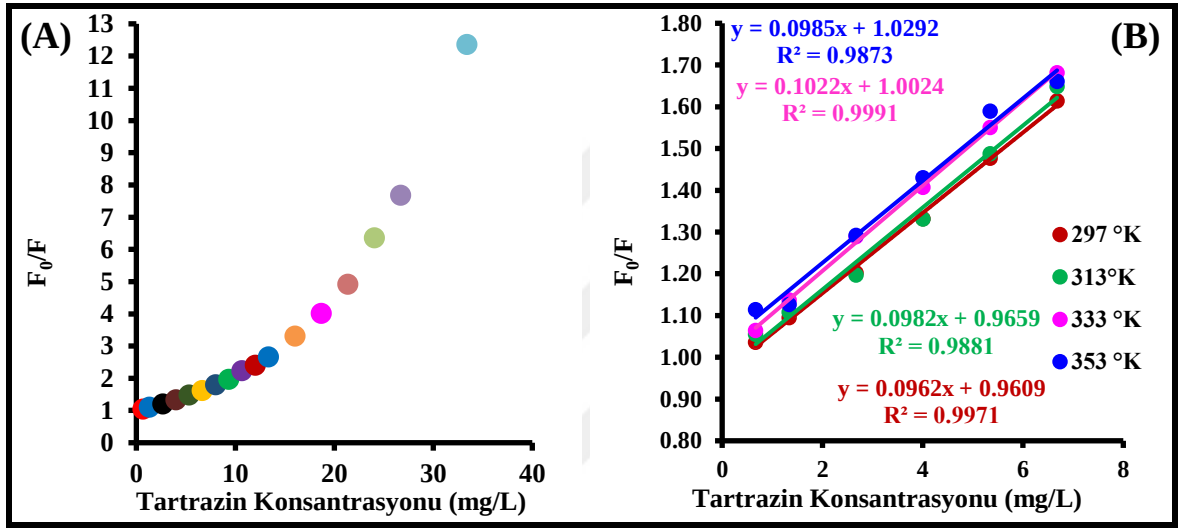
Tablo 4. KNN'lerin KV'leri

KNN	%KV
P-KNN	25.9
H-KNN	18.6
M-KNN	46.6

Elde edilen KV değerleri incelendiğinde en yüksek KV'nin M-KNN ile elde edildiği, en düşük KV'nin H-KNN ile elde edildiği görülmektedir.

3.6. Floresans Sönüm Mekanizması

Tartrazinin KNN'ler ile etkileşiminin floresans mekanizmasını açıklamak için M-KNN ile tartrazinin etkileşimine sıcaklığın etkisi belirlendi. Sonuçlar Şekil 30'da gösterilmiştir.



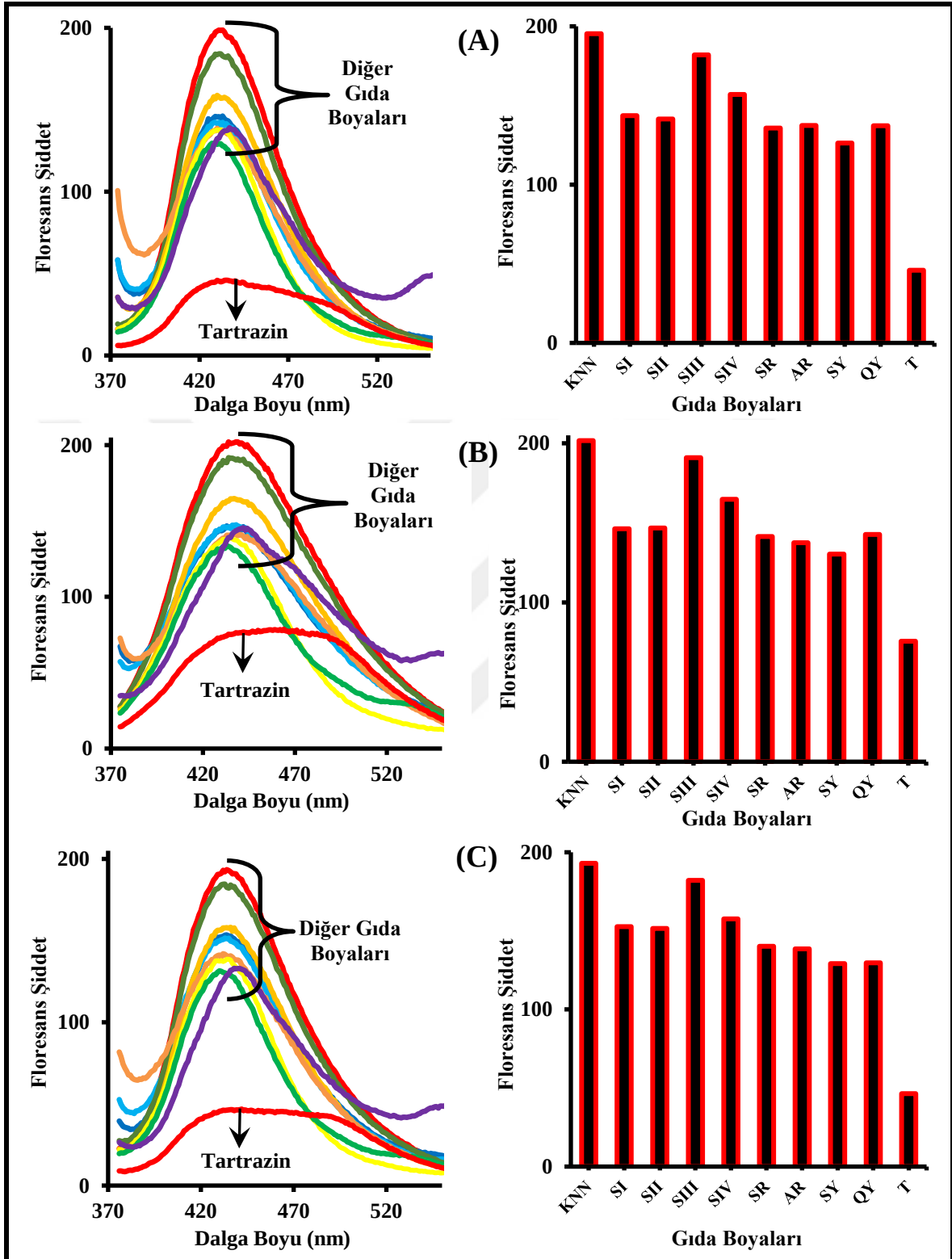
Şekil 30. Stern-Volmer grafiği

3.7. KNN'lerin Floresans Özelliklerine Gıda Boyalarının Etkileri

Gıda boyaları ile KNN'lerin etkileşimleri 360 nm uyarma dalga boyunda incelendi. 9 adet gıda boyası ile KNN'lerin etkileşimi incelendi. Bu boyalar sudan I (SI), sudan II (SII), sudan (III), sudan (VI), sudan kırmızısı (sudan red, SR), alura kırmızısı (allure red, AR), günbatımı sarısı (sunset yellow, SY), quinoline yellow (kinolin sarısı, QY) ve tartrazin (T)'dir.

Şekil 31'da KNN'lerin floresans spektrumuna gıda boyalarının etkisini göstermektedir. Etkileşim sonuçları incelendiğinde P-KNN, H-KNN ve M-KNN ile gıda boyalarından sadece tartrazinin ortak olarak etkileşime girdiği ve kayda değer bir şekilde floresans şiddette azalmaya yol açtığı görülmektedir.

Gıda boyaları ile KNN'lerin etkileşimlere incelendiğinde M-KNN ve P-KNN'nin H-KNN'ye göre daha fazla etkileşime girdiği görülmektedir.

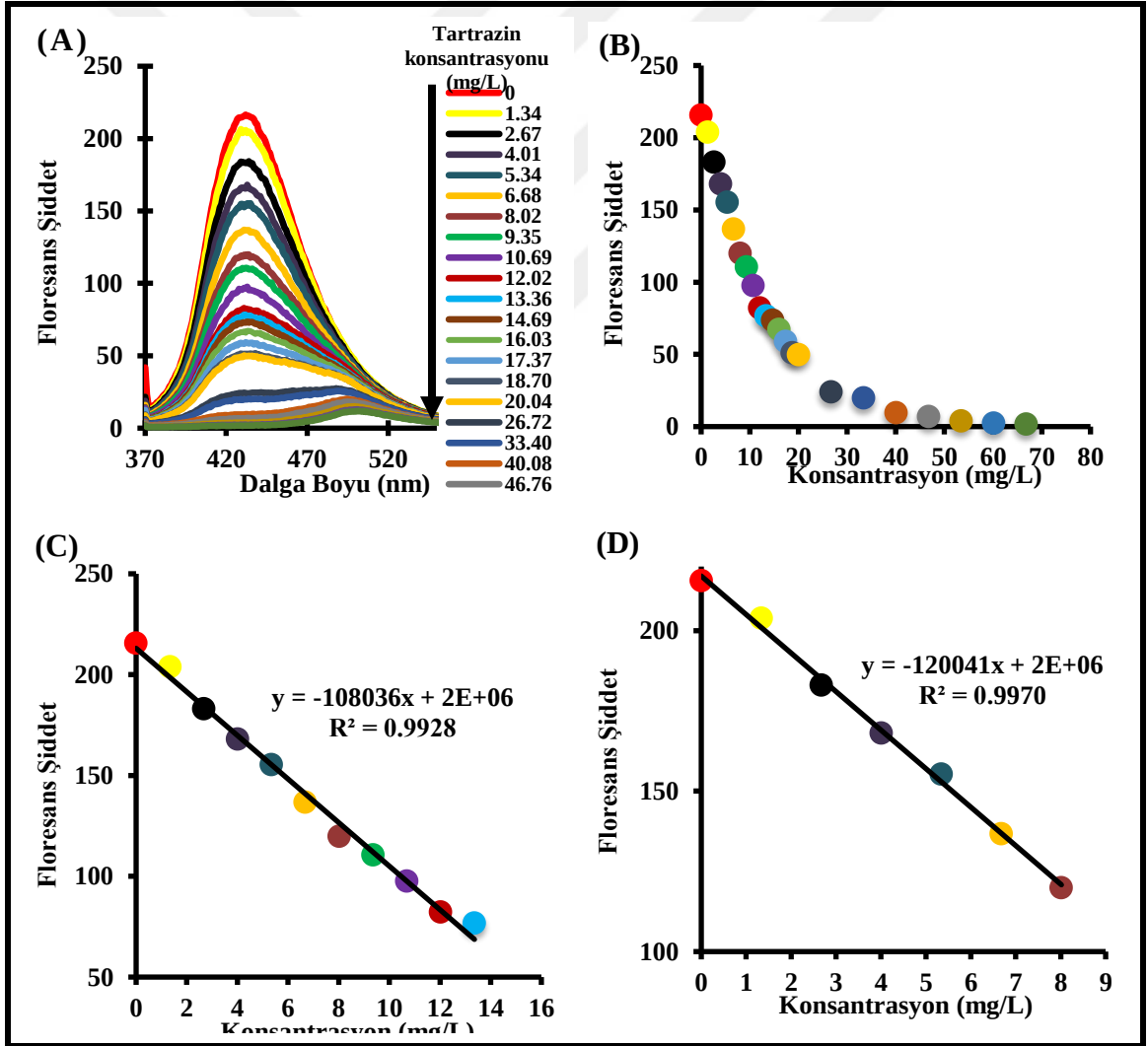


Şekil 31. KNN'lerin floresans spektrumuna gıda boyalarının etkisi (solda) ve belli dalga boyundaki seçiciliği (sağda) (A) (P-KNN, 432 nm), (B) (H-KNN, 437 nm), (C) (M-KNN, 435 nm), λ_{uy} :360 nm

3.8. Spektroflorometrik Titrasyon

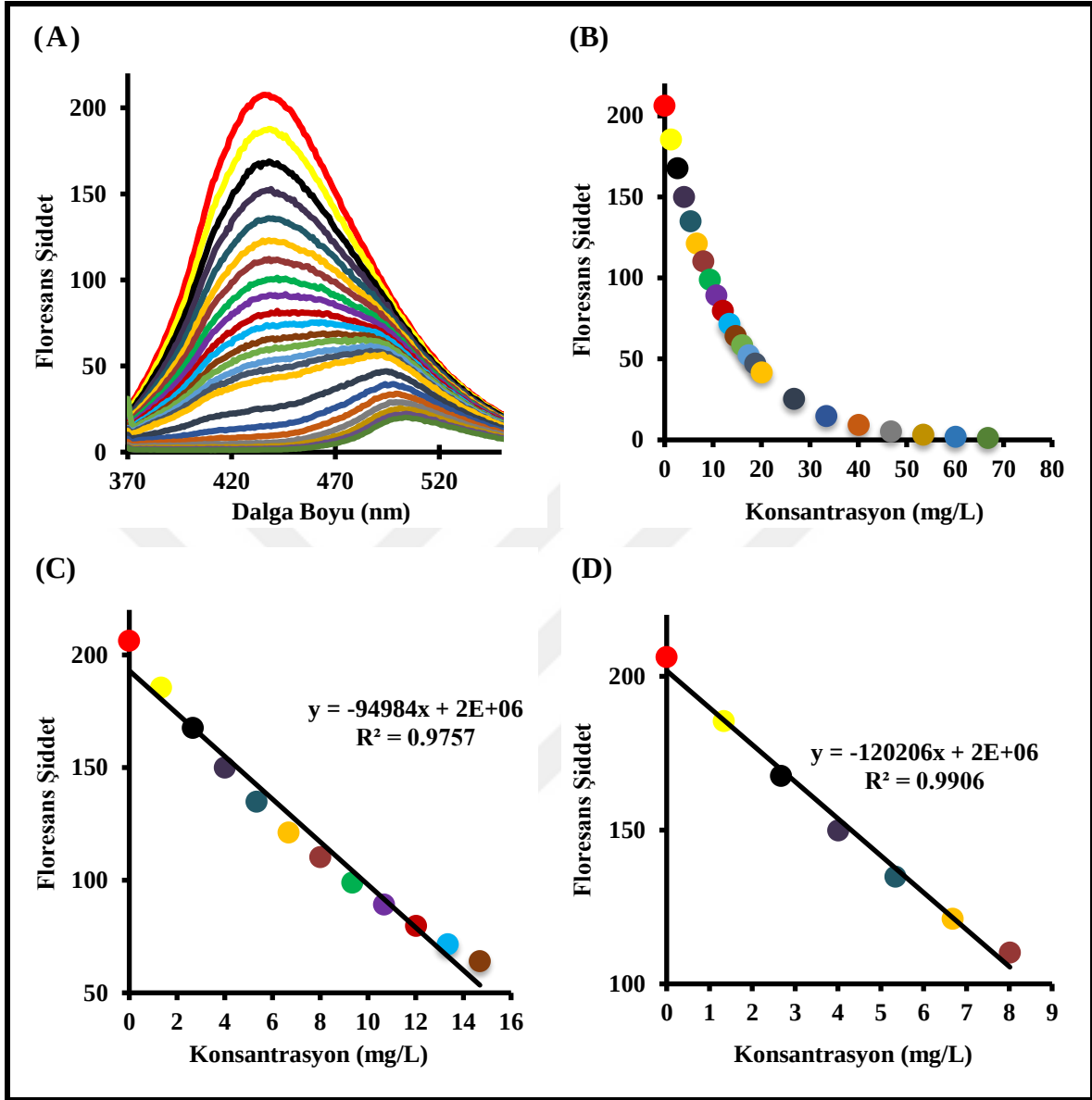
3.8.1. P-KNN ile Tartrazinin Spektroflorometrik Titrasyonu

KNN'lerin tartrazin ile titrasyonunda P-KNN, H-KNN ve M-KNN için 0 ila 66 mg/L aralığında titrasyon gerçekleştirilmiş olup titrasyon grafiği, Lambert – Beer kanunundan sapma, doğrusal aralık grafiği, tayin aralıkları Şekil 32, Şekil 33 ve Şekil 34'te gösterilmiştir. Her üç KNN için benzer şekilde yaklaşık 14 mg/L tartrazin değerinden sonra sapma görülmeye başlanmıştır. Bu noktadan sonra herhangi bir doğrusallık görülmemiştir. 0 – 14 mg/L aralığında doğrusallık olduğu görülmüştür. Tayin aralığı ise 0 – 8 mg/L olarak tespit edilmiştir.



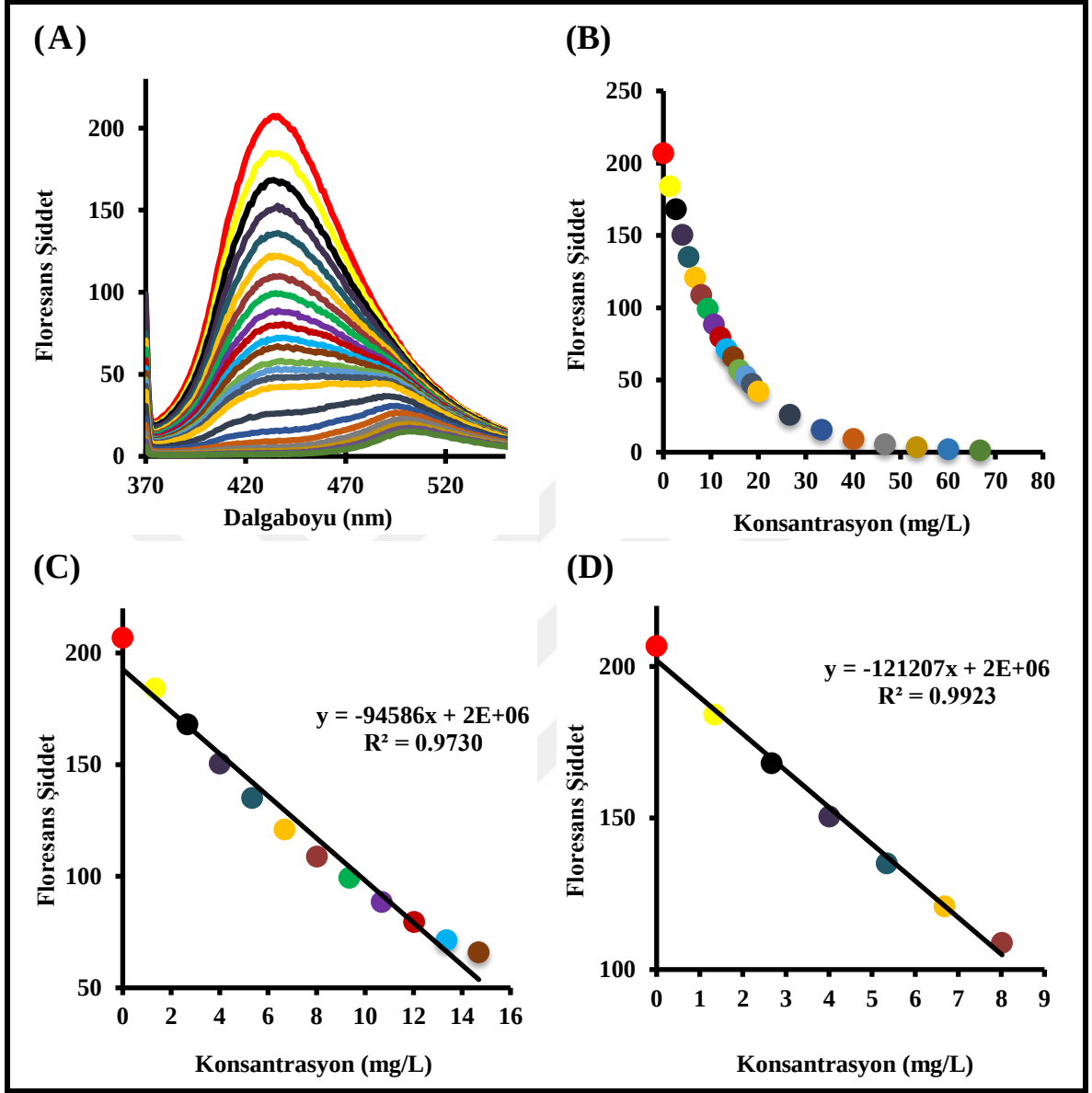
Şekil 32. (A) P-KNN ile tartrazinin spektrofıorometrik titrasyonu, (B) Lambert – Beer kanunundan sapma, (C) doğrusal aralık grafiği, (D) tayin aralığı (0 – 8 mg/L)

3.8.2. H-KNN ile Tartrazinin Spektroflorometrik Titrasyonu



Şekil 33. (A) H-KNN ile tartrazinin spektrofotometrik titrasyonu, (B) Lambert – Beer kanunundan sapma, (C) doğrusal aralık grafiği, (D) tayin aralığı (0 – 8 mg/L)

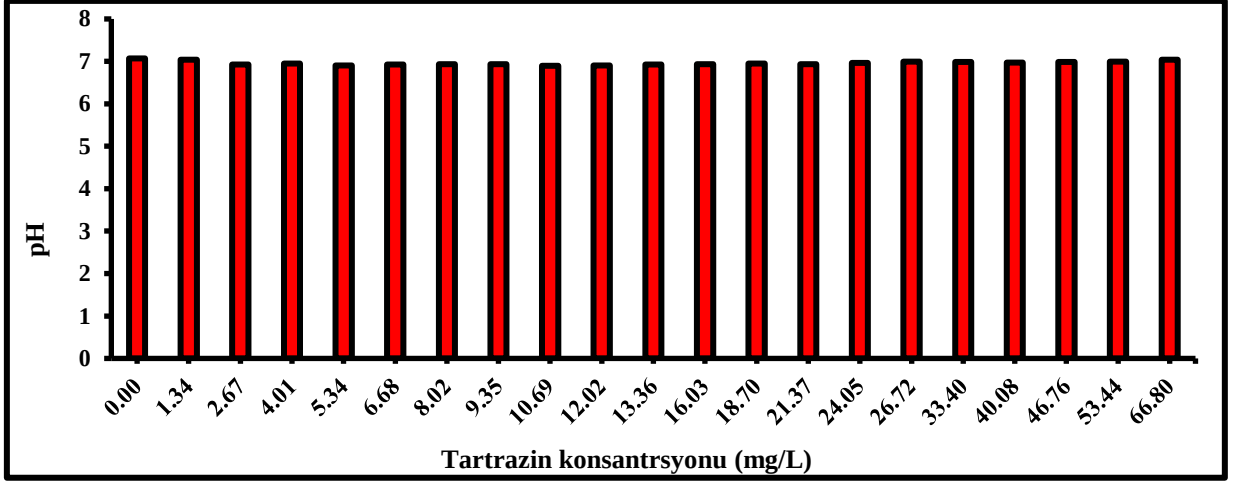
3.8.3. M-KNN ile Tartrazinin Spektroflorometrik Titrasyonu



Şekil 34. (A) M-KNN ile tartrazinin spektrofotometrik titrasyonu, (B) Lambert – Beer kanunundan sapma, (C) doğrusal aralık grafiği, (D) tayin aralığı (0 – 8 mg/L)

3.9. M-KNN ile Tartrazinin Spektrofotometrik Titrasyonuna pH Etkisi

M-KNN ile tartrazinin spektrofotometrik titrasyonunda artan tartrazin konsantrasyonunun pH üzerine olan etkisini araştırmak amacıyla her bir tüp için pH ölçümleri yapıldı.

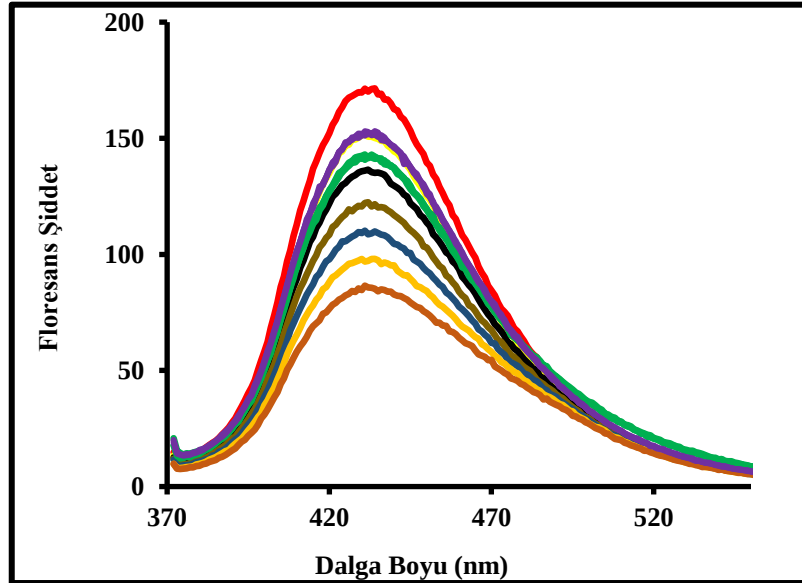


Şekil 35. M-KNN çözeltisi ile tartrazinin spektrofotometrik titrasyonuna pH etkisi

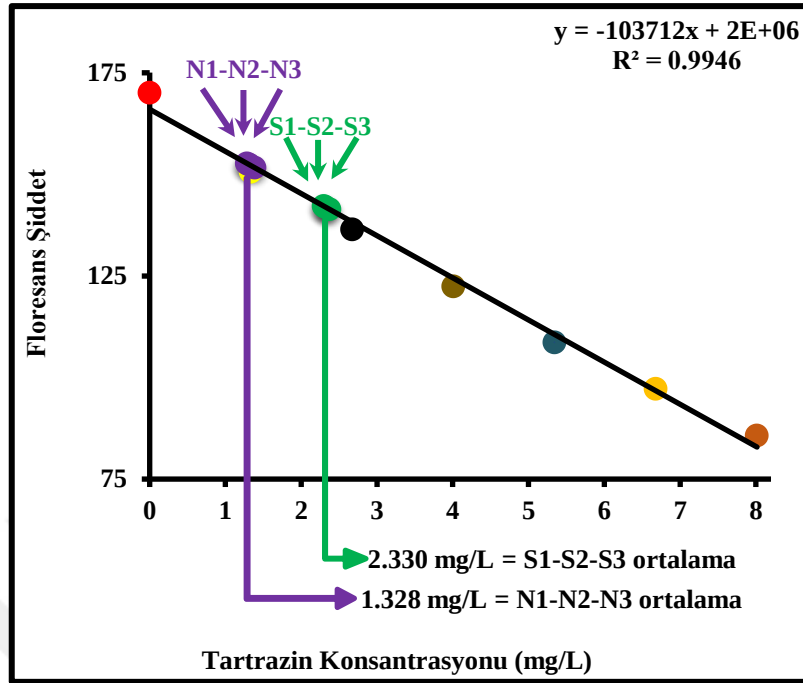
Şekil 35’den görüldüğü gibi artan tartrazin konsantrasyonuna karşılık pH’nin değişmediği görülmüştür.

3.10. Gıda Numunelerinde Tartrazin Tayini

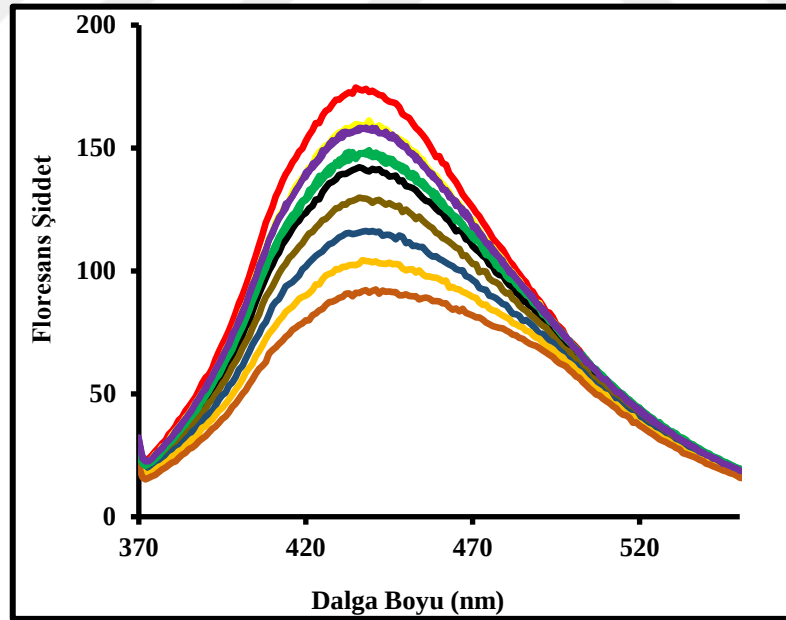
M-KNN, H-KNN ve M-KNN kullanılarak granül toz içecek için tartrazin tayini gerçekleştirildi. Ölçümlerde elde edilen floresans spektrumu ve kalibrasyon grafikleri Şekil 36 – Şekil 41 arasında gösterilmiştir.



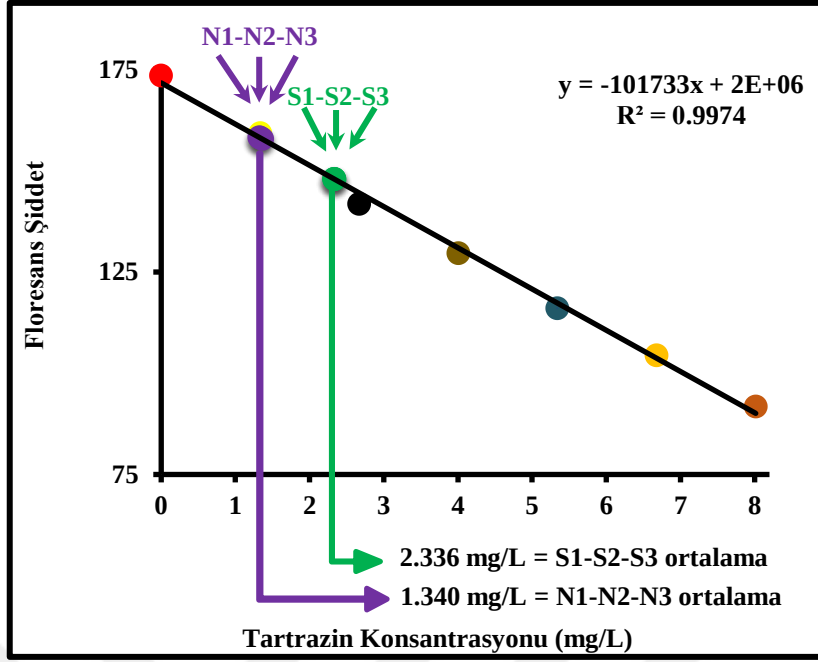
Şekil 36. P-KNN ile granül toz içecek için yapılan tartrazin tayininde kullanılan standart kalibrasyon yöntemine ait floresans spektrumu



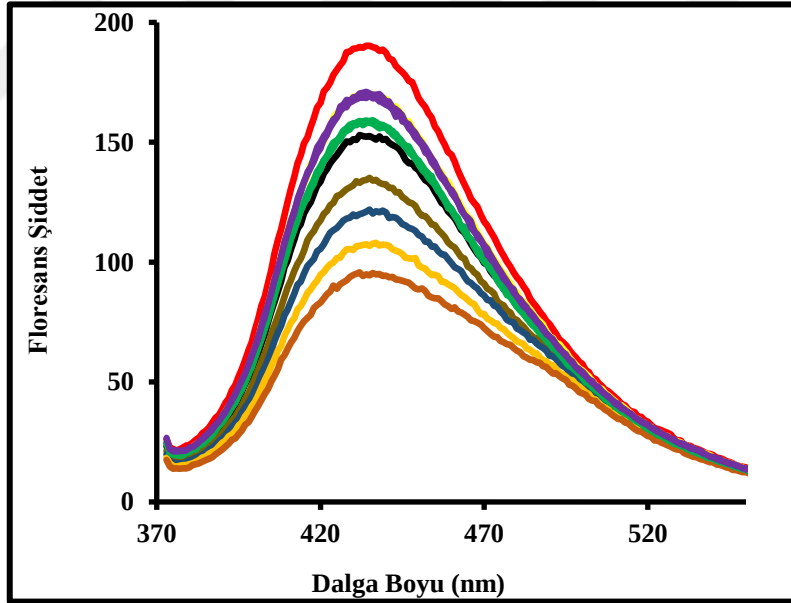
Şekil 37. P-KNN ile granül toz içecek içerisinde tartrazin tayini için kullanılan kalibrasyon grafiği



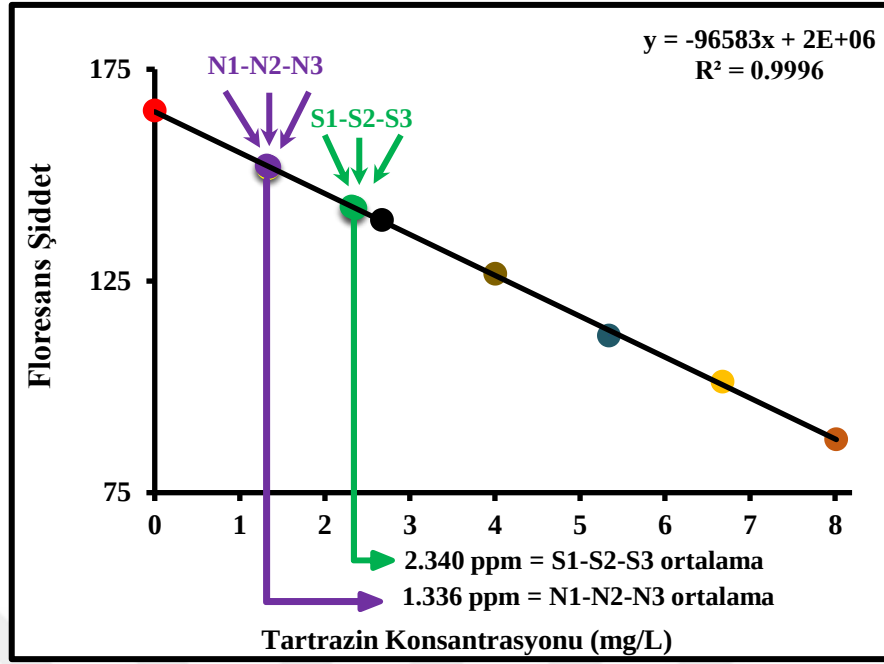
Şekil 38. H-KNN ile granül toz içecek için yapılan tartrazin tayininde kullanılan standart kalibrasyon yöntemine ait floresans spektrumu.



Şekil 39. H-KNN ile granül toz içecek içerisinde tartrazin tayini için kullanılan kalibrasyon grafiği

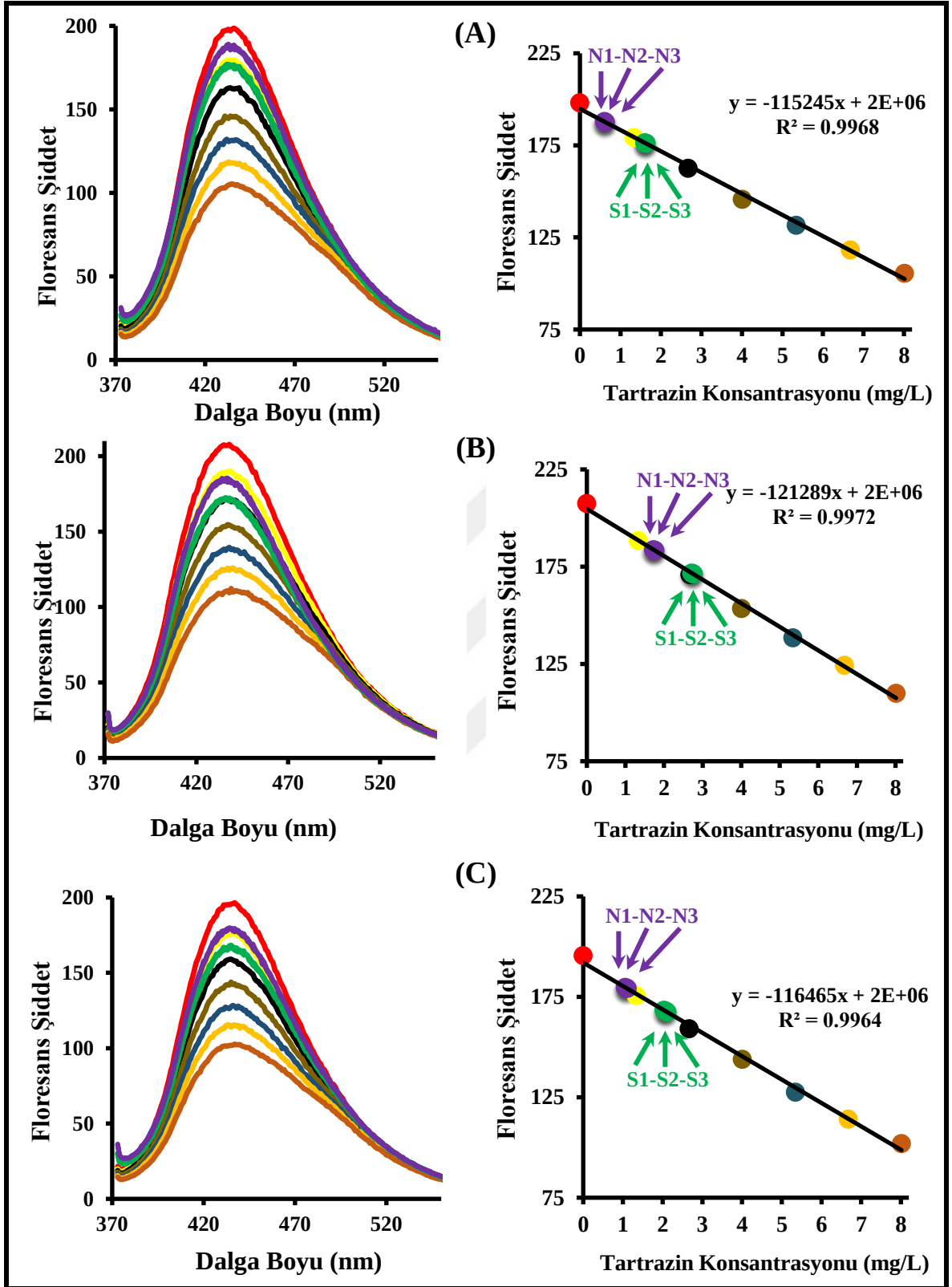


Şekil 40. M-KNN ile granül toz içecek için yapılan tartrazin tayininde kullanılan standart kalibrasyon yöntemine ait floresans spektrumu.



Şekil 41. M-KNN ile granül toz içecek içerisinde tartrazin tayini için kullanılan kalibrasyon grafiği

P-KNN, H-KNN ve M-KNN ile granül toz içekte tartrazin tayini için bulunan sonuçlar analitik yönden benzerlik gösterdiği ve tatmin edici olduğu için bundan sonraki gerçek numunelerdeki tartrazin tayini çalışmalarına daha avantajlı sentez yöntemini içerdiği için M-KNN ile devam edilmiştir.



Şekil 42. M-KNN ile tartrazin tayini için kullanılan standart kalibrasyon yöntemine ait floresans spektrumu (solda), kalibrasyon grafiği (sağda) (A) M-KNN bonbon şeker, (B) M-KNN limonata, (C) M-KNN şeker hamuru

3.11. KNN'lerin Çok Renklilik Özellikleri

KNN'ler genellikle çok renklilik özelliği gösterirler. Yani çoğu KNN'ler, uyarma dalga boyuna göre değişen bir floresans spektrumu verirler (R. Das vd., 2018). Bu çalışmada KNN'lerin çok renklilik özelliklerinin belirlenmesi için hazırlanan KNN çözeltileri 400 – 300 nm aralığında 10'ar nm aralıklarla uyarılarak emisyonları gözlemlendi (Şekil 27). Elde edilen floresans spektrumlarında P-KNN için maksimum emisyon gösterdikleri dalga boyları sırasıyla 350 nm ve 360 nm olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde H-KNN için de aynı dalga boyları saptanmıştır. M-KNN için ise en yüksek emisyonun gözlemlendiği uyarma dalga boyu 360 nm olarak saptanmıştır. P-KNN ve H-KNN için her ne kadar 350 nm en yüksek emisyonun görüldüğü dalga boyu olsa da en yüksek ikinci emisyonun görüldüğü uyarma dalga boyu olan 360 nm ile aralarındaki emisyon şiddeti farkı yaklaşık %3 civarında olduğu tespit edilmiştir. KNN sentez yöntemlerinin sağlıklı karşılaştırması için ortak uyarma dalga boyu olarak 360 nm seçilmiştir. 360 nm uyarma dalga boyu 350 nm uyarma dalga boyuna göre hem daha az enerjilidir hem de maksimum emisyon dalga boyu daha kırmızıya kaymıştır. %3'lük bir emisyon şiddeti değeri farkı için yüksek enerjili dalga boyu yerine daha düşük enerjili dalga boyu uyarma dalga boyu olarak seçilmiştir.

3.12. Tartrazin Tayini

Tartrazin tayini için Bölüm 2.10. Tartrazin Tayini İçin Önerilen Metot başlığında açıklanan yöntem uygulanmıştır.

Öncelikle granül toz içecek için tüm KNN'ler ile tartrazin tayini gerçekleştirilmiştir. Analitik yönden sonuçların benzer olduğu görülmüştür (Tablo 6). Böylelikle literatürde KNN elde etmek için kullanılan yöntemler olan PY (Y. Li vd., 2021; Luo vd., 2024; C. Wang vd., 2022; Y. Zhang vd., 2024) ve HY (Ferjani vd., 2024; Onat vd., 2024; Watcharamongkol vd., 2024) ile tez kapsamında geliştirdiğimiz MPY'nin analitik olarak aynı amaçlı kullanılabileceği, ve bunun bir sonucu olarak uzun zaman alan zahmetli yöntemler olan PY ve HY yerine KNN sentezi için kullanılabileceği ortaya konulmuştur. Granül toz içecek için elde edilen analitik performans verileri aşağıda Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 5. Granül toz içecek için üç farklı KNN sentez yönteminin tartrazin tayini açısından karşılaştırılması

KNN	Gün İçi Tekrarlanabilirlik (n=6)	Günler Arası Tekrarlanabilirlik (n=6)
	Ortalama % Hata	Ortalama % Hata
P-KNN	-0.2	0.3
H-KNN	-1.0	-0.1
M-KNN	-2.9	-1.1

Tablo 6. Granül toz içecek içerisinde tartrazin tayini için önerilen analitik metodun performans verilerinin KNN sentez yöntemleri açısından karşılaştırması

Analitik Performans Verileri	PY	HY	MPY
Uyarma dalga boyu	360	360	360
Emisyon dalga boyu	432	437	435
GS (mg/L)	0.03	0.03	0.02
TS (mg/L)	0.09	0.09	0.06
Doğrusal aralık (mg/L)	0 – 13.4	0 – 13.4	0 – 13.4
Doğrusal aralık korelasyon katsayısı (R^2)	0.9766	0.9855	0.9867
Tayin aralığı (mg/L)	0 – 8.0	0 – 8.0	0 – 8.0
Tayin aralığı korelasyon katsayısı (R^2)	0.9913	0.9970	0.9967
Gün içi kesinlik (% BSS, N=6)	2.08	1.01	2.84
Günler arası kesinlik (% BSS, N=6)	1.38	0.65	2.06
% Geri kazanım	100.1	99.4	98.0

MPY'nin PY ve HY ile benzer sonuçlar verdiği görüldükten sonra diğer gerçek numunelerdeki tartrazin tayini için sentez yöntemi avantajlı olan M-KNN ile çalışmalar devam ettirildi. Gıda numunelerinde tartrazin tayini için önerilen standart kalibrasyon metodunun analitik performansı Tablo 8'da belirtilmiştir.

Tablo 7. MPY yöntemi ile farklı gıda numunelerinde yapılan tartrazin tayini

Gıda Numunesi	Gün İçi Tekrarlanabilirlik (n=6)	Günler Arası Tekrarlanabilirlik (n=6)
	Ortalama % Hata	Ortalama % Hata
Bonbon şeker	0.2	-0.1
Limonata	-0.4	-0.2
Şeker Hamuru	-0.8	0.3

Tablo 8. Bonbon şeker, limonata ve şeker hamuru numuneleri için M-KNN ile tartrazin tayini için önerilen analitik metodun performans verileri

Analitik performans verileri	Bonbon Şeker	Limonata	Şeker Hamuru
Uyarma dalga boyu	360	360	360
Emisyon dalga boyu	435	435	435
GS (mg/L)	0.02	0.02	0.02
TS (mg/L)	0.06	0.06	0.06
Doğrusal aralık (mg/L)	0 – 13.4	0 – 13.4	0 – 13.4
Doğrusal aralık korelasyon katsayısı (R^2)	0.9867	0.9867	0.9867
Tayin aralığı (mg/L)	0 – 8.0	0 – 8.0	0 – 8.0
Tayin aralığı korelasyon katsayısı (R^2)	0.9967	0.9967	0.9967
Gün içi kesinlik (% BSS, N=6)	1.97	1.11	2.43
Günler arası kesinlik (% BSS, N=6)	1.18	0.63	2.31
% Geri kazanım	100.1	99.7	99.7

3.13. Metot Validasyonu

3.13.1. Doğruluk

Metodun doğruluğu tartrazin eklenmiş gıda boyalarının ekleme – geri kazanım analizi çalışmaları ve Trabzon İl Gıda Kontrol Laboratuvarında bilinen standart metotlarla analiz edilen şeker hamuru numunesi ile doğrulanmıştır. Granül toz içecek, bonbon şeker, limonata ve şeker hamuru için yapılan analizler için geri kazanım değerleri Tablo 9’da gösterilmiştir.

Tablo 9. Gıda numunelerindeki geri kazanım değerleri

Numune	KNN	Eklenen Miktar (mg/L)	Bulunan (mg/L)	Geri Kazanım (%)
Granül toz içecek	P-KNN	1.00	0.998	99.80
	H-KNN	1.00	0.990	98.99
	M-KNN	1.00	0.972	97.20
Bonbon şeker	M-KNN	1.00	1.002	100.12
Limonata	M-KNN	1.00	0.996	99.60
Şeker hamuru	M-KNN	1.00	0.998	99.80

Geliştirilen yöntemin doğruluğunu kanıtlamak için Trabzon İl Gıda Kontrol Laboratuvarında HPLC yöntemi kullanılarak NMKL 130 kodlu işletme içi standart metot ile analiz edilen şeker hamuru numunesi için analiz yapıldı. Edilen doğruluk değeri Tablo 10’da gösterilmiştir.

Tablo 10. Şeker hamuru numunesi için elde edilen doğruluk değeri

		Gerçek Değer	Bulunan Değer	% Hata
Şeker hamuru	M-KNN	1.075	1.074	0.1

Mevcut metot uygulanarak elde edilen sonuçlar standart metottan elde edilenler ile karşılaştırıldı. Sonuçlar t- testi ile istatistiksel olarak değerlendirildiğinde %95 güven seviyesinde önerilen metot sonuçları ile akredite laboratuvar sonuçları arasındaki farklılıkların rastgele hatalardan kaynaklandığı görüldü. Böylece önerilen metodun bir sistematik hatasının olmadığı sonucuna varıldı. Sonuçlar Tablo 11’de gösterildi.

Tablo 11. Şeker hamuru numunesi için akredite laboratuardan elde edilen sonuçlarla önerilen metottan elde edilen sonuçların öğrenci t-testi (student’s t-test) ile karşılaştırılması

Numune	s	$\bar{X}_R$	$\bar{X}_{ort}$	$\bar{X}_R - \bar{X}_{ort}$	$t.s / \sqrt{N}$	Karşılaştırma
Şeker Hamuru	0.014	1.075	1.074	0.001	0.025	0.001<0.025

$\bar{X}_R$: Trabzon İl Gıda Kontrol Laboratuvarı analiz sonucu

$\bar{X}_{ort}$: Yapılan analizlerin ortalama değeri

t: 4.30, %95 güven seviyesi

s: standart sapma

N: tekrar sayısı (6)

3.13.2. Kesinlik

Metodun kesinliğini belirlemek için gün içi ve günler arası ölçümler yapılmıştır. Ölçüm sonuçları % bağıl standart sapma (%BSS) olarak gösterilmiştir.

Tablo 12. Tartrazin tayini için önerilen metodun kesinlik parametreleri

KNN	Gıda Numunesi	Gün içi tekrarlanabilirlik (n=6)	Günler arası tekrarlanabilirlik (n=6)
		% Bağıl Standart Sapma	% Bağıl Standart Sapma
P-KNN	Granül toz içecek	2.08	1.38
H-KNN	Granül toz içecek	1.01	0.65
M-KNN	Granül toz içecek	2.84	2.06
M-KNN	Bonbon şeker	1.96	1.17
M-KNN	Limonata	1.11	0.63
M-KNN	Şeker hamuru	2.43	2.31

3.13.3. GS ve TS

Metodun GS'sini ve TS'sini belirleyebilmek için iki seri pipetleme yapıldı. İlk pipetleme, standart kalibrasyon yönteminde kullanılan kalibrasyon grafiğini elde etmek için 0 – 5.13 mg/L içerecek şekilde (0 – 600 µL tartrazin) hazırlandı. İlgili uyarma dalga boyunda (360 nm) uyarılarak emisyonlar ölçüldü. İlgili emisyon dalga boylarındaki (PY için 432 nm, HY için 437 nm, MPY için 435nm) floresans şiddet – konsantrasyon grafiği çizildi. Elde edilen grafiğin eğimi GS ve TS tespitinde kullanılmak üzere kaydedildi.

İkinci pipetleme F_0 değeri için elde edeceğimiz standart sapma değerini bulmak için yapıldı. F_0 değerini elde ettiğimiz KNN çözeltisinden 11 adet hazırlandı (2 mL KNN çözelti + 2 mL saf su).

Bu çözeltilerin Floresans şiddetleri ilgili uyarma dalga boyunda (360 nm) uyarılarak ilgili emisyon dalga boyundaki (PY için 432 nm, HY için 437 nm, MPY için 435 nm) floresans şiddetleri ölçüldü. Ölçülen 11 adet floresans şiddet değerinin standart sapma değeri hesaplandı. Elde edilen standart sapma değerinin 3 katı kalibrasyon grafiğinin eğimine bölünerek GS belirlenmiştir. GS değerlerinin 3 katı ise tespit sınırı olarak belirlenmiştir.

Metodun GS'si ve TS'si Tablo 13'de gösterilmiştir.

Tablo 13. Metodun GS ve TS

KNN	Gıda Numunesi	Tespit Sınırı (mg/L)	TS (mg/L)
P-KNN	Granül toz içecek	0.03	0.09
H-KNN	Granül toz içecek	0.03	0.09
M-KNN	Granül toz içecek	0.02	0.06
M-KNN	Bonbon şeker	0.02	0.06
M-KNN	Limonata	0.02	0.06
M-KNN	Şeker hamuru	0.02	0.06

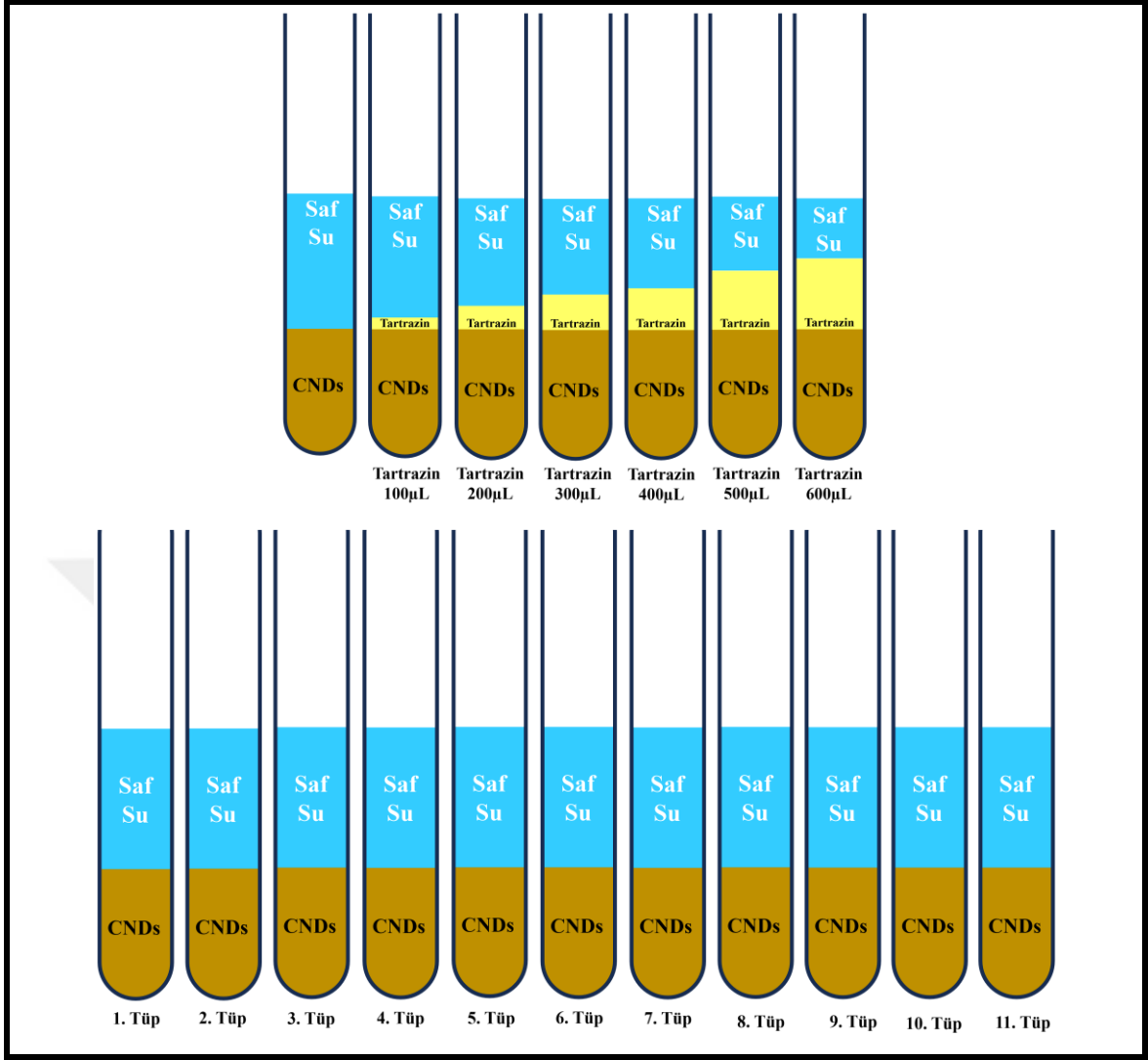
Gerçek gıda numunelerinde tartrazin analizi için standart kalibrasyon grafiği yöntemi uygulanmıştır. Öncelikle MPY'nin diğer yöntemlerin (PY ve HY) yerine kullanılabileceğini kanıtlamak amacı ile aynı gıda numunelerinde (granül toz içecek) tartrazin analizi yapılmıştır. Yapılan gün içi ve günler arası analizlerde ortalama % hata değerleri aşağıda Tablo 14'de gösterilmiştir.

Tablo 14. Granül toz içecek için üç farklı KNN sentez yönteminin tartrazin tayini açısından karşılaştırılması

KNN	Gün içi tekrarlanabilirlik (n=6)	Günler arası tekrarlanabilirlik (n=6)
	Ortalama % hata	Ortalama % hata
P-KNN	-0.2	0.3
H-KNN	-1.0	-0.1
M-KNN	-2.9	-1.1

MPY yöntemi ile sentezlenen KNN'leri kullanarak yapılan tartrazin tayini ile PY ve HY yöntemlerin kullanılması ile elde edilen KNN'lerin tartrazin tayininde benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bu sonuçların elde edilmesinden sonra MPY yöntemi ile sentezlenen KNN'lerin tartrazin tayininde farklı matrisler içeren gıda numunelerinde performansının belirlenebilmesi amacı ile bonbon şeker ve limonata numunelerinde de tartrazin tayini gerçekleştirilmiştir.



Şekil 43. Metodun GS'si ve TS'si için yapılan pipetleme

4. TARTIŞMA

4.1. KNN'lerin Sentezi

Son yıllarda, fullerenler, karbon nanotüpler, grafen, grafen türevleri ve karbon bazlı kuantum noktaları gibi karbon bazlı nanomalzemeler, kendilerine has yapısal boyutları ve gelişmiş fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle çeşitli bilim dallarında geniş ilgi görmüştür. Karbon nano tüpler, fullerenler ve grafen gibi nanomalzemelerin suda çözünürlüğünün zayıf olduğu ve görünür bölgede zayıf floresans özellik gösterdiği araştırmacılar tarafından görülmüştür. Bu gibi olumsuz özellikleri yüzünden sınırlı bir uygulama alanına sahiptirler. Yarı iletken kuantum noktalar gibi karbon olmayan nanomalzemeler yüksek floresan özellikleriyle bilinmektedir, ancak yapılarındaki ağır metaller sebebiyle toksik özellik gösterirler. Bu yüzden biyo-görüntüleme, biyosensörler ve ilaç dağıtımı gibi biyolojik uygulamalar için uygun değildir (P. Kumar vd., 2022).

KNN metaller, boyalar, böcek ilaçları, antibiyotikler ve diğer kimyasallar gibi farklı kirleticilerin ucuz, basit ve sürekli olarak izlenebilmesi ve tespit edilebilmesi için gereken ihtiyacı karşılayabilmektedir. KNN sentezi için doğada kendiliğinden var olan ve kolaylıkla bulunabilen karbon kaynaklarının kullanımıyla, yeşil kimya anlayışı kapsamında bilim insanları yeni özgün nanopartikül sentezleme konusunda arayış içine girmiştir (Hebbar vd., 2023). Yeşil KNN sentez yöntemleri, sentezin yeşil öncü maddeleri kullanılarak ucuz veya geri dönüştürülmüş malzemeler kullanılırken, kimyasal sentez metotları, toksik kimyasal reaktifler veya organik çözücüler başlangıç maddeleri olarak kullanır (Omar vd., 2022). Bu sebeplerle KNN'lerin biyolojik atık gibi yeşil ve düşük maliyetli öncüller kullanılarak sentezlenmesi ekonomi ve çevre açısından önemlidir (Ozyurt vd., 2023).

Karbon kuantum noktaları veya karbon nano dotlar olarak da bilinen floresan KNN , yüksek fotostabiliteleri, suda çözünürlükleri, ayarlanabilir floresan ve optik özellikleri, düşük toksisiteleri, iyi biyouyumlulukları ve çevre dostu olmaları nedeniyle son yıllarda büyük ilgi görmektedir (Omar vd., 2022). Çalışma grubumuz son zamanlarda bu avantajlı özelliklerine dayanarak analitik amaçlı kullanmak üzere floresans özelliklere sahip KNN'lerin sentezlerini gerçekleştirmektedir (Başoğlu, 2023; Başoğlu vd., 2020; Gümrükçüoğlu vd., 2020; Özbek vd., 2023; Ramoğlu vd., 2021). Gümrükçüoğlu ve diğerleri

(2020) solvothermal metoda göre üre ve trietilen glikol başlangıç maddelerini kullanarak mikrodalga fırın içerisinde 700 W güç uygulayarak 10 dakika boyunca muamele sonucunda azot dope KNN sentezi gerçekleştirmişlerdir. Başoğlu ve diğerleri (2020) toz haline getirilmiş kavrulmuş leblebilerin ultrasonik banyoda hazırlanmış sulu çözeltisini MDY kullanarak KNN'lere dönüştürmüştür. Ramoğlu ve diğerleri (2021) asit ve trietilen glikol karışımını 700 W güçte 10 dakika mikrodalga fırında muamele ederek azot dope KNN sentezi gerçekleştirmiştir. Özbek ve diğerleri (2023) atık muşmula çekirdeğini piroliz fırınında 300 °C'de 2 saat bekleterek KNN elde etmişlerdir. Başoğlu (Başoğlu, 2023) *Robinia hispida* L. yapraklarını teflon kaplı otoklav içerisinde 180 °C'de 2 saat bekleterek KNN elde etmiştir. Yapılan bu çalışmaların çoğunda atık doğal ürünler karbon kaynağı olarak kullanılmıştır.

Mevcut tez çalışmasında KNN sentezi için yine atık bir doğal ürün kullanılarak yani toksik etkileri olabilecek herhangi bir kimyasal kullanmadan, daha az enerji ile, herhangi bir ön işleme gerek duymayan MPY yöntemi geliştirilmiştir. Mevcut KNN sentez yöntemlerine göre daha ekonomik ve daha çevreci olan bu yeni yöntem ile elde edilen KNN'lerin analitik amaçla kullanımı araştırılmıştır. Bu tez çalışmasının amaçlarından birisi analitik amaçla kullanılacak olan KNN'lerin sentez yöntemlerinin karşılaştırılmasıdır. Bu amaçla literatürde bilinen iki KNN sentez yöntemi ile geliştirdiğimiz MPY ile elde edilen KNN'lerin hem floresans özellikleri hem de analitik reaktif olarak kullanılabilirliği incelenmiştir.

Çalışmada KNN elde etmek için karbon kaynağı olarak at kestanesi (*Aesculus hippocastanum*) ağaçlarının aynı isimle adlandırılan meyveleri kullanılmıştır.

At kestanesinin Anadolu ortamına adaptasyonu, onu yeşil alanlarda sık kullanılan bir tür haline getirmiştir. Aslen Balkan Yarımadası'na özgü olan at kestanesi, uzun zamandır tüm Anadolu'da en popüler peyzaj bitkilerinden biri olmuştur (Mert Kuşçu vd., 2022). Tez kapsamında KNN sentezi için kullanılan at kestanesi meyveleri, Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü içinden toplanmıştır. Literatürde at kestanesi ağacı ile yapılan çeşitli alanlarda çalışmalar mevcuttur (Bielanski & Piotrowski, 1999; Chandler, 2012; Dudek-Makuch & Studzińska-Sroka, 2015; Ezberci & Ünal, 2018; Kapusta vd., 2007; Karatoprak, 2018; Matsuda vd., 1997; Mojžišová vd., 2013; Murathan & Koçyiğit, 2013; Suter vd., 2006; Wilkinson & Brown, 1999). At kestaneleri farklı alanlarda çalışılmış olmasına rağmen son zamanlarda nanoteknolojinin gelişimine bağlı olarak gelişen KNN eldesinde karbon kaynağı olarak kullanılmamıştır.

Mevcut çalışmada at kestaneleri kullanılarak KNN sentezi için yeni alternatif aşağıdan-yukarı sentez yöntemlerinin geliştirilmesinin yanında elde edilen KNN'lerin floresans özelliklerinden faydalanarak toksik etkileri olan azo gıda boyası tartrazininin spektrofotometrik tayininde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Daha çevre dostu karbon kaynakları kullanarak yüksek kararlılıkta ve floresans özelliklere sahip KNN'lerin sentezi, nanokimya alanında halen önemini koruyan bir konudur. Karbon kaynağı olarak yeşil öncüllerden elde edilen karbon noktaları yeşil KNN'leri olarak adlandırılır. Doğal olarak bulunan ya da doğal ürün veya süreçlerin türevleri olan maddelere yeşil öncüller denir. Yeşil KNN'ler son zamanlarda büyük ilgi görmektedir. Yenilenebilir biyokütle, özellikle de atık biyokütle, büyük ölçekli KNN sentezi için iyi bir seçenek olmuştur (Bressi vd., 2023; Mathew & Mathew, 2023).

Literatürdeki PY ile sentezlenen KNN'lerin sentez şartları incelendiğinde 200 °C ile 1000 °C arasındaki yüksek sıcaklıklarda 25 dakika ile 8 saat aralığında olduğu görülmektedir (Jing vd., 2023). KNN'lerin sentezi için sıkça kullanılan PY için genellikle 200'den 450 °C'ye kadar yüksek sıcaklık gerekmektedir (Khairul Anuar vd., 2021). Bu yüksek sıcaklıklar için yüksek maliyetli mufla fırınına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla Cheng ve diğerleri (2017) ceviz kabuklarını 1000 °C'de 25 dakika bekleterek KNN sentezlemişlerdir. Tang ve diğerleri (X. Tang vd., 2022) üzüm kabuklarını üre ile birlikte 200 °C'de 8 saat bekleterek KNN elde etmişlerdir. Praneerad ve diğerleri (2019) durian kabuklarını 0.5 M nitrik asitte çözdükten sonra 250 °C'de 5 saat bekleterek KNN elde etmişlerdir. KNN sentezi için Lee (2019) tübüler fırın kullanmıştır. Başlangıç karbon kaynağı olarak polipirrol nano partikülleri kullanılan bu çalışmada polipirrol nanopartikülleri 900 °C'de 3 saat kadar bekletilmiştir (Lee, 2019). Gynostemma bitkisinin karbon kaynağı olarak kullanıldığı başka bir çalışmada kurutulan Gynostemma bitkisi öğütülerek toz haline getirilmiş ve piroliz fırınında 400 °C'de 4 saat bekletilerek KNN elde edilmiştir (Wei vd., 2019). Karbon kaynağı olarak liçi çekirdeği (M. Xue vd., 2015), kitosan (X. Liu vd., 2016), acı elma kabuğu (Aggarwal vd., 2020), yün (L. Shi vd., 2016), şarap palmyesi olarak bilinen *Borassus flabellifer* çiçekleri (Murugan & Sundramoorthy, 2018) ve mor telgraf çiçeğinin (Zhai vd., 2018) kullanıldığı çalışmalarda KNN sentezi için 300 °C ve 2 saat bekletilmeye ihtiyaç duyulmuştur. (W. Li, Yue, vd., 2013) PY yönteminin kullanıldığı bu yüksek sıcaklık fırınlarında gerçekleştirilen KNN sentezi çalışmalarında ya çok yüksek sıcaklıklar ya da uzun reaksiyon sürelerine ihtiyaç olduğu görülmektedir. Mevcut çalışmada ise bu

dezavantajların giderileceği yüksek sıcaklık fırınında PY yöntemi ile gerçekleştirilecek KNN sentezlerinin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.

Zhai ve diğerleri (2018) mor telgraf çiçeğinden mufla fırınında 200 °C, 250 °C, 300 °C, 350 °C sıcaklıklarda piroliz ile elde ettikleri KNN'lerden en yüksek floresans emisyonunun 300 °C'de elde edildiğini bildirmişlerdir. Kavitha ve Kumar (2018) hurma yapraklarını 300 °C'de piroliz ile KNN elde etmişlerdir. Shi ve diğerleri (2016) mufla fırınında 300 °C de yün kullanarak KNN elde etmişlerdir. Piroliz sıcaklığının 300 °C'ye çıkartılması numunenin koyulaşmasına ve piroliz sırasında CO₂'nin çıkmasıyla birlikte oluşan KNN'lerin boyutlarının küçülmesine katkıda bulunduğu bildirilmiştir. Piroliz sıcaklığının daha yüksek sıcaklıklara (örneğin, 400 C'ye) çıkarılmasının kümelenmeye ve bunun sonucunda da birkaç yüz nanometreye ulaşan tekdüze olmayan parçacıkların ortaya çıktığını ve oluşan bu KNN'lerin ışık yayabilseler de yayılan ışının yoğunluğunun düşük olduğu bildirilmiştir (L. Xiao & Sun, 2018).

Tez kapsamında geliştirdiğimiz metot olan MPY ile KNN sentezi için literatürde önerilen PY için gerekli sıcaklık ve zaman değerleri karşılaştırıldığında tez kapsamında geliştirdiğimiz yöntemin çok avantajlı olduğu görülmektedir.

HY, KNN'leri sentezlemek için yüksek sıcaklık ve basınç gerektiren literatürdeki diğer bir aşağıdan-yukarıya yöntemdir. (Jing vd., 2023). Yüksek sıcaklık ve basınç ve uzun zaman gerektirmesi bu metodun dezavantajlarıdır. Ayrıca yüksek basınç için her ne kadar düşük maliyetli bir teflon kaplı otoklava ihtiyaç duysa da yüksek sıcaklıklara çıkabilmek için yüksek maliyetli fırınlara gereksinim vardır.

Literatürde HY ve solvotermal yöntem için 70 °C ila 220 °C sıcaklık aralığında 1 saat ila 72 saat aralığında değişen reaksiyon zamanları bildirilmiştir (Chu vd., 2019; Fu vd., 2024; Hebbar vd., 2023; Jing vd., 2023; H. Liu vd., 2024). Li ve diğerleri (2013) koza ipeğini teflon kaplı otoklavda 200 °C'da 72 saat bekleterek KNN elde etmişlerdir. Zhang ve diğerleri (2015) yumurta beyazını teflon kaplı otoklava koyarak 220 °C'de 48 saat bekleterek KNN elde etmişlerdir. Kwak ve diğerleri (2019) sitrik asit ve dietilendiamini teflon kaplı otoklavda 70 °C'de 48 saat bekleterek polimer yapılı KNN sentezlemişlerdir. Das ve diğerleri (2019) armut suyunu 180 °C'de 36 saat bekleterek KNN elde etmişlerdir. Guo ve diğerleri (Guo vd., 2020) glisin ve 2,4-diflorobenzoilasetonitril kimyasal maddelerini 220 °C'de 24 saat bekleterek KNN sentezi gerçekleştirmişlerdir. Xie ve diğerleri (2021) kurutulmuş ıspanak ekstraktlarını 180 °C'de 24 saat bekleterek KNN elde etmişlerdir. Zhu ve diğerleri (2021) o-aminobenzen-sülfonik asit ile muamele edilmiş lignin kullanarak 140 – 240 °C

sıcaklıklarda ve 4 – 18 saat zaman aralığındaki reaksiyon şartlarında HY'le KNN sentezlemişlerdir. Shen ve diğerleri (2017) tatlı patatesten hazırladıkları ekstreyi 180 °C'de 18 saat bekleterek KNN elde etmişlerdir. Hoan ve diğerleri (2019) limon suyunu 12 saat boyunca 240 °C'de bekleterek KNN elde etmişlerdir. Atchudan (2020, 2021) ve diğerleri bodur muz kabuklarını 200 °C'de 24 saat bekleterek KNN sentezi gerçekleştirmişlerdir.

Karbon kaynağı olarak, DMF çözücü varlığında sitrik asit ve dietilendiamin kullanıldığı (Miao vd., 2018), NaOH ve EtOH çözücü sisteminde 3,4,9,10-tetranitroperilenin kullanıldığı (B. Yuan vd., 2018), ksilan ve amonyum hidroksit (Z. Liang vd., 2014), pirinç artıkları ve lizinin sulu karışımı (Qi vd., 2019) 200 °C'de 12 saat bekleterek KNN sentezi yapılan çalışmalar mevcuttur. Benzer şartları içeren (180 °C ve 12 saat) Hidrotermal sentez yönteminde ise karbon kaynağı olarak kitosan (Y. Yang vd., 2012), şeftali sakızı (L. Zhou vd., 2013), inek sütü (Han vd., 2015), tolüen içerisinde çözünmüş 1.1'-binaftil-2.2'-diamin ve sitrik asit (W. Wang vd., 2022), p-Fenilendiamin ve etilenediamin (K. Yuan vd., 2018) ve kivi ekstresi ve sulu amonyak çözeltisi karışımı (Arul & Sethuraman, 2018) kullanılmıştır. Literatürde teflon kaplı otoklavların sıcaklık kontrollü mikrodalga fırınlarında kullanıldığı mikrodalga-hidrotermal yaklaşım olarak adlandırılan çalışmalar da mevcuttur (Q. Liang vd., 2017; R. Liu vd., 2015; Y. Liu vd., 2020; Purbia & Paria, 2016; Zheng vd., 2018b). Bu çalışmalar da HY kapsamında değerlendirilmiştir.

Tez kapsamında geliştirdiğimiz metot olan MPY ile KNN sentezi için literatürde önerilen HY ve solvotermal yöntem için gerekli sıcaklık ve zaman değerleri karşılaştırıldığında tez kapsamında geliştirdiğimiz yöntemin çok avantajlı olduğu görülmektedir.

KNN'lerin sentezi için literatürde önerilen diğer bir aşağıdan-yukarıya sentez metodu MDY'dir. Literatürde MDY ile KNN sentez şartları incelendiğinde, tez kapsamında geliştirdiğimiz metoda göre 10 kat daha uzun süre gerektiren MDY'ler olduğu gibi tez kapsamında geliştirilen MPY'ye benzer süre gerektiren MDY çalışmaları da mevcuttur. Sutanto ve diğerleri (2020) sitrik asit ve üre karışımını 1000 W güçte 30 dakika bekleterek KNN elde etmişlerdir. Bu KNN elde etme yöntemi tez kapsamında önerdiğimiz metoda göre 10 kat daha uzun zaman almakta ve yaklaşık 1.5 kat daha fazla güce ihtiyaç duymaktadır. Jayaheksar ve diğerleri (2021), Hint ayvası kabuklarını 1200 W güçte 30 dakika bekleterek KNN sentezi gerçekleştirmişlerdir. Bu yöntem KNN elde etmek için kimyasal kullanmamasına rağmen, önerdiğimiz metoda göre hem zaman olarak 10 kat daha fazla sürmekte ve hem de yaklaşık 1.7 kat daha fazla cihaz gücüne gereksinim duymaktadır. Y.

Hu ve Gao (2020) 700 W güçte 30 dakika süresince lağım çamurunu MDY uygulayarak KNN elde etmişlerdir. Her ne kadar önerdiğimiz metotla aynı güç uygulanmışsa da 10 kat daha fazla süre uygulanarak toplamda çok daha fazla enerji harcanmıştır. Venugopalan ve Vidya (Venugopalan & Vidya, 2023) (2023) KNN elde etmek için yabani limon kabuklarını 20 dakika boyunca 500 W güce maruz bırakmışlardır. Geliştirdiğimiz metoda göre daha az güç kullanmış olmalarına rağmen reaksiyon süresi açısından yaklaşık 7 kat daha dezavantajlı bir yöntem uygulamışlardır. Dinç (2017) kestane balından KNN elde etmek için kestane balını saf su ile karıştırıp 25 dakika boyunca 450 W güce maruz bırakmıştır. Bu metot da geliştirdiğimiz yönteme göre daha az güç harcamasına rağmen yaklaşık 8 kat fazla reaksiyon süresine ihtiyaç duymuştur. Ayrıca kestane balı gibi ekonomik değeri olan bir başlangıç materyali kullanması açısından dezavantajlı bir yöntem olduğu görülmektedir. Shao ve diğerleri (2017) maleik asit ve etilendiamin sudaki karışımını 20 dakika boyunca mikrodalga fırında 1000 W güce maruz bırakarak KNN sentezlemişlerdir. Bu yöntem geliştirdiğimiz metoda göre yaklaşık 7 kat daha fazla süreye ve 1000 W gibi yüksek bir enerjiye ihtiyaç duymuştur. Niu ve diğerleri (2013) 750 W güçte sitrik asit ve üreyi 15 dakika bekleterek KNN elde etmişlerdir. Önerdiğimiz metoda göre yakın bir güç uygulanmasına karşılık tez kapsamında önerdiğimiz metot süre açısından 5 kat daha avantajlıdır. Shibata ve diğerleri (Shibata vd., 2022) (2022) nişasta ve fosforik asit karışımını 14 dakika boyunca mikrodalga ışınlarına maruz bırakarak KNN elde etmişlerdir. Tez kapsamında geliştirdiğimiz yönteme nazaran yaklaşık 5 kat daha fazla süre gerektirmesi ve fosforik asit gibi aşındırıcı tehlikeli kimyasal kullanılması açısından daha elverişsizdir. C. Zhang ve diğerleri (C. Zhang vd., 2016) (2016) aspartik asit ve amonyum bikarbonatı 10 dakika boyunca 560 W güce maruz bırakarak KNN sentezi gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada önerilen yöntem tez kapsamında geliştirilen metoda göre 3.3 kat daha uzun süre gerektiği için ve KNN eldesi için kullanılan başlangıç maddelerinin kimyasal maddeler olması açısından daha dezavantajlı olduğu görülmektedir. Tez kapsamında geliştirdiğimiz metoda göre 3.3 kat daha uzun zamana ve 850 W gibi daha fazla güce ihtiyaç duyulan bir çalışmada Bhatt ve diğerleri (M. Bhatt vd., 2020) (2020) karbon kaynağı olarak Askorbik asit ve üre kullanmışlardır. KNN sentezi için 5 ila 8 dakikalık süreye ve 650 W ila 1450 W arasında güce ihtiyaç duyulan çalışmalar incelendiğinde başlangıç maddesi olarak sitrik asit, üre ve L-sistein (L. Li vd., 2015), Glutamik asit ve silikajel (G. He vd., 2016), sitrik asit ve amonyum tiyosiyanat (Tabaraki & Abdi, 2018), sitrik asit ve L-glutatyon (Pajewska-Szmyt vd., 2020), sitrik asit, etilendiamin ve FeCl_2 (R. Liu, 2021), fosforik asit ve etanolamin (K. Jiang, Wang, Gao, vd., 2018), sitrik

asit ve tiyoüre (Chan vd., 2019), Etilendiamin ve N-fosfonometilaminodiasetik asit (H. Li, Shao, vd., 2016), köri yaprakları (Maruthupandi vd., 2022), 2-aminotereftalik asit, polietilen glikol ve o-fosforik asit (Vidya vd., 2021), posasız soğan suyu, posasız limon suyu ve amonyum hidroksit (Monte-Filho vd., 2019) kullanıldığı çalışmalar mevcuttur.

Tablo 15 literatürdeki MDY ile elde edilen KNN'ler için gerekli süre ve uygulanan güçleri özetlemektedir.

Tablo 15. Mikrodalga destekli yöntem ile elde edilen KNN'ler için gerekli süre ve uygulanan güçler

Materyal	Süre (dakika)	Güç (W)	Referans
Sitrik asit + Üre	15	750	(Niu vd., 2013)
Sitrik asit + Üre	30	1000	(Sutanto vd., 2020)
Askorbik asit + Üre	10	850	(M. Bhatt vd., 2020)
Sitrik asit + üre + L-sistein	5	—	(L. Li vd., 2015)
Glutamik asit + silikajel	5	650	(G. He vd., 2016)
Sitrik asit + amonyum tiyosiyanat	5	600	(Tabaraki & Abdi, 2018)
Sitrik asit + L-glutasyon	5	550	(Pajewska-Szmyt vd., 2020)
Sitrik asit + etilen diamin + FeCl ₂	4	700	(R. Liu, 2021)
Fosforik asit + etanolamin	5	750	(K. Jiang, Wang, Gao, vd., 2018)
Maleik asit + etilendiamin + su	20	1000	(Shao vd., 2017)
Sitrik asit + tiyoüre	6	800	(Chan vd., 2019)
Etilendiamin + N-fosfonometilaminodiasetik asit	7	700	(H. Li, Shao, vd., 2016)
2-aminotereftalik asit + polietilen glikol + orto-fosforik asit	5	850	(Vidya vd., 2021)
Aspartik asit + amonyum bikarbonat	10	560	(C. Zhang vd., 2016)
Serin + polietilen glikol	7	800	(J. Shi vd., 2013)
Nişasta + fosforik asit	14	—	(Shibata vd., 2022)
Alg + fosforik asit	5	600	(Ramanan vd., 2016)
Posasız soğan suyu + posasız limon suyu + amonyum hidroksit	6	1450	(Monte-Filho vd., 2019)
Lağım çamuru+ su	30	700	(Y. Hu & Gao, 2020)
Köri yaprakları ekstresi + su	8	850	(Maruthupandi vd., 2022)
Yabani limon yaprağı + su	20	500	(Venugopalan & Vidya, 2023)
Hint ayvası (şeker elması) kabuğu + su	30	1200	(Jayasekhar Babu vd., 2021)
At kestanesi	3	700	Bu çalışma

Bu çalışmalar ile tez kapsamında geliştirdiğimiz yöntem yaklaşık 2 ila 3 kat fazla sürelerde mikrodalga maruziyetine ihtiyaç duydukları gibi harcanan güç açısından veya karbon kaynağı olarak kimyasal maddelerin başlangıç maddeleri olarak kullanılması sebebiyle geliştirilen KNN sentez yöntemine hem çevre açısından hem de harcanan enerji açısından daha dezavantajlı olduğu görülmektedir.

MPY literatürdeki metotlarla karşılaştırıldığında piroliz ve HY'lerdeki gibi uzun zaman ve yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duymayan bir metottur. Bu yöntem ayrıca literatürdeki mikrodalga destekli yöntemlerde kullanılan herhangi bir çözücüye ya da kimyasal maddeye

de ihtiyaç duymamaktadır. Üstelik KNN'lerin sentezi 3 dakika gibi çok kısa sürede gerçekleştiği için literatürdeki yöntemlere göre çok daha avantajlı ve özgün bir yöntemdir.

Tablo 16, literatürdeki KNN sentezleri için kullanılan başlangıç materyallerini ve sentez yöntemlerinin yüzdesel dağılımını özetlemektedir.

Tablo 16. Literatürdeki KNN sentez yöntemleri için kullanılan başlangıç materyalleri ve sentez yöntemlerinin yüzdesel dağılımı

Başlangıç materyali	Mikrodalga destekli yöntem (%)	Hidrotermal / solvotermal yöntem (%)	Piroliz Yöntemi (%)	Referans
Mono- ve polisakkaritler	37	50	—	(Hill & Galan, 2017)
Meyveler	5	70	—	(Omar vd., 2022)
Sebzeler	6	62	—	(Omar vd., 2022)
Yaprak, çiçek, tohum ve kök	10	45	20	(Omar vd., 2022)
Atık ürünler	—	50	—	(Omar vd., 2022)
Kimyasal maddeler	15	50	11	(Omar vd., 2022)
Biyokütle	9	60	9	(Kang vd., 2020)
Biyokütle	9	72	8	(Malavika vd., 2022)
Doğal ürünler	13	59	15	(X. Lin vd., 2021)
Kimyasal maddeler	13	62	26	(Ozyurt vd., 2023)
Biyokütle	10	55	8	(Lou vd., 2021)
Çeşitli karbon kaynakları	19	42	12	(P. Kumar vd., 2022)
Biyokütle	18	82	—	(Bressi vd., 2023)

Tablo 16'den KNN'lerin sentezi için literatürde mikrodalga destekli yöntemlerin HY'e nazaran daha az uygulandığı dikkat çekmektedir (Hill & Galan, 2017; Kang vd., 2020; Lou vd., 2021; Malavika vd., 2022; Omar vd., 2022; Ozyurt vd., 2023). Hill ve Galan (2017) mono- ve polisakkaritlerden elde edilen KNN'leri incelediği çalışmasında örnek olarak gösterdiği çalışmaların %37'sinin mikrodalga destekli yöntemle, %50'sinin HY'le yapıldığını bildirmiştir. Omar ve diğerleri (2022) ise KNN sentezleri ve kullanılan başlangıç materyallerini incelediği çalışmasında meyvelerden elde edilen KNN'ler için kullanılan yöntemlerde yaklaşık %5 oranında mikrodalga destekli yöntemin kullanıldığı, %70 oranında hidrotermal/solvotermal yöntemin kullanıldığı görülmektedir. Benzer bir şekilde sebzelerden elde edilen KNN'ler için mikrodalga destekli yöntemin %6 oranında kullanıldığı, HY'in %62 oranında kullanıldığını anlaşılmaktadır. KNN sentezi için yaprak, çiçek, tohum ve köklerin kullanıldığı çalışmalarda ise mikrodalga destekli yöntemin %10, HY'in %45 ve PY'nin % 20 oranında kullandığı ortaya çıkmaktadır. Atık ürünlerde ise mikrodalga yöntemin hiç kullanılmadığı buna karşılık HY'in %40 oranında kullanıldığı tespit edilmiştir. Kimyasal başlangıç maddeleri kullanılarak KNN sentezi için mikrodalga destekli yöntemin %15 oranında kullanıldığı, hidrotermal/solvotermal yöntemlerin %50

oranında kullanıldığı, PY'nin ise %11 oranında kullanıldığı anlaşılmaktadır. Kang ve diğerleri (Kang vd., 2020) biyokütle atıklarından elde edilen KNN'leri incelediği çalışılmasında ise mikrodalga destekli yöntemin yaklaşık %9, HY'in yaklaşık %60 ve PY nin ise yaklaşık %9 oranında kullanıldığı anlaşılmaktadır. Biyokütle karbon kaynaklarının araştırıldığı bir başka çalışmada mikrodalga destekli yöntemin yaklaşık %9 oranında kullanıldığı, hidrotermal/solvotermal yöntemin yaklaşık %72 oranında kullanıldığı, PY nin ise yaklaşık %8 oranında kullanıldığı görülmüştür (Malavika vd., 2022). Doğal kaynaklardan elde edilen KNN'lerin sentez metotlarını ve uygulamalarının incelendiği bir araştırmada HY'in yaklaşık %59 oranında kullanıldığı, mikrodalga destekli yöntemin yaklaşık olarak %13 oranında kullanıldığı ve PY'nin de yaklaşık olarak %15 olarak kullanıldığı görülmüştür (X. Lin vd., 2021) Kimyasal başlangıç maddelerinden yola çıkarak KNN elde edilen çalışmaları inceleyen Özyurt ve diğerlerinin (2023) çalışmasından ise mikrodalga destekli yöntemin yaklaşık %13, hidrotermal/solvotermal yöntemin yaklaşık %62 ve PY nin ise yaklaşık %26 oranında kullanıldığı saptanmıştır. Biyokütle kaynaklarından elde edilen KNN'lerin özelliklerinin ele alındığı başka bir literatür çalışmasında Lou ve diğerlerinin (2021) incelediği çalışmalarda mikrodalga destekli yöntemlerin %10, hidrotermal/solvotermal yöntemin yaklaşık %55 ve PY'nin ise yaklaşık %8 oranında kullanıldığı görülmüştür. KNN'lerdeki gelişmeler ve bunların fotovoltaiik alanındaki uygulamaları üzerine yapılan bir inceleme çalışmasında ele alınan KNN sentez yöntemlerinin %42'sinin HY, %19'unun mikrodalga destekli yöntem ve %12'sinin ise PY olduğu dikkati çekmiştir (P. Kumar vd., 2022). Yenilenebilir biyokütle kaynaklarından yeşil yaklaşımla elde edilen KNN'lerin avantajlarının incelendiği bir çalışmada HY'in yaklaşık %82 oranında ve mikrodalga yöntemin ise %18 oranında kullanıldığı anlaşılmaktadır (Bressi vd., 2023).

Tüm bu çalışmalarda incelenen yöntemler ele alındığında mikrodalga destekli yöntemin daha çok kimyasal maddeleri içeren başlangıç maddeleri ile sentez yöntemi olarak kullanıldığı, doğal veya atık karbon kaynaklarından KNN elde etmek için ise hidrotermal ve solvotermal yöntemin tercih edildiği sonrasında ise PY'nin tercih edildiği ve en son olarak mikrodalga yöntemin tercih edildiği görülmüştür. Ayrıca bazı doğal kaynaklı başlangıç maddelerinin kullanıldığı mikrodalga destekli yöntemlerde amonyum hidroksit, sodyum hidroksit ve polietilen glikol, etilen diamin, metanol, asetonitril, aseton, dietilen glikol, fosforik asit gibi kimyasalların kullanıldığı görülmektedir (Omar vd., 2022). Tablo 16'de kalan yüzdelik kısımlar, lazer ablasyon (Castro vd., 2016; H. Yu vd., 2016), plazma

ışınlaması (J. Wang vd., 2012a), karbonizasyon (Anindita vd., 2018; J. Zhou vd., 2012), elektrokimyasal karbonizasyon (Hou vd., 2015), kimyasal oksidasyon (Feng & Zhang, 2019; Kailasa vd., 2019), kalsinasyon (X. Yang, Wang, vd., 2020), ultrasonikasyon (H. Li, Sun, vd., 2016; Zaib vd., 2021), kimyasal oksidasyon (Feng & Zhang, 2019; Kailasa vd., 2019), ultrasonik destekli kimyasal oksidasyon (Kumari vd., 2018), ozon oksidasyonu (H. Xue vd., 2018), reflaks uygulaması (J. He vd., 2016), katı faz (W. Song vd., 2017), kaynatma (R. Sun & Liu, 2019), kimyasal buhar biriktirme (S. Kumar vd., 2018) ve kondenzasyon (Dai vd., 2016) gibi diğer uygulanma sıklığı az olan KNN sentez yöntemleridir.

Doğal materyaller kullanılarak KNN elde etme yöntemleri incelendiğinde reaksiyon sürelerinin uzunluğu ve reaksiyon sonunda sıvı çözelti elde edilmesi gibi dezavantajlara sahip olması dikkat çekmektedir. Katı karbonlaşmış piroliz ürünlerine göre çözelti halinde bulunan KNN çözeltilerinin saklanma açısından dezavantajlı olduğu görülmüştür. KNN çözeltiler +4 °C’de saklandığında çözeltilerde küf oluşumu gözlenmektedir. Bu da katı halde KNN ham materyallerini saklamanın daha avantajlı olduğunu göstermektedir.

HY ve özellikle de mikrodalga destekli yöntemle kimyasallar kullanılarak elde edilen KNN çözeltilerinde başlangıç kimyasallarının tamamıyla KNN’lere dönüştüğüne dair bir bilgi olmadığı gibi ortamda sulu veya organik çözücü ortamında ne kadar zararlı kimyasal maddenin kaldığı hakkında da bir bilgi bulunmamaktadır. Dolayısıyla doğal olmayan maddelerden üretilen KNN optik biyo-görüntüleme ve diğer biyomedikal uygulamalarda kullanılabilirliğini sınırlamaktadır. Halbuki PY yöntemi ile ve tez kapsamında geliştirdiğimiz MPY yöntemi ile KNN elde etme yönteminde, başlangıç maddeleri uygulanan ısının etkisiyle tamamen karbonlaşmakta ve yapısı değişmektedir. Böylelikle ortamda herhangi bir zararlı kimyasal madde kalmamaktadır. Bu sayede de ortamda zararlı kimyasal kalma ihtimaline karşı alınacak önlemler için gereken süreçlere de ihtiyaç bırakmamaktadır. Tez kapsamında geliştirdiğimiz yöntem PY yöntemi gibi başlangıç maddelerini tamamen karbonlaşmasını sağlayarak HY ve literatürdeki MPY’e göre daha avantajlı olduğu gibi, PY yöntemine göre ise daha az enerji ihtiyacı duyduğu için ve daha kısa sürede KNN elde edilebildiği için daha avantajlı bir yöntem olduğu görülmektedir.

Tez kapsamında sunulan çalışmada geliştirilen MPY’nin literatürdeki metotlarla karşılaştırıldığında PY ve HY gibi uzun zaman ve yüksek sıcaklık değerleri gerektirmediği gibi MDY gibi kimyasal başlangıç maddelerine ihtiyaç duymaması açısından çok daha kullanışlı, özgün ve pratik bir yöntem olduğu düşünülmektedir.

4.2. KNN'lerin Karakterizasyonu

4.2.1. KNN'lerin TEM Görüntüleri

Çalışmamızda elde ettiğimiz KNN'lerin nano ölçekli yapısını ve kristalin özelliklerini incelemek amacıyla TEM ve HRTEM analiz yöntemleri kullanılmıştır.

PY yöntemi ile hazırlanan KNN'lerin çok iyi dispers olduğu ve çaplarının 5 nm'den küçük küresel şekilde olduğu görülmüştür (Şekil 14A). P-KNN'lerin HRTEM görüntülerinde ise çok sayıda düzgün kafes boşlukları olduğu görülmüştür (Şekil 14B). Bu sonuç hazırlanan KNN'lerin kristal yapıda olduğunu göstermektedir. 0.326 nm'lik düzlemler arası boşluk, hegzagonal grafitin (002) düzlemler arası boşluğuna karşılık gelmektedir (X. Jiang vd., 2018). Yani P-KNN'ler hegzagonal grafit yapısı içermektedir.

HY ile hazırlanan KNN'lerin küçük kümeler şeklinde aglomere olduğu belirlenmiştir (Şekil 15A). Bu kümelerin içinde üst üste binmiş KNN'ler mevcuttur. Kümelerin uzunluğundan ve görünümünden kümeleri oluşturan KNN'lerin yine 5 nm'nin altında tanecik çapına sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte HY ile elde edilen KNN'lerin PY ile elde edilen KNN'ler gibi kristal yapıda olmadıkları Şekil 15B'deki HRTEM görüntülerinde düzlemler arası boşlukların belirlenememesinden anlaşılmaktadır. Bu sonuç HY ile elde edilen H-KNN'lerin amorf yapıda olduklarını göstermektedir.

M-KNN'lerin dispers olmuş olanlarının yanında (beyaz dairelerle gösterilen) aglomere olmuş kümelerden oluştuğu da görülmektedir (Şekil 16A). Şekil 16B'den nano yapıların atomlar arası düzlem boşlukları tespit edilmiştir ve 3.52 nm'lik düzlemler arası boşluğun hegzagonal grafitin (002) düzlemi ile oldukça uyumlu olduğu söylenebilir. Hegzagonal grafitin (002) düzlemleri arasındaki boşluğunun 0.34 nm olduğu literatürden bilinmektedir (Albetran, 2020; X. Jiang vd., 2018). M-KNN'lerin (002) düzlemi için belirlenen boşluğun 0.34 nm'den biraz daha fazla olması düzlemler arasında grafen tabakalarındaki fonksiyonel grupların sonucu olabilir (De & Karak, 2013; Essner vd., 2016; Gümrükçüoğlu vd., 2020).

Nano noktaların kristal yapısı hakkında ayrıntılı bilgi almak için M-KNN'lerin TEM görüntülerinde FFT desenleri elde edildi (Şekil 16C). FFT görüntülerindeki halkalar üzerinde gözlenen spotlar M-KNN'lerin polikristalin yapıda olduğunu göstermektedir (Ramoğlu vd., 2021).

4.2.2. KNN'lerin XRD Spektrumları

XRD tekniği, KNN'lerin kristal ya da amorf yapıda olup olmadıklarını belirlemede çok kullanılan bir tekniktir. Hazırlanan KNN'lerin bu amaçla XRD difraktogramları alındı. Sonuçlar Şekil 17, Şekil 18 ve Şekil 19'de verilmiştir. Şekil 17'de 26.2 iki teta değerine karşılık gelen düzlemler arası boşluk, hegzagonal yapıdaki grafitin (002) düzlemine ait olan yaklaşık 0.34 nm'lik mesafeyi göstermektedir. Şekil 17'de verilen P-KNN'lerinin XRD difraktogramlarında görülen $14.5^\circ - 26^\circ$ iki teta aralığındaki kırınım pikleri grafit oksit yapısını doğrular nitelikte olup grafen tabakaları yüzeylerindeki fonksiyonel gruplarının varlığını doğrulamaktadır. Çünkü bu sonuçlar grafitteki (002) düzlemler arası boşluğuna karşılık gelen 0.34 nm'lik mesafenin hazırlanan nano noktalarda artmış olduğunu göstermektedir (Siburian vd., 2018). Bu da P-KNN'lerinin grafit yapısının oksijen içerikli fonksiyonel gruplar içerdiğini doğrulamaktadır. Şekil 17'deki keskin pikleri P-KNN'lerinin kristal yapıları nano noktalar içerdiğini de göstermektedir (Mintz vd., 2019). Bu sonuç P-KNN'lerin Şekil 14B'de verilen HRTEM görüntüleri ile tespit edilen kristal yapıları ile uyumludur.

Şekil 18, H-KNN'lerin XRD difraktogramını göstermektedir. Şekil 18'de yaklaşık 23° iki teta derecesinde gözlenen geniş pik HY ile elde edilen bu karbon noktaların kristal yapılarının amorf olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar Şekil 15B'deki HRTEM görüntülerinden belirlenen amorf yapı ile uyumludur. Şekil 19'de verilen difraktogram ise M-KNN'lere aittir. Şekil 19'den görüldüğü gibi M-KNN'ler yaklaşık 14 iki teta derecesinde keskin bir pik ve yaklaşık 23 iki teta derecesinde geniş bir band elde edilmiştir. Bu sonuç da M-KNN'lerin yapısının da amorf ağırlıklı olduğunu gösterir (Bajpai vd., 2019; Başoğlu, 2023; Mitra vd., 2012; H. Yang, He, vd., 2018).

4.2.3. KNN'lerin XPS Spektrumları

KNN'lerin elementel bileşimini belirlemek için alınan XPS spektrumları Şekil 20'de verilmiştir. 528 eV değerindeki bağlanma enerjileri O1s enerji seviyesine aittir. Yaklaşık 285 eV değerindeki bağlanma enerjisi değerleri ise C1s enerji seviyelerine aittir. 398 eV değerindeki N1s enerji seviyesini gösteren bağlanma enerjileri sadece, H-KNN'ler ve M-KNN'ler için (Şekil 20B ve Şekil 20C) değerlerinde görülmüştür. 375 eV değerindeki pik ise K2s enerjisine karşılık gelmektedir. Bu sonuçlar hazırlanan P-KNN'lerin karbon, oksijen

ve potasyum elementlerini içerdiğini H-KNN ve M-KNN'lerin ise bu elementlere ilaveten azot da içerdiğini göstermektedir.

Şekil 21A P-KNN için C1s bağlanma enerjilerini ve bağ türlerini göstermektedir. Yaklaşık 285 eV değerinde pik yapan band P-KNN'lerin yapısında C=C/C-C/C-O/C-N bağlarının bulunduğunu göstermektedir (Ke vd., 2018; Q. Li vd., 2021; X. Liu vd., 2016; Ramoğlu vd., 2021). 293 eV değerindeki bağlanma enerjisi ise P-KNN'lerin yapısında C=O bağının varlığını göstermektedir. Şekil 21B ise O1s bağlanma enerjilerini ve bağ türlerini göstermektedir. Yaklaşık 531 eV değerinde pik yapan band P-KNN'lerin yapısında C=O/O-H/C-O bağlarının bulunduğunu göstermektedir (Ramoğlu vd., 2021; C. Zhao vd., 2019).

Şekil 22A H-KNN için C1s bağlanma enerjilerini ve bağ türlerini göstermektedir. Yaklaşık 283 eV değerinde pik H-KNN'lerin yapısında C=C/C-C olduğunu, yaklaşık 285 eV değerindeki enerji ise C-O/C-N bağlarının bulunduğunu göstermektedir (J. Dong vd., 2022; S. Dong vd., 2021; Ramoğlu vd., 2021). 290 eV değerindeki bağlanma enerjisi ise H-KNN'lerin yapısında C=O bağının varlığını göstermektedir. Şekil 22B ise N1s bağlanma enerjilerini ve bağ türlerini göstermektedir. Yaklaşık 397 eV değerinde pik H-KNN'lerin yapısında piridinik azot bağlarının bulunduğunu, yaklaşık 400 eV'luk enerjiye ait pik ise yapıda pirolük azotların bulunduğunu, yaklaşık 401 eV'deki pikin varlığı ise yapıda kuarternar azot atomunun bulunduğunu göstermektedir (Ramoğlu vd., 2021; J. Wang vd., 2015). Şekil 22C ise O1s bağlanma enerjilerini ve bağ türlerini göstermektedir. Yaklaşık 530 eV değerinde pik yapan bant H-KNN'lerin yapısında C=O/O-H/C-O bağlarının bulunduğunu göstermektedir (Ramoğlu vd., 2021; L. Wang vd., 2016).

M-KNN'lerin XPS spektrumu incelendiğinde yaklaşık 282 eV değerinde pik M-KNN'lerin yapısında C=C/C-C ve C-O/C-N bağlarının bulunduğunu göstermektedir (H. Huang vd., 2013; Ramoğlu vd., 2021). 290 eV değerindeki bağlanma enerjisi ise M-KNN'lerin yapısında C=O bağının varlığını göstermektedir. Şekil 23B ise N1s bağlanma enerjilerini ve bağ türlerini göstermektedir. Yaklaşık 395 eV değerinde pik M-KNN'lerin yapısında piridinik azot bağlarının bulunduğunu, yaklaşık 399 eV'luk enerjiye ait pik ise yapıda pirolük azotların bulunduğunu, yaklaşık 401 eV'deki pikin varlığı ise yapıda kuaternar azot atomunun bulunduğunu göstermektedir (H. Liu, Li, vd., 2018; Y. Liu vd., 2021; Ramoğlu vd., 2021). Şekil 23C'de ise O1s bağlanma enerjileri ve ilgili bağ türleri gösterilmiştir. Yaklaşık 529 eV değerinde pik yapan band MH-KNN'lerin yapısında C=O/O-H/C-O bağlarının bulunduğunu ifade etmektedir (P. Das vd., 2018; Edison vd., 2016; Ramoğlu vd., 2021).

4.2.4. KNN'lerin IR Spektrumları

KNN'lerin kimyasal bağlarının belirlenmesi için FTIR spektrumları alındı. Şekil 24'de her üç KNN için de yaklaşık 3253 cm^{-1} 'de görülen yayvan bant, OH gerilme titreşimlerine aittir ve KNN'lerin yapısında —OH fonksiyonel grubunun varlığını gösterir. 2922 ve 2852 cm^{-1} 'deki pikler ise C–H gerilme titreşimleriyle ilgilidir ve KNN'lerin sp^3 hibridize karbonları içerdiğini göstermektedir. 1583 cm^{-1} 'deki pikler C=C gerilme titreşimlerine aittir ve KNN'lerin yapılarında sp^2 hibridize karbonların varlığını göstermektedir. Bu sonuç grafit yapısı ile uyumludur. 1044 cm^{-1} 'deki pikler C–O gerilme titreşimlerine aittir ve KNN'lerin yapılarında karbon elementine bağlı oksijenin bulunduğunu göstermektedir.

4.2.5. KNN'lerin UV-Vis Spektrumları

KNN'lerin optik özelliklerinin belirlenmesi için UV-vis absorpsiyon spektrumları alınmıştır. Şekil 25'deki spektrumlar karşılaştırıldığında $\pi\text{--}\pi^*$ ve $\text{n--}\pi^*$ geçişlerine ait absorpsiyon piklerinin tespit edildiği görülmektedir. Bu sonuçlar KNN'lerin yapısında C=C bağlarının ve C–O, C–N gibi bağların bulunduğunu göstermektedir ve XPS ve FTIR spektrumlarından elde edilen sonuçlarla uyumludur. Bununla birlikte M-KNN'lerin yapısında $\text{n--}\pi^*$ geçişlerinin daha etkili olduğu yani diğer KNN'lere göre yapıda daha fazla O ve N gibi heteroatomların olduğu söylenebilir.

4.2.6. Parçacık Boyut Dağılımı

KNN'lerin XRD difraktogramları kullanılarak parçacık boyutlarını belirlemek için Scherrer eşitliğinden faydalanıldı. XRD difraktogramları incelendiğinde P-KNN ve M-KNN XRD difraktogramlarında keskin piklerin olduğu, H-KNN XRD difraktogramında geniş yayvan pikin olduğu görülmektedir. Bu sebeple H-KNN için kristal büyüklüğü Scherrer eşitliği ile hesaplanamamıştır. Bunun için P-KNN ve M-KNN için ortak olan yaklaşık 14° 2θ değerindeki pik kullanıldı. Scherrer eşitliği kullanılarak P-KNN için kristal büyüklüğü 81.8 nm , M-KNN için ise 89.5 olarak hesaplandı (Tablo 3). Her iki değer birbirine çok yakın olduğu, yaklaşık %8'lik bir farkın bulunduğu görülmektedir. MPY yöntemi ile elde edilen KNN'lerin PY yöntemi ile elde edilen KNN'lerle yaklaşık aynı boyutta olduğu söylenebilir.

Sulu ortamda dispers olan KNN'lerin hidrodinamik çapları Master-Sizer cihaz ölçümleri ile belirlendi. M-KNN ve H-KNN için gerçekleştirilen Master-Sizer ölçümü sonuçları Tablo 1 ve Tablo 2'de belirtilmiştir.

M-KNN için elde edilen ölçümler incelendiğinde M-KNN parçacıklarından %10'u ortalama olarak $0.599 \mu\text{m}$ 'nin altında iken %50'si ortalama olarak $3.54 \mu\text{m}$ 'nin altında ve %90'ı ise ortalama olarak $85.4 \mu\text{m}$ 'nin altında boyut dağılımı göstermiştir (Tablo 1).

H-KNN için elde edilen ölçümler incelendiğinde H-KNN parçacıklarından %10'u ortalama olarak $31 \mu\text{m}$ 'nin altında iken %50'si ortalama olarak $171 \mu\text{m}$ 'nin altında ve %90'ı ise ortalama olarak $535 \mu\text{m}$ 'nin altında boyut dağılımı göstermiştir (Tablo 1 ve Tablo 2). M-KNN'lerin boyutsal olarak H-KNN'lere göre %10'luk dilimde 51 kat daha küçük boyutta olduğu, %50'lik dilimde 48 kat ve %90'lık dilimde ise 6 kat daha küçük parçacıklara sahip olduğu görülmektedir. Sonuçlar incelenen KNN'lerin sulu ortamda dispers olduğu ve M-KNN'lerin H-KNN'lere oranla çok daha küçük çaplı olduğunu göstermiştir.

4.3. KNN'lerin Çok Renklilik Özellikleri

KNN'ler genellikle çok renklilik özelliği gösterirler. Yani çoğu KNN'ler, uyarma dalga boyuna göre değişen bir floresans spektrumu verirler (R. Das vd., 2018). Bu çalışmada KNN'lerin çok renklilik özelliklerinin belirlenmesi için hazırlanan KNN çözeltileri 400 – 300 nm aralığında 10^4 ar nm aralıklarla uyarılarak emisyonları gözlemlendi (Şekil 27). Elde edilen floresans spektrumlarında P-KNN için maksimum emisyon gösterdikleri dalga boyları sırasıyla 350 nm ve 360 nm olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde H-KNN için de aynı dalga boyları saptanmıştır. M-KNN için ise en yüksek emisyonun gözlemlendiği uyarma dalga boyu 360 nm olarak saptanmıştır. P-KNN ve H-KNN için her ne kadar 350 nm en yüksek emisyonun görüldüğü dalga boyu olsa da en yüksek ikinci emisyonun görüldüğü uyarma dalga boyu olan 360 nm ile aralarındaki emisyon şiddeti farkı yaklaşık %3 civarında olduğu tespit edilmiştir. KNN sentez yöntemlerinin sağlıklı karşılaştırması için ortak uyarma dalga boyu olarak 360 nm seçilmiştir. 360 nm uyarma dalga boyu 350 nm uyarma dalga boyuna göre hem daha az enerjilidir hem de maksimum emisyon dalga boyu daha kırmızıya kaymıştır. %3'lük bir emisyon şiddeti değeri farkı için yüksek enerjili dalga boyu yerine daha düşük enerjili dalga boyu uyarma dalga boyu olarak seçilmiştir.

4.4. KNN'lerin Gıda Boyaları ile Etkileşimi

Gıda boyaları ile KNN'lerin etkileşimleri 360 nm uyarma dalga boyunda incelendi. Şekil 31'de KNN'lerin floresans spektrumuna gıda boyalarının etkisini göstermektedir. Etkileşim sonuçları incelendiğinde P-KNN, H-KNN ve M-KNN ile gıda boyalarından sadece tartrazinin ortak olarak etkileşime girdiği ve kayda değer bir şekilde floresans şiddette azalmaya yol açtığı görülmektedir. Literatürde KNN'lerle tartrazinin etkileşimi ve tartrazin miktarı tayinine yönelik çalışmalar mevcuttur (Ghereghlou vd., 2021; Gümrükçüoğlu vd., 2020; L. He & Du, 2023; L. Liu vd., 2021; Thulasi vd., 2020; Y. Y. Wang vd., 2020; H. Yang, Ran, vd., 2018; Y. Zhao vd., 2023). Ghereghlou ve arkadaşları (2021) kuş iğdesinden elde ettikleri KNN'ler ile 330 nm uyarma dalga boyunda tartrazin tayini gerçekleştirmişlerdir (Ghereghlou vd., 2021). L. Liu ve arkadaşları (2021) tartrazin tayini için uyarma dalga boyu olarak 350 nm, Gümrükçüoğlu ve arkadaşları (2020) 360 nm, Thulasi ve arkadaşları (2020) 360 nm ve He & Du (2023) 380 nm kullanmışlardır (Gümrükçüoğlu vd., 2020; L. He & Du, 2023; L. Liu vd., 2021; Thulasi vd., 2020).

Gıda boyaları ile KNN'lerin etkileşimlere incelendiğinde M-KNN ve P-KNN'nin H-KNN'ye göre daha fazla etkileşime girdiği görülmektedir.

4.5. KNN'lerin Tartrazin ile Spektroflorometrik Titrasyonu

KNN'lerin tartrazin ile titrasyonunda P-KNN, H-KNN ve M-KNN için 0 ila 66 mg/L aralığında titrasyon gerçekleştirilmiş olup titrasyon grafiği, Lambert – Beer kanunundan sapma, doğrusal aralık grafiği, tayin aralıkları Şekil 32, Şekil 33 ve Şekil 34'te gösterilmiştir. Her üç KNN için benzer şekilde yaklaşık 14 mg/L tartrazin değerinden sonra sapma görülmeye başlanmıştır. Bu noktadan sonra herhangi bir doğrusallık görülmemiştir. 0 – 14 mg/L aralığında doğrusallık olduğu görülmüştür. Tayin aralığı ise 0 – 8 mg/L olarak tespit edilmiştir. Mevcut tez çalışmamızda elde ettiğimiz 0 – 14 mg/L'lik doğrusal aralık değeri literatürdeki çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. Gümrükçüoğlu ve diğerleri (2020) doğrusal aralık olarak 0.27 – 16 mg/L, H. Xu ve diğerleri (2015) 0.13 – 17.3, Chatzimitakos ve diğerleri (2017) 0.3 – 12.6 mg/L, Shaik ve diğerleri (2022) 0.5 – 26.7 mg/L, Yang ve diğerleri (2020) 0.5 – 16 mg/L, L. Liu ve diğerleri (2021) 0 – 13.4 mg/L ve Korah ve diğerleri (2023) 1 – 6.4 mg/L olarak bildirmişlerdir.

4.6. Kuantum Verimi (KV)

Mevcut tez çalışmasında elde edilen KNN'lerin KV değerleri ile literatürde biyokütle kaynaklarından elde edilen KNN'lerin KV değerlerine göre daha avantajlı olduğu görülmüştür.

Biyokütle kaynaklarından elde edilen KNN'lerin KV'leri genellikle düşük olduğu bilinmektedir (X. Tang vd., 2022). Pamelö kabuğundan HY kullanılarak elde edilen KNN'lerin KV %6.9 olarak ölçülmüştür (W. Lu vd., 2012). HY'in kullanıldığı bir başka çalışmada bambu yapraklarından elde edilen KNN'lerin KV'nin %7.1 olduğu tespit edilmiştir. W. Du ve diğerleri (2015) portakal perikarplarından HY ile elde ettiği KNN'lerin KV'sini %2.88 olarak bildirmişlerdir. Sachdev ve Gopinath (2015) kişniş yapraklarından HY ile KV'si 6.48 olan KNN'ler sentezlemişlerdir. S. Zhao ve diğerleri (2015) H-KNN'lerin KV değeri olarak %17.5 bildirmişlerdir. Y. Song ve diğerleri (2018) HY ile keten tohumu kullanarak KV'si %14.2 olan KNN'ler elde etmişlerdir. Xie ve diğerleri (2019) arpa kullanarak HY ile KV değeri %14.4 olan KNN'ler sentezlemişlerdir. HY'nin kullanıldığı başka bir çalışmada Y. Liu ve diğerleri (2017) havuç suyundan elde ettikleri KNN'ler için %5.16'lık KV elde etmişlerdir. S. Bhatt ve diğerleri (2018) tulsî yapraklarından KV değeri %3.06 olan KNN'leri HY ile elde etmişlerdir. Khan ve diğerleri (2019) HY ile kırmızı mercimekten elde ettikleri KNN'ler için %13.2 değerinde KV bildirmişlerdir.

Çeşitli kimyasalların başlangıç maddesi olarak kullanılmasıyla KNN HY'in de kullanıldığı görülmüştür. Guo ve diğerleri (2020) glisin ve 2,4-diflorobenzoilasetonitril başlangıç maddelerinden HY kullanarak elde ettikleri KNN'ler için %20.5 değerinde KV elde etmişlerdir. HY ile KNN elde etmek için kimyasalların kullanıldığı başka bir çalışmada Wang ve diğerleri (2018) jelatin ve 3-aminobenzenboronik asit kullanarak mavi ve kırmızı emisyon veren KNN'ler sentezlemişlerdir. Mavi KNN'ler için %46.6, kırmızı KNN'ler için %21.4'lük KV elde etmişlerdir. L. Yuan ve diğerleri (2023) riboflavin ve sitrattan HY ile KV'si 21.5 olan KNN'ler elde etmişlerdir. Y. Wang ve diğerleri (2015) sitrik asit ve ditiyooksiamid kullanarak HY ile elde ettikleri KNN'lerin KV'sini %17.6 olarak bildirmişlerdir. Benzer şekilde başlangıç kimyasalları olarak sitrik asit ve Hegzametilentetramin kullanan Schneider ve diğerleri (2017) elde ettikleri KNN'ler için KV değerini %17 olarak bildirmişlerdir. HY ile doğal ürünlerden elde edilen KNN'lerin KV'lerinin kimyasallar kullanılarak elde edilen KV'ler göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu değerler tez kapsamında sentezlediğimiz H-KNN'lerin KV değerleri ile

benzer olmakla birlikte yukarıda bahsettiğimiz ve Tablo 17’te de belirtilen doğal ürünlerden elde edilen KNN’lerin ortalama KV değeri yaklaşık olarak %9.0, kimyasallar kullanılarak elde edilen KNN’lerin ortalama KV değeri ise yaklaşık olarak 24.7 olduğu görülmektedir.

KNN sentezi için kullanılan diğer bir yöntem olan PY ile biyokütle başlangıç materyalleri ile elde edilen KNN’lerin KV değerleri incelendiğinde, W. Li ve diğerleri (2018) ginko yapraklarından elde ettikleri KNN’ler için %21.7’lik KV değeri bildirmişlerdir. Rezene tohumlarından KNN elde eden Dager ve diğerleri (2019) KV değerini %9.5 olarak tespit etmişlerdir. KNN elde etmek için pirinç tanelerinin kullanıldığı bir çalışmada Kalita ve diğerleri (2016) %24’lük bir KV değeri elde etmişlerdir. Anthony ve diğerleri (2020) buz biryani ile elde ettikleri KNN’ler için %41 oranında KV değeri tespit etmişlerdir. PY ile kimyasallar kullanılarak elde edilen KNN’lerin KV değerleri incelendiğinde L. Zhao ve diğerleri (2014) sitrik asit ve Polyetilendiamin kullanarak elde ettikleri KNN’ler için %42.5’lik KV değeri tespit etmişlerdir. B. Wang ve diğerleri (2015) sitrik asit + 1-Aminopropil-3-metil-imidazolyum bromür kullanarak maksimum %27.66’lık KV değeri elde etmişlerdir. Supchocksoonthorn ve diğerleri (2021) KV değeri %6.3 olan KNN’ler için başlangıç materyali olarak Maleik anhidrit, trietilenetetramin ve nitrik asit kullanmışlardır. Polietilen glikol başlangıç maddesi kullanılarak Gogoi & Chowdhury (2020) KV değeri %16 olan KNN sentezlediklerini bildirmişlerdir.

Literatürde KNN sentezi için kullanılan bir diğer yöntem MDY’dır. Brahmore ve diğerleri (2018) Acacia concinna tohumlarını 3 farklı çözücü içerisinde mikrodalga ışınlarına maruz bırakarak %10.20, %7.20 ve %7.85 oranında KV değerleri tespit etmişlerdir. Ramanan ve diğerleri (2016) algleri fosforik asitli ortamda KNN eldesi için kullanmış ve %13’lük KV değeri elde etmiştir. Başoğlu ve diğerleri (2020) sulu ortamda leblebi tozu kullanarak elde ettiği KNN’ler için %1.8’lik KV değeri bildirmiştir. KV değeri olarak Dager ve diğerleri (2020) %5 değerini bildirdikleri çalışmalarında KNN elde etmek için toz haline getirilmiş çemen otu tohumu kullanmıştır. Tejwan ve diğerleri (2021) kırmızı Kore ginsenginin kök ekstraktlarından KV değeri %8 olan KNN elde etmişlerdir. MPY ile kimyasallar kullanılarak elde edilen KNN’lerdeki KV değerlerine örnek olarak T. Liu ve diğerleri (2017) sitrik asit ve tiyoüre kullanarak %23.6’lık KV değeri elde etmişlerdir. Y. Wang ve diğerleri (2015) sulu ortamda ditiyooksamid kullanarak KV değeri %17.6 olan KNN sentezi gerçekleştirmiştir. W. Lu ve diğerleri (2015) malik asit ve etanolamin kullanarak elde ettikleri KNN’ler için %15’lik bir KV değeri bulmuştur. W. Lu ve diğerleri

(2015) bir başka çalışmalarında ise oksalik asit ve üre kullanarak KNN elde etmiş ve KV değeri olarak %29 bildirmiştir.

Tablo 17. KNN sentez yöntemleri ve KNN KV'leri

Materyal	Yöntem	KV (%)	Referans
Pamelo kabuğu	HY	6.9	(W. Lu vd., 2012)
Bambu yaprakları	HY	7.1	(Y. Liu vd., 2014)
Portakal perikarpları	HY	2.9	(W. Du vd., 2015)
Kişniş yaprağı	HY	6.48	(Sachdev & Gopinath, 2015)
Sarımsak	HY	17.5	(S. Zhao vd., 2015)
Keten tohumu	HY	14.2	(Y. Song vd., 2018)
Arpa	HY	14.4	(Xie vd., 2019)
Havuç suyu	HY	5.2	(Y. Liu vd., 2017)
Tulsi yaprakları	HY	3.06	(S. Bhatt vd., 2018)
Kırmızı mercimek	HY	13.2	(Khan vd., 2019)
Glisin ve 2,4-diflorobenzoilasetonitril	HY	20.5	(Guo vd., 2020)
Jelatin ve 3-aminobenzenboronik (mavi KNN)	HY	46.6	(Y. Wang vd., 2018)
Jelatin ve 3-aminobenzenboronik (kırmızı KNN)	HY	21.4	(Y. Wang vd., 2018)
Riboflavin + sitrat	HY	25.1	(L. Yuan vd., 2023)
Sitrik asit + ditiyooksamid	HY	17.6	(Y. Wang vd., 2015)
Sitrik asit + Hegzametilentetramin	HY	17	(J. Schneider vd., 2017)
Ginkgo yaprakları	PY	21.7	(W. Li vd., 2018)
Rezene tohumu	PY	9.5	(Dager vd., 2019)
Pirinç taneleri	PY	24	(Kalita vd., 2016)
Buz-biryani	PY	41	(Anthony vd., 2020)
Sitrik asit + Polietilendiamin	PY	42.5	(L. Zhao vd., 2014)
Sitrik asit + 1-Aminopropil-3-metil-imidazolyum bromür	PY	27.7	(B. Wang vd., 2015)
Maleik anhidrit + trietilenetetramin + nitrik asit	PY	6.3	(Supchocksoonthorn vd., 2021)
Polietilen glikol	PY	16	(Gogoi & Chowdhury, 2020)
<i>Acacia concinna</i> tohumları + metanol	MDY	10.2	(Bhamore vd., 2018)
<i>Acacia concinna</i> tohumları + asetonitril	MDY	7.2	(Bhamore vd., 2018)
<i>Acacia concinna</i> tohumları + aseton	MDY	7.9	(Bhamore vd., 2018)
Alg + fosforik asit	MDY	13	(Ramanan vd., 2016)
Leblebi + su	MDY	1.8	(Başoğlu vd., 2020)
Çemen otu tohumu + su	MDY	5	(Dager vd., 2020)
Kırmızı Kore ginsenginin kök ekstraktları	MDY	8	(Tejwan vd., 2021)
Sitrik asit + tiyoüre	MDY	23.6	(T. Liu vd., 2017)
Sitrik asit + Üre	MDY	0.13	(Niu vd., 2013)
Ditiyooksamid + su	MDY	17.6	(Y. Wang vd., 2015)
Malik asit + etanolamin	MDY	15	(W. Lu, Gong, Nan, vd., 2015)
Oksalik asit + üre	MDY	29	(W. Lu, Gong, Yang, vd., 2015)
At keşanesi	PY	25.9	Bu çalışma
At keşanesi	HY	18.6	Bu çalışma
At keşanesi	MPY	46.6	Bu çalışma

Tez kapsamında geliştirdiğimiz metot ile elde ettiğimiz M-KNN'lerin hem PY, HY ve MDY ile biyokütle ve biyoatık kullanılarak elde edilen KNN'lerden daha yüksek KV'ye sahip olduğu ve aynı zamanda KNN eldesi için başlangıç materyali olarak kullanılan kimyasal öncüller ile elde edilen KNN'ler kadar yüksek KV'ye sahip olduğu görülmüştür.

KV açısından ele alındığında geliştirdiğimiz yöntemin diğer yöntemlere göre avantajlı olduğu görülmüştür.

4.7. Floresans Sönüm Mekanizması

Florofor bir madde ile etkileşim dinamik söndürme, statik söndürme, floresans rezonans enerji transferi (FRET), iç dönüşüm etkisi (IFE) ve iç filtre etkisi gibi bazı söndürme mekanizmaları ile sonuçlanabilir (Abd Elhaleem vd., 2022; Shabbir vd., 2023). Yapılan spektrofotometrik titrasyonlar sonucunda KNN'lerin tartrazin ile etkileşiminde floresans sönümünün olduğu belirlenmiştir. Bu sönümlemenin olası mekanizmasını belirlemek için sistemde Stern-Volmer ilişkisi olup olmadığı araştırıldı. Denklem (1)'de görülen bu ilişki, bir floroforun bir söndürücü tarafından söndürülmesinin etkinliğini ifade eder ve söndürme mekanizmasının anlaşılmasına yardımcı olur (R. F. Chen, 2020).

F_0 ve F , sırasıyla söndürücünün yokluğunda ve varlığında floresans şiddetleridir. K_{SV} , Stern-Volmer söndürme sabitini gösterir. $[Q]$ söndürücü konsantrasyonudur. Söndürme mekanizması Stern-Volmer denkleminde uyuyorsa, F_0/F 'ye karşı $[Q]$ grafiği, eğimi K_{SV} ve y eksenini kesim noktası 1 olan bir doğru verecektir. Şekil 30 tartrazin-MKNN sistemi için sıcaklığın Stern-Volmer grafikleri üzerine etkisini göstermektedir. Şekil 30'dan görüldüğü gibi grafiklerin y-eksenini kesim noktası Denklem (1)'den beklendiği gibi yaklaşık 1'den geçmektedir. Bu sonuç tartrazin-MKNN sistemi için Stern-Volmer ilişkisinin geçerli olduğunu göstermektedir. Şekil 30'dan ayrıca F_0/F değerinin artan tartrazin konsantrasyonu ve artan sıcaklıkla doğrusal olarak arttığı da görülmektedir. Bu sonuçlar tartrazinin M-KNN ile etkileşiminin uyarılmış hal basamağında gerçekleştiğini ve dolayısıyla sistemde dinamik sönümün var olduğunu ifade etmektedir. Dinamik söndürme bir tür çarpışmalı söndürmedir ve artan sıcaklıkla söndürme verimliliği artar (Cha & Park, 1998). Şekil 30'da görüldüğü gibi sıcaklık 297 °K'den 353 °K'e kadar yükseldiğinde daha yüksek F_0/F değerleri elde edilmektedir ve bu sonuç sistemde dinamik sönümlemenin olduğunu doğrulamaktadır. Tartrazin ile M-KNN'nin spektrofotometrik titrasyonu sırasında yapılan pH ölçümü çalışmalarında artan tartrazin konsantrasyonu ile pH'de değişiklik olmaması etkileşim sırasında herhangi bir proton atımının olmadığını göstermiştir (Şekil 35). Bu sonuç etkileşimin bir kompleks oluşumu üzerinden olmadığını, yani statik bir sönümlemenin mevcut olmadığını da göstermektedir. Bütün bu verilerden tartrazin-M-KNN etkileşiminin dinamik bir sönüme dayalı olduğu söylenebilir.

4.8. Önerilen Yöntemin Literatürdeki Yöntemlerle Karşılaştırılması

Gıda güvenliğini sağlamak için, gıdalardaki katkı maddelerinin tespitine yönelik etkili ve uygun analitik yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir (H. Yang, Ran, vd., 2018).

Gıda analizlerinde kullanılan Kütle spektrometresi ve kromatografiye dayalı enstrümantal tespit teknikleri, ağır metaller, patojenler, katkı maddeleri ve daha fazlası dahil olmak üzere çeşitli hedefleri tespit etmek için çok etkili ve hassas yöntemlerdir (Arias Velasco vd., 2021).

Gıdaların tartrazin içeriğini tespit etmek için yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) (Alves vd., 2008; De Andrade vd., 2014; de Araújo Siqueira Bento vd., 2015; Khanavi vd., 2012; W. J. Li vd., 2013; K. Ma vd., 2015; Seyhan, 2006), ince tabaka kromatografisi (TLC) (Cobzac vd., 2012; Kartsova vd., 2009; Soponar vd., 2008; T. X. Tang vd., 2015), elektrokimyasal yöntemler (Gan vd., 2012; Y. P. Sun vd., 2006; J. Wang vd., 2012b; W. Zhang vd., 2009), kapiler elektroforez (Dossi, Piccin, vd., 2007; Dossi, Toniolo, vd., 2007; H. Y. Huang vd., 2002; Jager vd., 2005; Pérez-Urquiza & Beltrán, 2000) ve spektrofotometri (Ali vd., 2020; Altıniğne, 1999; Antakli vd., 2015; Capitán-Vallvey vd., 1997; Lawal vd., 2020; Vidotti vd., 2005) gibi çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Ancak bu tür yöntemler genellikle nispeten pahalı büyük ölçekli analitik cihazlar ve karmaşık numune hazırlama süreçleri gerektirmekte olup, tespit hızı, gerçek zamanlı ve yerinde analiz konusunda eksiklik göstermektedirler (Arias Velasco vd., 2021).

Bu geleneksel tespit yöntemlerinin bu dezavantajlarına bir çözüm olarak, spektrofotometri, yüksek hassasiyeti, uygun seçiciliği ve geniş doğrusallık aralığı sayesinde tartrazin tayini yapmak için hızlı, basit ve etkili bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Tartrazin tayini için basit, hızlı, hassas ve seçici floresans problar geliştirmenin önemi artmaktadır (H. Yang, Ran, vd., 2018).

Tartrazin tespiti için çok sayıda floresans prob üretilmiştir (Gholipour & Rahmani, 2023a; Gümrükçüoğlu vd., 2020; L. He & Du, 2023; Z. Huang vd., 2021; L. Jiang vd., 2022; Korah vd., 2023; Q. Li vd., 2022; L. Lin vd., 2022; H. Liu vd., 2022; Mohanta vd., 2023; Ng vd., 2021b; X. Peng vd., 2022; Shaik vd., 2022; H. Xu vd., 2015; H. Yang, Ran, vd., 2018; X. Yang vd., 2017; X. Yang, Xu, vd., 2020).

Tez kapsamında geliştirdiğimiz MPY ile elde ettiğimiz KNN'ler aracılığı ile gerçekleştirdiğimiz tartrazin tayininde elde ettiğimiz GS'nin (0.02 mg/L) (Tablo 8) literatürde belirtilmiş farklı tartrazin tayin metotları ile elde edilen gözlenebilir sınırları ile

boy ölçülebilecek nitelikte olduğu görülmektedir. Khanavi ve diğerleri (2012) HPLC ile gerçekleştirdikleri tartrazin tayininde GS 0.05 mg/L olarak tespit etmişlerdir. Bu değer geliştirdiğimiz metotla gerçekleştirdiğimiz tayine göre 2.5 kat daha yüksek olup yöntemimizin 2.5 kat daha hassas olduğunu göstermektedir. HPLC ile yapılan bir başka analizde Alves ve diğerleri (2008) sentetik gıda boya katkılarının tespiti için yaptıkları çalışmada tartrazin tayini için 0.04'lük bir GS belirtmişlerdir.. Geliştirdiğimiz metoda göre 2 kat yüksek olan bu gözlenebilme değerinin hassasiyet açısından ise 2 kat daha az hassas olduğu görülmektedir. Seyhan (2006) tartrazinin HPLC yöntemi ile tayini çalışmasında GS olarak 1.1 mg/L değerini aktarmıştır. Bu değer geliştirdiğimiz metoda oranla 55 kat daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu yükseklik aynı zamanda hassasiyetin de 55 kat daha düşük olduğunun da göstergesi olmuştur. Vlassa ve diğerleri (2024) HPLC kullanarak iki farklı yöntemle gerçekleştirdikleri tartrazin tayininde GS değerlerini 0.85 mg/L ve 0.14 mg/L olarak belirtmişlerdir. Bu değerler gerçekleştirdiğimiz tartrazin tayininin GS değerine oranla sırasıyla 42.5 ve 7 kat daha yüksek olup aynı oranda da daha az hassas olduğunu göstermektedir. Fiorito ve diğerleri (2023) yeşil renkli yiyecekler ve içeceklerde tartrazin ve brilliant blue gıda boyalarının ayırımı ve miktar tayini çalışmasında HPLC ile tartrazin için GS olarak 0.23 mg/L değerini bildirmişlerdir. Bu değer çalışmamızda tespit ettiğimiz GS değerinden 11.5 kat daha büyük olup çalışmamızın daha hassas olduğunun bir göstergesi olmuştur. Agbokponto ve diğerleri (2022) gerçekleştirdikleri alkolsüz içeceklerde tartrazin ve gün batımı sarısının HPLC-UV Vis ile eş zamanlı tayini çalışmasında tartrazin için GS değeri olarak 0.03 mg/L değerini saptamışlardır. Bu GS değeri geliştirdiğimiz metoda nazaran 1.5 kat daha yüksek olup aynı oranda daha az hassas olduğu görülmektedir. Rana ve diğerleri (2020) tartrazin tayini için geliştirdikleri ters fazlı HPLC metodu ile 0.1 mg/L değerinde GS değeri elde etmişlerdir. Bu değer geliştirdiğimiz metot ile tespit ettiğimiz GS değerinden 5 kat daha yüksek olduğu görülmektedir. Aynı zamanda hassaslık açısından geliştirdiğimiz metodun 5 kat daha hassas olduğu anlaşılmaktadır. Li ve diğerleri (2013) HPLC cihazı için Poli(N-izopropilakrilamid-ko-N,N0-metilen bisakrilamid) ile hazırladıkları monolitik kolonu kullanarak gerçekleştirdikleri yapay gıda boyaları tayininde tartrazin için 0.01 mg/L GS bildirmişlerdir. Bu değer çalışmamız sonucu elde ettiğimiz değerin yarısı kadardır. Ma ve diğerleri (2006) sentetik gıda boyaları için yaptıkları çalışmada HPLC ile tartrazin tayini için yaklaşık 0.002 mg/L'lik bir GS değeri bildirmişlerdir. Bu değer tez kapsamında geliştirdiğimiz metottan 10 kat daha düşük olduğu görülmüştür. Benzer bir GS değeri de Pirvu ve diğerleri (2020) tarafından bildirilmiştir.

Doğrudan enjeksiyon HPLC-DAD tekniği kullanılarak brilliant blue, günbatımı sarısı ve tartrazin gıda boyalarının çevresel numunelerde tespitini gerçekleştirdikleri çalışmada 0.002 mg/L'lik bir GS bildirmişlerdir (Pirvu vd., 2020).

HPLC ile yapılan bu çalışmalarda elde edilen GS değerleri ile tez kapsamında gerçekleştirdiğimiz çalışmada elde edilen GS değerini karşılaştırdığımızda, çalışmamızın üstün olduğu çalışmalar olduğu gibi çalışmamızdan daha iyi sonuçlar veren HPLC çalışmaları mevcut olduğu da görülmüştür. Her ne kadar geliştirdiğimiz metot kimi çalışmadan üstün kimi çalışmadan zayıf olsa da HPLC cihazının pahalı, zor işlemler gerektiren, özel uzmanlık gerektiren, sarf kimyasallara ihtiyaç duyan ve atık kimyasal üreten bir metot olduğu göz önünde bulundurulduğunda tez kapsamında geliştirdiğimiz metodun tüm yönleriyle üstün bir metot olduğu söylenebilir.

Literatürde tartrazin tayini için kullanılan bir diğer yöntem olan TLC ile yapılan çalışmalara bakıldığında Kartsova ve diğerleri (2009) sentetik gıda boyalarının tayini için kullandıkları metotta tartrazin için GS değerini 0.1 mg/L olarak tespit etmişlerdir. Tespit edilen bu değer tez kapsamında geliştirdiğimiz metoda göre 5 kat daha az hassas olduğu görülmektedir. Tuzimski ve Woźniak (2008) içeceklerdeki gıda boyalarını araştırdıkları çalışmada 12.6 mg/L'lik bir GS değeri elde etmişlerdir. Bu değer geliştirdiğimiz metot ile elde ettiğimiz değerden yaklaşık olarak 630 kat daha büyük olup aynı oranda dezavantajlıdır (Tuzimski & Woźniak, 2008).

Tartrazin molekülünün dahil olduğu azo bileşiklerin elektrokimyasal metotlarla gıda analizinde kullanıldığı bilinmektedir (Darabi & Shabani-Nooshabadi, 2021). Suma ve diğerleri (2019) içeceklerde tartrazin için GS değerini 5.7 mg/L, Tahtaişleyen ve diğerleri (2020) portakal suyu içeriğindeki tartrazin miktarını belirledikleri çalışmalarında GS değerini 0.82 mg/L, Manjunatha (2018) GS değerini 0.15 mg/L, Sierra-Rosales ve diğerleri (2017) alkolsüz içeceklerde tartrazin tayini için GS değerini 0.12 mg/L, J.-H. Wu ve Lee (2020) spor içeceklerinde bulunan tartrazin için yaptıkları çalışmada GS değerini 0.03 mg/L olarak tespit etmişlerdir. Bu değerler tez kapsamında geliştirdiğimiz metodun GS değerine oranla sırasıyla 285 kat, 41 kat, 7.5 kat, 6 kat ve 1.5 kat daha yüksek olup geliştirdiğimiz yönteme göre aynı oranda daha az hassas olduğu görülmektedir.

Kapiler elektroforez sentetik gıda boyalarının tayininde kullanılan tekniklerden biridir (Prado vd., 2006). Prado ve diğerleri (2006) alkollü içeceklerdeki sentetik boyaları kapiler elektroforezle analizinde tartrazin için GS değerini 2.0 mg/L olarak tespit etmişlerdir. Pérez-Urquiza ve Beltrán (2000) kapiler elektroforez ile gıda maddelerinde gıda boya tayini

gerçekleştirdikleri çalışmada tartrazin için 1.3 mg/L'lik bir GS değeri bildirmişlerdir. H.-Y. Huang ve diğerleri (2003) gıda renklendiricilerinin kapiler elektroforez ile analizinde tartrazin için GS değerini 0.19 mg/L olarak tespit etmişlerdir. F.-J. Liu ve diğerleri (2015) solidfaz mikroekstraksiyon ve kapiler elektroforez yöntemi ile içeceklerdeki gıda boyalarını inceledikleri çalışmada tartrazin tayini için GS değerini 0.072 olarak tespit etmişlerdir. J. Yi ve diğerleri (2018) tartrazin tayini için 0.045 mg/L'lik GS değeri bildirmişlerdir. Rodriguez ve diğerleri (2016) su örneklerindeki azo boyaların tayini için yaptıkları çalışmada tartrazin için GS değerini 2.0 mg/L olarak bildirmişlerdir. Tartrazin tayini için literatürde önerilen yöntemlerden biri olan kapiler elektroforez yöntemi ile tez kapsamında geliştirdiğimiz yöntemin GS değerlerini karşılaştırdığımızda yaklaşık 10 ila 100 kat daha yüksek GS değerlerinin varlığını görmekteyiz. Kapiler tüpün iç çapı dar olduğu için kapiler elektroforez yönteminde düşük numune kapasitesi ile çalışmak zorunda kalındığı bu durumun da kapiler elektroforez yöntemin GS'nin diğer yöntemlere göre daha yetersiz olmasına sebep olduğu bildirilmiştir (H. Y. Huang vd., 2002). Bununla birlikte GS değerinin geliştirdiğimiz yöntemin GS değerine oranla yaklaşık 2 ila 4 kat GS değerine sahip kapiler elektroforez değerleri görülmüştür. Bu değerler kapiler elektroforez tekniğinin katı faz mikro ekstraksiyon gibi başka tekniklerle birleştirilerek uygulandığında elde edilen değerler olduğu görülmektedir. Bu işlemler hem analiz süresini uzatmakta hem de kimyasal madde sarfiyatına ve atık kimyasal maddelerin ortaya çıkmasına sebep olması açısından tez kapsamında geliştirdiğimiz florometrik yöntemle göre dezavantajlı olduğu söylenebilir.

Literatürde gıda numuneleri ve çevresel numunelerde sentetik boyaların tayini için kullanılan bir başka enstrümental yöntem spektrofotometrik yöntemdir (Antakli vd., 2015). Soylak ve Uzcan (2020) tartrazin tayini için önerdikleri metotta mikroekstraksiyon sonrasında spektrofotometre ile tartrazin için GS değerini 0.084 mg/L olarak bildirmişlerdir (Soylak & Uzcan, 2020). Bu analiz her ne kadar spektrofotometre ile gerçekleştirilmiş olsa da hem mikroekstraksiyon gibi bir ön işlem gerektirmesi hem de yaklaşık 4.5 kat yüksek olan GS değeri göz önüne alındığında tez kapsamında geliştirdiğimiz metoda göre daha dezavantajlı olduğu görülmektedir. R. Li ve diğerleri (R. Li vd., 2020) destek olarak β -siklodekstrin polimeri kullanılarak alkolsüz içeceklerde tartrazinin doğrudan katı faz spektrofotometrik tayini çalışmasında GS değerini 0.04 mg/L olarak tespit etmişlerdir. Tez kapsamında geliştirdiğimiz metoda göre 2 kat fazla GS değerine yani 2 kat daha az hassas olmasının yanında katı faz ekstraksiyonu gibi bir ön işlem ve β -siklodekstrin polimeri gerektirmesi yüzünden daha dezavantajlı bir yöntem olduğu anlaşılmaktadır. Ali ve diğerleri

(2020) tartrazinin meşrubat tozunda spektrofotometrik tayininde GS değerini 1.910 mg/L olarak bildirmişlerdir. Bu spektrofotometrik yöntem tez kapsamında geliştirdiğimiz yönteme nazaran yaklaşık 95 kat daha az hassastır. Rodríguez ve diğerleri (2015) ticari içeceklerde tartrazin tayini için katı faz ekstraksiyonu uyguladıktan sonra spektrofotometri ile gerçekleştirdikleri tartrazin tayininde GS değeri olarak 1 mg/L bildirmişlerdir. Bu yöntem hem katı faz ekstraksiyonu gibi bir ön işlem gerektirmesi hem de 50 kat daha az hassas olmasıyla tez kapsamında geliştirdiğimiz yönteme göre daha dezavantajlıdır. Antaklı ve diğerleri (2015) spektrofotometrik metotla gerçekleştirdikleri tartrazin tayini için GS değerini 0.12 mg/L olarak bildirmişlerdir. Bu metodun yaklaşık 6 kat daha yüksek GS değerine sahip olduğu görülmektedir. Altınığne (1999) voltametrik ve spektrofotometrik metot karşılaştırması çalışmasında tartrazin için 0.8 mg/L değerinde GS elde etmiştir. Altınöz ve Toptan (2002) spektrofotometrik yöntemle tartrazin tayini için 0.1 mg/L'lik GS değeri bildirmişlerdir. Kara (2005) içeceklerdeki tartrazin içeriğini tayin etmek için uyguladığı spektrofotometrik yöntemle GS değerini 0.32 mg/L olarak tespit etmiştir. Saleh ve diğerleri (2016) (2016) ticari yiyeceklerde tartrazin tayini için uyguladıkları yöntemde iki farklı reaktif kullanıp 0.101 mg/L ve 0.355 mg/L olmak üzere iki farklı GS değeri elde etmiştir. Tartrazin tayini için spektrofotometrik yöntemler incelendiğinde Katı faz ekstraksiyon ve mikro ekstraksiyon gibi ön işlemler uygulanan yöntemlerin GS değerlerinin ön işlem uygulanmayan yöntemlere göre daha düşük GS değerine sahip olduğu görülmektedir. Tez kapsamında geliştirilen metot hem ön işlem gerektirmemesi hem de daha düşük GS değerine sahip olduğu için spektrofotometrik yönteme göre daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Floresan spektroskopisi, kullanım kolaylığı, yüksek hassasiyet ve rahatlığı, hızlı yanıt vermesi ve pahalı ekipmanlardan bağımsız olması nedeniyle tartrazin analizi için güçlü bir araç olarak geniş ilgi görmüştür (Y. Zhao vd., 2023). Gün (2019) pirazol türevleri kullanarak gerçekleştirdiği tartrazin tayininde GS değerini 9 mg/L olarak saptamıştır. D. Li ve diğerleri (2024) tartrazin tayini için koordinasyon polimerleri kullandıkları çalışmasında GS değerini 0.05 olarak bildirmişlerdir. L. Lin ve diğerleri (2022) organik nanopartiküller ile gerçekleştirdikleri tartrazin tayininde GS değerini 0.29 mg/L olarak bildirmişlerdir. X. Yang ve diğerleri (2020) içeceklerdeki tartrazin miktarını tespit etmek için önerdikleri yöntem için GS değerini 0.03 olarak bildirmişlerdir. Zulfajri ve diğerleri (2023) atık durian tohumlarından elde ettikleri KNN'ler ile gerçekleştirdikleri tartrazin tayininde 0.03 mg/L'lik GS değeri elde etmişlerdir. Ghareghlou ve diğerleri (2021) HY ile sentezlediği KNN'ler ile

tartrazin tayini için 0.05 mg/L'lik GS değeri tespit etmişlerdir. Jhon ve diğerleri (2023) azot ve kükürt dope KNN'ler ile tartrazin tayini için 0.04 mg/L değerinde GS bildirmişlerdir. Q. Li ve diğerleri (2022) tartrazin tayini için 0.24 mg/L GS bildirmişlerdir. Gümrükçüoğlu ve diğerleri (2020) 0.10 mg/L'lik GS bildirmişlerdir. KNN'ler kullanılarak yapılan Spektrofluorometrik tartrazin tayini için yapılan diğer çalışmalar Tablo 18'de belirtilmiştir. Bu çalışmaların GS değerleri incelendiğinde tez kapsamında geliştirdiğimiz yöntemle göre daha az hassas tartrazin tayini yapıldığı çalışmalar olduğu gibi benzer hassaslıkta yapılmış çalışmalar da mevcuttur. Üstelik sadece tez kapsamında geliştirdiğimiz MPY yönteminin dışında at kestanesi ile PY ve HY ile elde ettiğimiz GS değerleri de benzer niteliktedir.



Tablo 18. Tartrazin tayini için yöntemlerin duyarlılığının karşılaştırılması

Metot	GS (mg/L)	Referans
HPLC	0.05	(Khanavi vd., 2012)
HPLC	0.04	(Alves vd., 2008)
HPLC	1.1	(Seyhan, 2006)
HPLC	0.85	(Vlassa vd., 2024)
HPLC	0.14	(Vlassa vd., 2024)
HPLC	0.23	(Fiorito vd., 2023)
HPLC	0.03	(Agbokponto vd., 2022)
HPLC	0.10	(Rana vd., 2020)
HPLC	0.01	(W. J. Li vd., 2013)
HPLC	0.002	(M. Ma vd., 2006)
HPLC	0.002	(Pirvu vd., 2020)
TLC	0.10	(Kartsova vd., 2009)
TLC	12.60	Tuzimski & Woźniak, 2008)
Elektrokimyasal metotlar	5.70	(Suma vd., 2019)
Elektrokimyasal metotlar	0.82	(Tahtaisleyen vd., 2020)
Elektrokimyasal metotlar	0.15	(Manjunatha, 2018)
Elektrokimyasal metotlar	0.12	(Sierra-Rosales vd., 2017)
Elektrokimyasal metotlar	0.03	(J. H. Wu & Lee, 2020)
Kapiler elektroforez	2.0	(Prado vd., 2006)
Kapiler elektroforez	1.30	(Pérez-Urquiza & Beltrán, 2000)
Kapiler elektroforez	0.19	(H.-Y. Huang vd., 2003)
Kapiler elektroforez + Katıfaz mikro ekstraksiyon	0.07	(F.-J. Liu vd., 2015)
Kapiler elektroforez + temassız iletkenlik tespiti	0.04	(J. Yi vd., 2018)
Kapiler elektroforez	2.0	(Rodriguez vd., 2016)
Spektrofotometri + mikroekstraksiyon	0.08	(Soylak & Uzcan, 2020)
Spektrofotometri + katı faz ekstraksiyon	0.04	(R. Li vd., 2020)
Spektrofotometri	1.91	(Ali vd., 2020)
Spektrofotometri + katı faz ekstraksiyon	1.0	(Rodríguez vd., 2015)
Spektrofotometri	0.12	(Antakli vd., 2015)
Spektrofotometri	0.8	(Altıniğne, 1999)
Spektrofotometri	0.32	(Kara, 2005)
Spektrofotometri (bakır(II) reaktifi)	0.10	(Saleh vd., 2016)
Spektrofotometri (KMnO ₄ reaktifi)	0.35	(Saleh vd., 2016)
Spektroflorometri	9.00	(Gün, 2019)
Spektroflorometri	0.05	(D. Li vd., 2024)
Spektroflorometri	0.29	(L. Lin vd., 2022)
Spektroflorometri	0.03	(X. Yang, Xu, vd., 2020)
Spektroflorometri	0.03	(Zulfajri vd., 2023)
Spektroflorometri	0.05	(Ghereghlou vd., 2021)
Spektroflorometri	0.04	(John vd., 2023)
Spektroflorometri	0.24	(Q. Li vd., 2022)
Spektroflorometri	0.10	(Gümrükçüoğlu vd., 2020)
Spektroflorometri	0.02	(L. Jiang vd., 2022)
Spektroflorometri	0.03	(Korah vd., 2023)
Spektroflorometri	0.04	(H. Xu vd., 2015)
Spektroflorometri	0.11	(Chatzimitakos vd., 2017)
Spektroflorometri	1.38	(Gholipour & Rahmani, 2023b)
Spektroflorometri	0.02	(Shaik vd., 2022)
Spektroflorometri	0.10	(Mohanta vd., 2023)
Spektroflorometri	0.26	(L. He & Du, 2023)
Spektroflorometri	0.03	Bu çalışma (P-KNN)
Spektroflorometri	0.03	Bu çalışma (H-KNN)
Spektroflorometri	0.02	Bu çalışma (M-KNN)

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sunulan bu çalışmada mevcut aşağıdan-yukarıya KNN sentez metotlarına ek olarak söz konusu yöntemlere göre enerji tüketimi açısından daha çevreci ve daha avantajlı bir KNN sentez yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemle mevcut aşağıdan yukarıya sentez yöntemlerinin avantajlı yönleri alınıp dezavantajlı yönleri devre dışı bırakılarak daha kısa sürede, başlangıç maddesi olarak doğada bol olarak bulunan atık niteliğindeki maddeleri kullanarak, daha az enerji tüketecek bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntemle hem doğada sıklıkla bulunan hem de peyzaj düzenlemelerinde sıklıkla kullanılan at kestanesi ağacının aynı isimli tohumları kullanılarak ekonomik karbon KNN sağlandı. Sentezlenen KNN'ler analitik amaçla kullanılarak toksik etkileri olan gıda boyası tartrazin tayini gerçekleştirildi. Yeni geliştirilen MPY ile yapılan tartrazin analizi sonuçları ile karşılaştırma yapılan HY ve PY ile elde edilen KNN'lerle yapılan tartrazin tayininde birbirine çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Böylelikle yeni geliştirilen M-KNN analitik sonuçları ile mevcut yöntemler olan HY ve PY ile aynı analitik sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sonuçlar MPY'nin hem KNN sentezi için kullanılabileceği ve hem de elde edilen KNN'lerin analitik amaçlı kullanılabileceğini göstermiştir.

Tez kapsamında sunulan çalışmada geliştirilen yeni çevreci alternatif bir yöntem olan M-KNN analitik amaçlı kullanılabilirliğini karşılaştırmak amacı ile tez kapsamında uygulanan 3 farklı yöntem ile elde edilen KNN'lerin ortak olarak etkileşimde bulunduğu toksik etkileri bulunan azo gıda boyası tartrazin seçilmiştir. Geliştirilen bu metot aşağıdan-yukarı metotlar olan PY ve HY ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma amacı ile öncelikle granül toz içecek için tartrazin analizi yapılmış ve üç farklı yöntem ile elde edilen KNN'ler ile gerçekleştirilen tartrazin tayini için analitik performans verilerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür (Tablo 6). Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında tez kapsamında geliştirdiğimiz M-KNN P-KNN ve H-KNN'ler yerine tartrazin tayininde kullanılabileceği kanıtlanmıştır.

Tez kapsamında geliştirdiğimiz bu yöntemle çevre ve insan sağlığını tehdit eden ağır metaller, pestisitler gibi zararlı kimyasalların çevresel numunelerde varlığının ve miktarının hızlı güvenilir bir şekilde tespit edilerek, gereken önlemlerin alınması için gerekli olan bilimsel veriler elde edilmesi sağlanacaktır. Ayrıca son yıllarda giderek büyüyen gıda endüstrisinde özellikle de hayvansal ürünlerin üretilmesi sırasında yüksek verim elde etmek

için kullanılan antibiyotik, anti paraziter, antienflamatuvar ve hormon gibi veteriner ilaçlarının et, süt, yumurta, bal vb. rnlerin piyasaya sürülmeden önce hızlı ve güvenilir olarak saptanması sağlanabilecek ve insan sağlığının korunması amacına hizmet edebilecektir. Bunların yanında tez kapsamında gerçekleştirdiğimiz gıda boyası tayini yanında diğer gıda katkılarının tespitinde kullanılabilecektir.



6. KAYNAKLAR

- Abd Elhaleem, S. M., Elsebaei, F., Shalan, S., & Belal, F. (2022). Utilization of N,S-doped carbon dots as a fluorescent nanosensor for determination of cromolyn based on inner filter effect: application to aqueous humour. *Luminescence*, 37(5), 713–721. <https://doi.org/10.1002/bio.4212>
- Abdul Manaf, S. A., Hegde, G., Mandal, U. K., Wui, W. T., & Roy, P. (2017). Functionalized carbon nano-scale drug delivery systems from biowaste sago bark for cancer cell imaging. *Current Drug Delivery*, 14(8). <https://doi.org/10.2174/1567201813666161017130612>
- Agbokponto, J. E., Kpaibe, A. P. S., Yemoa, L. A., Assanhou, A. G., Ganfon, H., Gbassi, G. K., Aké, M., & Amin, N. C. (2022). Simultaneous determination by HPLC-UV Vis of tartrazine and sunset yellow in soft drinks sold in Benin. *American Journal of Analytical Chemistry*, 13(08), 277–288. <https://doi.org/10.4236/ajac.2022.138019>
- Aggarwal, R., Saini, D., Singh, B., Kaushik, J., Garg, A. K., & Sonkar, S. K. (2020). Bitter apple peel derived photoactive carbon dots for the sunlight induced photocatalytic degradation of crystal violet dye. *Solar Energy*, 197, 326–331. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.01.010>
- Ahmed, G. H. G., Laíño, R. B., Calzón, J. A. G., & García, M. E. D. (2015). Highly fluorescent carbon dots as nanoprobe for sensitive and selective determination of 4-nitrophenol in surface waters. *Microchimica Acta*, 182(1–2), 51–59. <https://doi.org/10.1007/s00604-014-1302-x>
- Aji, M. P., Susanto, Wiguna, P. A., & Sulhadi. (2017). Facile synthesis of luminescent carbon dots from mangosteen peel by pyrolysis method. *Journal of Theoretical and Applied Physics*, 11(2), 119–126. <https://doi.org/10.1007/S40094-017-0250-3>
- Albetran, H. M. (2020). Structural characterization of graphite nanoplatelets synthesized from graphite flakes. *Preprints*, August, 1–8. <https://doi.org/10.20944/PREPRINTS202008.0325.V1>
- Ali, A. A., Hassan, A. M. E., Hussien, M. A., Amin, A. S., & Abdelsalam, A. M. (2020). Spectrophotometric determination of Tartrazine in soft drink powder and pharmaceutical dosage form. *Journal of Basic and Environmental Sciences*, 7, 132–139.
- Altinöz, S., & Toptan, S. (2002). Determination of Tartrazine and ponceau-4R in a various food samples by vierordt's method and ratio spectra first-order derivative UV spectrophotometry. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15(6), 667–683. <https://doi.org/10.1006/jfca.2002.1072>
- Altınığne, N. (1999). Bazı şekerlemeler ve yapay toz içeceklerdeki diazo boyar madde olan sunset yellow FCF ile tartrazin miktar tayinlerinin voltametrik ve spektrofotometrik metod karşılaştırması. *Gıda*, 24(2).

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/gida/issue/6873/92046>

- Alves, S. P., Brum, D. M., Branco de Andrade, É. C., & Pereira Netto, A. D. (2008). Determination of synthetic dyes in selected foodstuffs by high performance liquid chromatography with UV-DAD detection. *Food Chemistry*, 107(1), 489–496. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.054>
- Amchova, P., Kotolova, H., & Ruda-Kucerova, J. (2015). Health safety issues of synthetic food colorants. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 73(3), 914–922. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.09.026>
- Amin, N., Afkhami, A., Hosseinzadeh, L., & Madrakian, T. (2018). Green and cost-effective synthesis of carbon dots from date kernel and their application as a novel switchable fluorescence probe for sensitive assay of Zoledronic acid drug in human serum and cellular imaging. *Analytica Chimica Acta*, 1030, 183–193. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2018.05.014>
- Amith Yadav, H. J., Eraiah, B., Basavaraj, R. B., Nagabhushana, H., Darshan, G. P., Sharma, S. C., Daruka Prasad, B., Nithya, R., & Shanthi, S. (2018). Rapid synthesis of C-dot@TiO₂ core-shell composite labeling agent: Probing of complex fingerprints recovery in fresh water. *Journal of Alloys and Compounds*, 742, 1006–1018. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.12.251>
- Anindita, F., Darmawan, N., & Mas'Ud, Z. A. (2018). Fluorescence carbon dots from durian as an eco-friendly inhibitor for copper corrosion. *AIP Conference Proceedings*, 2014. <https://doi.org/10.1063/1.5054412>
- Antakli, S., Nejem, L., & Katran, S. (2015). Simultaneous determination of tartrazine and brilliant blue in foodstuffs by spectrophotometric method. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 7(6), 214–218.
- Anthony, A. M., Murugan, R., Subramanian, R., Selvarangan, G. K., Pandurangan, P., Dhanasekaran, A., & Sohrab, A. (2020). Ultra-radiant photoluminescence of glutathione rigidified reduced carbon quantum dots (r-CQDs) derived from ice-biryani for in vitro and in vivo bioimaging applications. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 586, 124266. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.124266>
- Anuar Sharuddin, S. D., Abnisa, F., Wan Daud, W. M. A., & Aroua, M. K. (2016). A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy Conversion and Management*, 115, 308–326. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2016.02.037>
- Architha, N., Ragupathi, M., Shobana, C., Selvankumar, T., Kumar, P., Lee, Y. S., & Kalai Selvan, R. (2021). Microwave-assisted green synthesis of fluorescent carbon quantum dots from Mexican Mint extract for Fe³⁺ detection and bio-imaging applications. *Environmental Research*, 199(May), 111263. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111263>
- Arias Velasco, V., Caicedo Chacón, W. D., Carvajal Soto, A. M., Ayala Valencia, G., Granada Echeverri, J. C., & Agudelo Henao, A. C. (2021). Carbon quantum dots based on carbohydrates as nano sensors for food quality and safety. *Starch - Stärke*, 73(11–

- 12), 2100044. <https://doi.org/10.1002/star.202100044>
- Armbruster, D. A., & Pry, T. (2008). Limit of blank, limit of detection and limit of quantitation. *The Clinical biochemist. Reviews*, 29 Suppl 1(Suppl 1), S49-52.
- Arul, V., & Sethuraman, M. G. (2018). Facile green synthesis of fluorescent N-doped carbon dots from *Actinidia deliciosa* and their catalytic activity and cytotoxicity applications. *Optical Materials*, 78, 181–190. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2018.02.029>
- Atchudan, R., Edison, T. N. J. I., Perumal, S., Muthuchamy, N., & Lee, Y. R. (2020). Hydrophilic nitrogen-doped carbon dots from biowaste using dwarf banana peel for environmental and biological applications. *Fuel*, 275. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117821>
- Atchudan, R., Jebakumar Immanuel Edison, T. N., Shanmugam, M., Perumal, S., Somanathan, T., & Lee, Y. R. (2021). Sustainable synthesis of carbon quantum dots from banana peel waste using hydrothermal process for in vivo bioimaging. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 126. <https://doi.org/10.1016/J.PHYSE.2020.114417>
- Atlı Şekeroğlu, Z., Güneş, B., Kondaş Yedier, S., Şekeroğlu, V., & Aydın, B. (2017). Effects of tartrazine on proliferation and genetic damage in human lymphocytes. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 27(5), 370–375. <https://doi.org/10.1080/15376516.2017.1296051>
- Aydın, H. (2016). *Analitik Metotların Geliştirilmesi ve Validasyonu*. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Bajpai, S. K., D'Souza, A., & Suhail, B. (2019). Blue light-emitting carbon dots (CDs) from a milk protein and their interaction with *Spinacia oleracea* leaf cells. *International Nano Letters*, 9(3), 203–212. <https://doi.org/10.1007/s40089-019-0271-9>
- Balakrishnan, T., Ang, W. L., Mahmoudi, E., Mohammad, A. W., & Sambudi, N. S. (2022). Formation mechanism and application potential of carbon dots synthesized from palm kernel shell via microwave assisted method. *Carbon Resources Conversion*, 5(2), 150–166. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2022.01.003>
- Bandi, R., Gangapuram, B. R., Dadigala, R., Eslavath, R., Singh, S. S., & Guttena, V. (2016). Facile and green synthesis of fluorescent carbon dots from onion waste and their potential applications as sensor and multicolour imaging agents. *RSC Advances*, 6(34), 28633–28639. <https://doi.org/10.1039/c6ra01669c>
- Bano, D., Kumar, V., Singh, V. K., & Hasan, S. H. (2018). Green synthesis of fluorescent carbon quantum dots for the detection of mercury(II) and glutathione. *New Journal of Chemistry*, 42(8), 5814–5821. <https://doi.org/10.1039/C8NJ00432C>
- Başoğlu, A. (2014). *Azaflavanon-3-Ol Bileşiği Ile Yeni Bir Spektroflorimetrik Demir Tayini Metodunun Geliştirilmesi*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Başoğlu, A. (2023). Green synthesis of fluorescent carbon dots from *Robinia hispida* L. leaves for selective detection of Hg (II). *Methods and Applications in Fluorescence*,

11(4), 045010. <https://doi.org/10.1088/2050-6120/acf97c>

- Başoğlu, A., Ocak, Ü., & Gümrükçüoğlu, A. (2020). Synthesis of microwave-assisted fluorescence carbon quantum dots using roasted-chickpeas and its applications for sensitive and selective detection of Fe³⁺ Ions. *Journal of Fluorescence*, 30(3), 515–526. <https://doi.org/10.1007/s10895-019-02428-7>
- Basu, A., & Suresh Kumar, G. (2015). Thermodynamics of the interaction of the food additive tartrazine with serum albumins: A microcalorimetric investigation. *Food Chemistry*, 175, 137–142. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.141>
- Bhamore, J. R., Jha, S., Park, T. J., & Kailasa, S. K. (2018). Fluorescence sensing of Cu²⁺ ion and imaging of fungal cell by ultra-small fluorescent carbon dots derived from Acacia concinna seeds. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 277(August), 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.08.149>
- Bhatt, M., Bhatt, S., Vyas, G., Raval, I. H., Haldar, S., & Paul, P. (2020). Water-dispersible fluorescent carbon dots as bioimaging agents and probes for Hg²⁺ and Cu²⁺ ions. *ACS Applied Nano Materials*, 3(7), 7096–7104. <https://doi.org/10.1021/acsanm.0c01426>
- Bhatt, S., Bhatt, M., Kumar, A., Vyas, G., Gajaria, T., & Paul, P. (2018). Green route for synthesis of multifunctional fluorescent carbon dots from Tulsi leaves and its application as Cr(VI) sensors, bio-imaging and patterning agents. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 167, 126–133. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFB.2018.04.008>
- Bhunja, S. K., Saha, A., Maity, A. R., Ray, S. C., & Jana, N. R. (2013). Carbon nanoparticle-based fluorescent bioimaging probes. *Scientific Reports*, 3. <https://doi.org/10.1038/srep01473>
- Bielanski, T. E., & Piotrowski, Z. H. (1999). Horse-chestnut seed extract for chronic venous insufficiency. *The Journal of family practice*, 48(3), 171–172. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd003230.pub4>
- Bourlinos, A. B., Stassinopoulos, A., Anglos, D., Zboril, R., Karakassides, M., & Giannelis, E. P. (2008). Surface functionalized carbogenic quantum dots. *Small*, 4(4), 455–458. <https://doi.org/10.1002/sml.200700578>
- Bressi, V., Balu, A. M., Iannazzo, D., & Espro, C. (2023). Recent advances in the synthesis of carbon dots from renewable biomass by high-efficient hydrothermal and microwave green approaches. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 40, 100742. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100742>
- Brown, M. A., & De Vito, S. C. (1993). Predicting azo dye toxicity. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 23(3), 249–324. <https://doi.org/10.1080/10643389309388453>
- Çağlar, Y. (2014). *Nikel(II) Ftalosiyenin Kompleksi Kullanılarak Demir Tayini İçin Yeni Bir Spektroflorimetrik Metodun Geliştirilmesi*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.

- Cao, L., Wang, X., Meziani, M. J., Lu, F., Wang, H., Luo, P. G., Lin, Y., Harruff, B. A., Veca, L. M., Murray, D., Xie, S. Y., & Sun, Y. P. (2007). Carbon dots for multiphoton bioimaging. *Journal of the American Chemical Society*, 129(37), 11318–11319. <https://doi.org/10.1021/ja0735271>
- Capitán-Vallvey, L. F., Iglesias, N. N., De Orbe Payá, I., & Castaneda, R. A. (1997). Simultaneous Determination of Tartrazine and Sunset Yellow in Cosmetic Products by First-derivative Spectrophotometry. *Mikrochimica Acta*, 126(1), 153–157. <https://doi.org/10.1007/bf01242678>
- Castro, H. P. S., Souza, V. S., Scholten, J. D., Dias, J. H., Fernandes, J. A., Rodembusch, F. S., dos Reis, R., Dupont, J., Teixeira, S. R., & Correia, R. R. B. (2016). Synthesis and characterisation of fluorescent carbon nanodots produced in ionic liquids by laser ablation. *Chemistry – A European Journal*, 22(1), 138–143. <https://doi.org/10.1002/chem.201503286>
- Cha, K. W., & Park, K. W. (1998). Determination of iron(III) with salicylic acid by the fluorescence quenching method. *Talanta*, 46(6), 1567–1571. [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(98\)00032-0](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(98)00032-0)
- Chan, K. K., Yap, S. H. K., & Yong, K.-T. (2019). Solid state carbon dots-based sensor using optical microfiber for ferric ion detection. *2019 IEEE International Conference on Sensors and Nanotechnology*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/SENSORSNANO44414.2019.8940101>
- Chandler, R. F. (2012). Horse chestnut. İçinde *Botanical Medicines* (C. 126, Sayı 6, ss. 699–726). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203048368-31>
- Chatzimarkou, A., Chatzimitakos, T. G., Kasouni, A., Sygellou, L., Avgeropoulos, A., & Stalikas, C. D. (2018). Selective FRET-based sensing of 4-nitrophenol and cell imaging capitalizing on the fluorescent properties of carbon nanodots from apple seeds. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 258, 1152–1160. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.11.182>
- Chatzimitakos, T., Kasouni, A., Sygellou, L., Avgeropoulos, A., Troganis, A., & Stalikas, C. (2017). Two of a kind but different: Luminescent carbon quantum dots from Citrus peels for iron and tartrazine sensing and cell imaging. *Talanta*, 175, 305–312. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.07.053>
- Chatzimitakos, T., Kasouni, A., Sygellou, L., Leonardos, I., Troganis, A., & Stalikas, C. (2018). Human fingernails as an intriguing precursor for the synthesis of nitrogen and sulfur-doped carbon dots with strong fluorescent properties: Analytical and bioimaging applications. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 267, 494–501. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.04.059>
- Chaudhari, S. S., Patil, P. O., Bari, S. B., & Khan, Z. G. (2024). A comprehensive exploration of tartrazine detection in food products: Leveraging fluorescence nanomaterials and electrochemical sensors: Recent progress and future trends. *Food Chemistry*, 433, 137425. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137425>
- Chellasamy, G., Arumugasamy, S. K., Govindaraju, S., & Yun, K. (2022). Green

- synthesized carbon quantum dots from maple tree leaves for biosensing of Cesium and electrocatalytic oxidation of glycerol. *Chemosphere*, 287. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131915>
- Chen, L., & Zhang, J. (2018). Carbon dots with tunable photoluminescence properties. *Proceedings of the 2nd International Conference of Theoretical and Applied Nanoscience and Nanotechnology (TANN'18)*, 129, 1–6. <https://doi.org/10.11159/tann18.129>
- Chen, R. F. (2020). Fluorescence of proteins and peptides. İçinde *Practical Fluorescence, Second Edition* (ss. 575–682). CRC Press.
- Cheng, C., Shi, Y., Li, M., Xing, M., & Wu, Q. (2017). Carbon quantum dots from carbonized walnut shells: Structural evolution, fluorescence characteristics, and intracellular bioimaging. *Materials Science and Engineering C*, 79, 473–480. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.05.094>
- Cheng, C., Xing, M., & Wu, Q. (2019). Preparation of carbon dots with long-wavelength and photoluminescence-tunable emission to achieve multicolor imaging in cells. *Optical Materials*, 88, 353–358. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2018.12.007>
- Chu, K. W., Lee, S. L., Chang, C. J., & Liu, L. (2019). Recent progress of carbon dot precursors and photocatalysis applications. *Polymers*, 11(4), 689. <https://doi.org/10.3390/polym11040689>
- Chunduri, L. A. A., Kurdekar, A., Patnaik, S., Dev, B. V., Rattan, T. M., & Kamisetti, V. (2016). Carbon quantum dots from coconut husk: Evaluation for antioxidant and cytotoxic activity. *Materials Focus*, 5(1), 55–61. <https://doi.org/10.1166/mat.2016.1289>
- Chung, K. T. (2016). Azo dyes and human health: A review. *Journal of Environmental Science and Health - Part C Environmental Carcinogenesis and Ecotoxicology Reviews*, 34(4), 233–261. <https://doi.org/10.1080/10590501.2016.1236602>
- Cobzac, S., Casoni, D., & Pop, D. (2012). Tartrazine determination from mustard sample by TLC-Photodensitometry and TLC-Digital processing of images. *Journal of Planar Chromatography - Modern TLC*, 25(6), 542–547. <https://doi.org/10.1556/JPC.25.2012.6.9>
- Cui, L., Ren, X., Sun, M., Liu, H., & Xia, L. (2021). Carbon dots: Synthesis, properties and applications. *Nanomaterials*, 11(12), 3419. <https://doi.org/10.3390/nano11123419>
- D'Angelis do E. S. Barbosa, C., Corrêa, J. R., Medeiros, G. A., Barreto, G., Magalhães, K. G., de Oliveira, A. L., Spencer, J., Rodrigues, M. O., & Neto, B. A. D. (2015). Carbon dots (C-dots) from cow manure with impressive subcellular selectivity tuned by simple chemical modification. *Chemistry – A European Journal*, 21(13), 5055–5060. <https://doi.org/10.1002/chem.201406330>
- Dager, A., Baliyan, A., Kurosu, S., Maekawa, T., & Tachibana, M. (2020). Ultrafast synthesis of carbon quantum dots from fenugreek seeds using microwave plasma enhanced decomposition: application of C-QDs to grow fluorescent protein crystals.

- Scientific Reports*, 10(1), 12333. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69264-9>
- Dager, A., Uchida, T., Maekawa, T., & Tachibana, M. (2019). Synthesis and characterization of Mono-disperse Carbon Quantum Dots from Fennel Seeds: Photoluminescence analysis using Machine Learning. *Scientific Reports*, 9(1), 14004. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50397-5>
- Dai, J., Zambrana, M., & Fidalgo, M. (2016). Amino-functionalized Fluorescent Carbon Dots for Chemical Sensing. *MRS Advances*, 1(19), 1365–1370. <https://doi.org/10.1557/adv.2016.169>
- Darabi, R., & Shabani-Nooshabadi, M. (2021). NiFe₂O₄-rGO/ionic liquid modified carbon paste electrode: An amplified electrochemical sensitive sensor for determination of Sunset Yellow in the presence of Tartrazine and Allura Red. *Food Chemistry*, 339, 127841. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127841>
- Das, G. S., Shim, J. P., Bhatnagar, A., Tripathi, K. M., & Kim, T. Y. (2019). Biomass-derived Carbon Quantum Dots for Visible-Light-Induced Photocatalysis and Label-Free Detection of Fe(III) and Ascorbic acid. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49266-y>
- Das, M., Thakkar, H., Patel, D., & Thakore, S. (2021). Repurposing the domestic organic waste into green emissive carbon dots and carbonized adsorbent: A sustainable zero waste process for metal sensing and dye sequestration. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106312>
- Das, P., Ganguly, S., Mondal, S., Bose, M., Das, A. K., Banerjee, S., & Das, N. C. (2018). Heteroatom doped photoluminescent carbon dots for sensitive detection of acetone in human fluids. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 266, 583–593. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.03.183>
- Das, R., Bandyopadhyay, R., & Pramanik, P. (2018). Carbon quantum dots from natural resource: A review. *Materials Today Chemistry*, 8, 96–109. <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2018.03.003>
- Dauglas A. Skoog, Donald M. West, F. James Holler, S. R. C. (2011). *Analitik Kimya Temel İlkeler, Sekizinci Baskı, 2. Cilt* (E. Kılıç & H. Yılmaz (ed.); 8. baskı). Bilim Yayıncılık.
- De Andrade, F. I., Florindo Guedes, M. I., Pinto Vieira, Í. G., Pereira Mendes, F. N., Salmito Rodrigues, P. A., Costa Maia, C. S., Marques Ávila, M. M., & De Matos Ribeiro, L. (2014). Determination of synthetic food dyes in commercial soft drinks by TLC and ion-pair HPLC. *Food Chemistry*, 157, 193–198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.100>
- de Araújo Siqueira Bento, W., Lima, B. P., & Paim, A. P. S. (2015). Simultaneous determination of synthetic colorants in yogurt by HPLC. *Food Chemistry*, 183, 154–160. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.050>
- De, B., & Karak, N. (2013). A green and facile approach for the synthesis of water soluble fluorescent carbon dots from banana juice. *RSC Advances*, 3(22), 8286–8290. <https://doi.org/10.1039/c3ra00088e>

- Demchenko, A. P. (2009). Introduction to fluorescence sensing. İçinde *Introduction to Fluorescence Sensing*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9003-5>
- Demchenko, A. P. (2015). Introduction to Fluorescence Sensing. *Introduction to Fluorescence Sensing*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-20780-3>
- Demirbas, A., & Arin, G. (2002). An Overview of Biomass Pyrolysis. *Energy Sources*, 24(5), 471–482. <https://doi.org/10.1080/00908310252889979>
- Demirkol, O., Zhang, X., & Ercal, N. (2012). Oxidative effects of Tartrazine (CAS No. 1934-21-0) and New Coccin (CAS No. 2611-82-7) azo dyes on CHO cells. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 7(3), 229–236. <https://doi.org/10.1007/S00003-012-0782-Z>
- Deng, Z., Liu, C., Jin, Y., Pu, J., Wang, B., & Chen, J. (2019). High quantum yield blue- and orange-emitting carbon dots: One-step microwave synthesis and applications as fluorescent films and in fingerprint and cellular imaging. *Analyst*, 144(15), 4569–4574. <https://doi.org/10.1039/c9an00672a>
- Devi, P., Kaur, G., Thakur, A., Kaur, N., Grewal, A., & Kumar, P. (2017). Waste derivitized blue luminescent carbon quantum dots for selenite sensing in water. *Talanta*, 170, 49–55. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.03.069>
- Devi, P., Rajput, P., Thakur, A., Kim, K. H., & Kumar, P. (2019). Recent advances in carbon quantum dot-based sensing of heavy metals in water. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 114, 171–195. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.03.003>
- Dinç, S. (2017). Kestane balından sentezlenen karbon noktaların tetrasiklin analizinde kullanılabilirliğinin araştırılması. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 17(2), 49–58. <https://doi.org/10.31467/uluaricilik.372241>
- Dong, J., Li, B., Xiao, J., Liu, G., Baulin, V., Feng, Y., Jia, D., Tsivadze, A. Y., & Zhou, Y. (2022). Carbon dots with tailor-made chelating ligands for specific metal ions recognition: Target synthesis and prediction of metal ions selectivity. *Carbon*, 199, 151–160. <https://doi.org/10.1016/J.CARBON.2022.07.035>
- Dong, S., Song, Y., Fang, Y., Zhu, K., Ye, K., Gao, Y., Yan, J., Wang, G., & Cao, D. (2021). Microwave-assisted synthesis of carbon dots modified graphene for full carbon-based potassium ion capacitors. *Carbon*, 178, 1–9. <https://doi.org/10.1016/J.CARBON.2021.02.094>
- Dong, X., Su, Y., Geng, H., Li, Z., Yang, C., Li, X., & Zhang, Y. (2014). Fast one-step synthesis of N-doped carbon dots by pyrolyzing ethanolamine. *Journal of Materials Chemistry C*, 2(36), 7477–7481. <https://doi.org/10.1039/c4tc01139b>
- Dong, Y., Chen, C., Zheng, X., Gao, L., Cui, Z., Yang, H., Guo, C., Chi, Y., & Li, C. M. (2012). One-step and high yield simultaneous preparation of single- and multi-layer graphene quantum dots from CX-72 carbon black. *Journal of Materials Chemistry*, 22(18), 8764–8766. <https://doi.org/10.1039/c2jm30658a>
- dos Santos, J. R., de Sousa Soares, L., Soares, B. M., de Gomes Farias, M., de Oliveira, V.

- A., de Sousa, N. A. B., Negreiros, H. A., da Silva, F. C. C., Peron, A. P., Pacheco, A. C. L., Marques, M. M. M., Gonçalves, J. C. R., Montenegro, R. C., Islam, M. T., Sharifi-Rad, J., Mubarak, M. S., de Melo Cavalcante, A. A. C., & de Castro e Sousa, J. M. (2022). Cytotoxic and mutagenic effects of the food additive tartrazine on eukaryotic cells. *BMC Pharmacology and Toxicology*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s40360-022-00638-7>
- Dossi, N., Piccin, E., Bontempelli, G., Carrilho, E., & Wang, J. (2007). Rapid analysis of azo-dyes in food by microchip electrophoresis with electrochemical detection. *Electrophoresis*, 28(22), 4240–4246. <https://doi.org/10.1002/elps.200700208>
- Dossi, N., Toniolo, R., Pizzariello, A., Susmel, S., Perennes, F., & Bontempelli, G. (2007). A capillary electrophoresis microsystem for the rapid in-channel amperometric detection of synthetic dyes in food. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 601(1–2), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2006.10.019>
- Du, Q., Zheng, J., Wang, J., Yang, Y., & Liu, X. (2018). The synthesis of green fluorescent carbon dots for warm white LEDs. *RSC Advances*, 8(35), 19585–19595. <https://doi.org/10.1039/c8ra02226g>
- Du, W., Xu, X., Hao, H., Liu, R., Zhang, D., Gao, F., & Lu, Q. (2015). Green synthesis of fluorescent carbon quantum dots and carbon spheres from pericarp. *Science China Chemistry*, 58(5), 863–870. <https://doi.org/10.1007/s11426-014-5256-y>
- Dudek-Makuch, M., & Studzińska-Sroka, E. (2015). Horse Chestnut - Efficacy and safety in chronic venous insufficiency: An overview. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 25(5), 533–541. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2015.05.009>
- Edison, T. N. J. I., Atchudan, R., Sethuraman, M. G., Shim, J. J., & Lee, Y. R. (2016). Microwave assisted green synthesis of fluorescent N-doped carbon dots: Cytotoxicity and bio-imaging applications. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 161, 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.05.017>
- El-Shafey, A. M. (2021). Carbon dots: Discovery, structure, fluorescent properties, and applications. *Green Processing and Synthesis*, 10(1), 134–156. https://doi.org/10.1515/GPS-2021-0006/ASSET/GRAPHIC/J_GPS-2021-0006_FIG_007.JPG
- Ertaş, Ö. S., & Kayalı, A. (2005). Analitik yöntem geçerliliğine genel bir bakış: an overview on analytical method validation. *Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 34(1), 001–017. https://doi.org/10.1501/eczfak_0000000014
- 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>
- Essner, J. B., Laber, C. H., Ravula, S., Polo-Parada, L., & Baker, G. A. (2016). Pee-dots: biocompatible fluorescent carbon dots derived from the upcycling of urine. *Green Chemistry*, 18(1), 243–250. <https://doi.org/10.1039/c5gc02032h>

- Ezberci, F., & Ünal, E. (2018). *Aesculus Hippocastanum* (Aescin, Horse Chestnut) in the Management of Hemorrhoidal Disease: Review Hemoroidal Hastalığın Tedavisinde *Aesculus Hippocastanum* (Aescin, At Kestanesi) Kullanımı: Derleme. <https://doi.org/10.4274/tjcd.16442>
- Fan, Y. Z., Zhang, Y., Li, N., Liu, S. G., Liu, T., Li, N. B., & Luo, H. Q. (2017). A facile synthesis of water-soluble carbon dots as a label-free fluorescent probe for rapid, selective and sensitive detection of picric acid. *Sens. Actuators B*, 240, 949–955. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.09.063>
- Feng, X., & Zhang, Y. (2019). A simple and green synthesis of carbon quantum dots from coke for white light-emitting devices. *RSC Advances*, 9(58), 33789–33793. <https://doi.org/10.1039/c9ra06946a>
- Ferjani, H., Abdalla, S., Oyewo, O. A., & Onwudiwe, D. C. (2024). Facile synthesis of carbon dots by the hydrothermal carbonization of avocado peels and evaluation of the photocatalytic property. *Inorganic Chemistry Communications*, 160. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.111866>
- Fery-Forgues, S., & Lavabre, D. (1999). Are Fluorescence Quantum Yields So Tricky to Measure? A Demonstration Using Familiar Stationery Products. *Journal of Chemical Education*, 76(9), 1260–1264. <https://doi.org/10.1021/ED076P1260>
- Fiorito, S., Epifano, F., Palumbo, L., Collevocchio, C., Spogli, R., & Genovese, S. (2023). Separation and quantification of Tartrazine (E102) and Brilliant Blue FCF (E133) in green colored foods and beverages. *Food Research International*, 172(June), 113094. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113094>
- Fu, Q., Zhang, K., Lu, K., Li, N., Sun, S., & Dong, Z. (2024). Recent advances in solid-state fluorescent of red carbon dots: A comprehensive review. *Journal of Alloys and Compounds*, 971. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.172688>
- Gan, T., Sun, J., Cao, S., Gao, F., Zhang, Y., & Yang, Y. (2012). One-step electrochemical approach for the preparation of graphene wrapped-phosphotungstic acid hybrid and its application for simultaneous determination of sunset yellow and tartrazine. *Electrochimica Acta*, 74, 151–157. <https://doi.org/10.1016/J.ELECTACTA.2012.04.039>
- Ghereghlou, M., Esmaeili, A. A., & Darroudi, M. (2021). Green Synthesis of Fluorescent Carbon Dots from *Elaeagnus angustifolia* and its Application as Tartrazine Sensor. *Journal of Fluorescence*, 31(1), 185–193. <https://doi.org/10.1007/s10895-020-02645-5>
- Gholipour, A., & Rahmani, S. (2023a). The synthesis of fluorescent carbon quantum dots for tartrazine detection in food: a novel one-step microwave heating approach. *Fullerenes Nanotubes and Carbon Nanostructures*, 31(8), 743–751. <https://doi.org/10.1080/1536383X.2023.2206124>
- Gholipour, A., & Rahmani, S. (2023b). The synthesis of fluorescent carbon quantum dots for tartrazine detection in food: a novel one-step microwave heating approach. *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, 31(8), 743–751. <https://doi.org/10.1080/1536383X.2023.2206124>

- Ghosal, K., & Ghosh, A. (2019). Carbon dots: The next generation platform for biomedical applications. *Materials Science and Engineering C*, 96(July 2018), 887–903. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.11.060>
- Gogoi, J., & Chowdhury, D. (2020). Calcium-modified carbon dots derived from polyethylene glycol: fluorescence-based detection of Trifluralin herbicide. *Journal of Materials Science*, 55(25), 11597–11608. <https://doi.org/10.1007/s10853-020-04839-5>
- Grumezescu, A. M., & Holban, A. M. (2018). Natural and artificial flavoring agents and food dyes: Handbook of food bioengineering. *Natural and Artificial Flavoring Agents and Food Dyes: Handbook of Food Bioengineering*, 7, 1–566. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-00380-7>
- Gümrükçüoğlu, A. (2022). *Doğal Atık Ürünlerden Fındık Kabuğundan Karbon Nano Noktaların Sentezi ve Analitik Özelliklerinin İncelenmesi*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Gümrükçüoğlu, A., Başoğlu, A., Kolaylı, S., DiNç, S., Kara, M., Ocak, M., & Ocak, Ü. (2020). Highly sensitive fluorometric method based on nitrogen-doped carbon dot clusters for tartrazine determination in cookies samples. *Turkish Journal of Chemistry*, 44(1), 99–111. <https://doi.org/10.3906/kim-1903-28>
- Gün, E. Ç. (2019). *Şeker hamurlarında kullanılan gıda boyası tartrazinin yeni bir pirazol türevi ile spektrofotometrik metot ile tayini* [Fen Bilimleri Enstitüsü]. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/475655>
- Gündüz, T. (1999). *Instrumental Analiz* (5. baskı). Ankara: Gazi Kitabevi.
- Gunjal, D. B., Gurav, Y. M., Gore, A. H., Naik, V. M., Waghmare, R. D., Patil, C. S., Sohn, D., Anbhule, P. V., Shejwal, R. V., & Kolekar, G. B. (2019). Nitrogen doped waste tea residue derived carbon dots for selective quantification of tetracycline in urine and pharmaceutical samples and yeast cell imaging application. *Optical Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2019.109484>
- Guo, J., Ye, S., Li, H., Song, J., & Qu, J. (2020). Novel carbon dots with dual excitation for imaging and silver ion detection in living cells. *Dyes and Pigments*, 183, 108723. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2020.108723>
- Gusain, D., Renuka, N., Guldhe, A., & Bux, F. (2021). Use of microalgal lipids and carbohydrates for the synthesis of carbon dots via hydrothermal microwave treatment. *Inorganic Chemistry Communications*, 134. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2021.109021>
- Han, S., Zhang, H., Xie, Y., Liu, L., Shan, C., Li, X., Liu, W., & Tang, Y. (2015). Application of cow milk-derived carbon dots/Ag NPs composite as the antibacterial agent. *Applied Surface Science*, 328, 368–373. <https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2014.12.074>
- Hashim Al Sultani, K. K., Mohammed Al-Rashidy, A. A., & Al-Samirai, S. Y. (2019). Determination of tartrazine and sodium benzoate as food additives in some local juices using continuous flow injection analysis. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 12(2), 217–221. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2019.01.002>

- He, G., Xu, M., Shu, M., Li, X., Yang, Z., Zhang, L., Su, Y., Hu, N., & Zhang, Y. (2016). Rapid solid-phase microwave synthesis of highly photoluminescent nitrogen-doped carbon dots for Fe³⁺ detection and cellular bioimaging. *Nanotechnology*, 27(39), 395706. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/27/39/395706>
- He, J., Zhang, H., Zou, J., Liu, Y., Zhuang, J., Xiao, Y., & Lei, B. (2016). Carbon dots-based fluorescent probe for “off-on” sensing of Hg(II) and I⁻. *Biosensors and Bioelectronics*, 79, 531–535. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2015.12.084>
- He, L., & Du, H. (2023). Detection of tartrazine with fluorescence sensor from crayfish shell carbon quantum dots. *Journal of Food Composition and Analysis*, 118(January), 105200. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105200>
- He, Q., Liu, J., Liu, X., Li, G., Deng, P., Liang, J., & Chen, D. (2018). Sensitive and selective detection of tartrazine based on TiO₂-electrochemically reduced graphene oxide composite-modified electrodes. *Sensors (Switzerland)*, 18(6). <https://doi.org/10.3390/s18061911>
- Hebbbar, A., Selvaraj, R., Vinayagam, R., Varadavenkatesan, T., Kumar, P. S., Duc, P. A., & Rangasamy, G. (2023). A critical review on the environmental applications of carbon dots. *Chemosphere*, 313(October 2022), 137308. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137308>
- Hill, S., & Galan, M. C. (2017). Fluorescent carbon dots from mono- and polysaccharides: Synthesis, properties and applications. *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, 13, 675–693. <https://doi.org/10.3762/bjoc.13.67>
- Himaja, A. L., Karthik, P. S., Sreedhar, B., & Singh, S. P. (2014). Synthesis of carbon dots from kitchen waste: Conversion of waste to value added product. *Journal of Fluorescence*, 24(6), 1767–1773. <https://doi.org/10.1007/s10895-014-1465-1>
- Hoan, B. T., Tam, P. D., & Pham, V. H. (2019). Green Synthesis of Highly Luminescent Carbon Quantum Dots from Lemon Juice. *Journal of Nanotechnology*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/2852816>
- Hou, Y., Lu, Q., Deng, J., Li, H., & Zhang, Y. (2015). One-pot electrochemical synthesis of functionalized fluorescent carbon dots and their selective sensing for mercury ion. *Analytica Chimica Acta*, 866, 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2015.01.039>
- Hu, Q., Paau, M. C., Zhang, Y., Gong, X., Zhang, L., Lu, D., Liu, Y., Liu, Q., Yao, J., & Choi, M. M. F. (2014). Green synthesis of fluorescent nitrogen/sulfur-doped carbon dots and investigation of their properties by HPLC coupled with mass spectrometry. *RSC Advances*, 4(35), 18065–18073. <https://doi.org/10.1039/c4ra02170c>
- Hu, Y., & Gao, Z. (2020). Sewage sludge in microwave oven: A sustainable synthetic approach toward carbon dots for fluorescent sensing of para-Nitrophenol. *Journal of Hazardous Materials*, 382(May 2019), 121048. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121048>
- Hu, Y., Wang, Y., Wang, C., Ye, Y., Zhao, H., Li, J., Lu, X., Mao, C., Chen, S., Mao, J., Wang, L., & Xue, Q. (2019). One-pot pyrolysis preparation of carbon dots as eco-

- friendly nanoadditives of water-based lubricants. *Carbon*, 152, 511–520. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2019.06.047>
- Hu, Y., Yang, J., Tian, J., Jia, L., & Yu, J. S. (2014). Waste frying oil as a precursor for one-step synthesis of sulfur-doped carbon dots with pH-sensitive photoluminescence. *Carbon*, 77, 775–782. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2014.05.081>
- Huang, H.-Y., Chiu, C.-W., Sue, S.-L., & Cheng, C.-F. (2003). Analysis of food colorants by capillary electrophoresis with large-volume sample stacking. *Journal of Chromatography A*, 995(1–2), 29–36. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(03\)00530-2](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(03)00530-2)
- Huang, H., Cui, Y., Liu, M., Chen, J., Wan, Q., Wen, Y., Deng, F., Zhou, N., Zhang, X., & Wei, Y. (2018). A one-step ultrasonic irradiation assisted strategy for the preparation of polymer-functionalized carbon quantum dots and their biological imaging. *Journal of Colloid and Interface Science*, 532, 767–773. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.07.099>
- Huang, H., Lv, J. J., Zhou, D. L., Bao, N., Xu, Y., Wang, A. J., & Feng, J. J. (2013). One-pot green synthesis of nitrogen-doped carbon nanoparticles as fluorescent probes for mercury ions. *RSC Advances*, 3(44), 21691–21696. <https://doi.org/10.1039/c3ra43452d>
- Huang, H. Y., Shih, Y. C., & Chen, Y. C. (2002). Determining eight colorants in milk beverages by capillary electrophoresis. *Journal of Chromatography A*, 959(1–2), 317–325. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(02\)00441-7](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(02)00441-7)
- Huang, L., Yang, S., Chen, L., & Chen, S. (2015). Hydrothermal synthesis of fluorescent carbon dots towards ion response and silk screen patterns. *Chemistry Letters*, 44(9), 1251–1253.
- Huang, Y., & Cheng, Z. (2017). Simple and Green Synthesis of Boron-, Sulfur-, and Nitrogen-Co-Doped Carbon Dots as Fluorescent Probe for Selective and Sensitive Detection of Sunset Yellow. *Nano*, 12(10). <https://doi.org/10.1142/S1793292017501235>
- Huang, Z., Lei, J., Ruan, H., Gong, Y., Wang, G., & Zhou, L. (2021). One-pot synthesis of hydroxypropyl- β -cyclodextrin capped fluorescent sulfur quantum dots for highly sensitive and selective recognition of tartrazine. *Microchemical Journal*, 164, 106031. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.106031>
- Jager, A. V., Tonin, F. G., & Tavares, M. F. M. (2005). Optimizing the separation of food dyes by capillary electrophoresis. *Journal of Separation Science*, 28(9–10), 957–965. <https://doi.org/10.1002/jssc.200500039>
- Jayan, S. S., Jayan, J. S., Sneha, B., & Abha, K. (2020). Facile synthesis of carbon dots using tender coconut water for the fluorescence detection of heavy metal ions. *Materials Today: Proceedings*, 43, 3821–3825. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.417>
- Jayasekhar Babu, P., Saranya, S., Singh, Y. D., Venkataswamy, M., Raichur, A. M., & Doble, M. (2021). Photoluminescence carbon nano dots for the conductivity based optical sensing of dopamine and bioimaging applications. *Optical Materials*, 117, 111120. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2021.111120>

- Jeong, Y., Moon, K., Jeong, S., Koh, W. G., & Lee, K. (2018). Converting Waste Papers to Fluorescent Carbon Dots in the Recycling Process without Loss of Ionic Liquids and Bioimaging Applications. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 6(4), 4510–4515. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b00353>
- Jiang, K., Wang, Y., Cai, C., Lin, H., Jiang, K., Wang, Y., Lin, H., & Cai, C. (2018). Conversion of Carbon Dots from Fluorescence to Ultralong Room-Temperature Phosphorescence by Heating for Security Applications. *Advanced Materials*, 30(26), 1800783. <https://doi.org/10.1002/ADMA.201800783>
- Jiang, K., Wang, Y., Gao, X., Cai, C., & Lin, H. (2018). Facile, Quick, and Gram-Scale Synthesis of Ultralong-Lifetime Room-Temperature-Phosphorescent Carbon Dots by Microwave Irradiation. *Angewandte Chemie - International Edition*, 57(21), 6216–6220. <https://doi.org/10.1002/anie.201802441>
- Jiang, L., Yuan, L., Liu, Z., Xiang, Y., Song, F., Meng, L., & Tu, Y. (2022). Facile hydrothermal synthesis and purification of fluorescent carbon dots for food colorant tartrazine detection based on a dual-mode nanosensor. *Analytical Methods*, 14(41), 4127–4132. <https://doi.org/10.1039/D2AY01140A>
- Jiang, X., Shi, Y., Liu, X., Wang, M., Song, P., Xu, F., & Zhang, X. (2018). Synthesis of Nitrogen-Doped Lignin/DES Carbon Quantum Dots as a Fluorescent Probe for the Detection of Fe³⁺ Ions. *Polymers* 2018, Vol. 10, Page 1282, 10(11), 1282. <https://doi.org/10.3390/POLYM10111282>
- Jing, H., Bardakci, F., Akgöl, S., Kusat, K., Adnan, M., Alam, M., Gupta, R., Sahreen, S., Chen, Y., Gopinath, S., & Sasidharan, S. (2023). Green Carbon Dots: Synthesis, Characterization, Properties and Biomedical Applications. *Journal of Functional Biomaterials*, 14(1), 27. <https://doi.org/10.3390/jfb14010027>
- John, B. K., Mathew, S., John, N., Mathew, J., & Mathew, B. (2023). Hydrothermal synthesis of N,S-doped carbon quantum dots as a dual mode sensor for azo dye tartrazine and fluorescent ink applications. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 436, 114386. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2022.114386>
- Jusuf, B. N., Sambudi, N. S., Isnaeni, I., & Samsuri, S. (2018). Microwave-assisted synthesis of carbon dots from eggshell membrane ashes by using sodium hydroxide and their usage for degradation of methylene blue. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(6), 7426–7433. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.10.032>
- Kailasa, S. K., Ha, S., Baek, S. H., Phan, L. M. T., Kim, S., Kwak, K., & Park, T. J. (2019). Tuning of carbon dots emission color for sensing of Fe³⁺ ion and bioimaging applications. *Materials Science and Engineering C*, 98, 834–842. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.01.002>
- Kalita, H., Mohapatra, J., Pradhan, L., Mitra, A., Bahadur, D., & Aslam, M. (2016). Efficient synthesis of rice based graphene quantum dots and their fluorescent properties. *RSC Advances*, 6(28), 23518–23524. <https://doi.org/10.1039/c5ra25706a>
- Kang, C., Huang, Y., Yang, H., Yan, X. F., & Chen, Z. P. (2020). A review of carbon dots

- produced from biomass wastes. *Nanomaterials*, 10(11), 1–24. <https://doi.org/10.3390/nano10112316>
- Kapusta, I., Janda, B., Szajwaj, B., Stochmal, A., Piacente, S., Pizza, C., Franceschi, F., Franz, C., & Oleszek, W. (2007). Flavonoids in horse chestnut (*Aesculus hippocastanum*) seeds and powdered waste water byproducts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(21), 8485–8490. <https://doi.org/10.1021/jf071709t>
- Kara, D. (2005). Spectrophotometric determination of tartrazine, riboflavine and carmoisine in drinks by zero-order spectrophotometric method using determinant calculation and first derivative spectrophotometric method. *Asian Journal of Chemistry*, 17(2), 743–754.
- Karaman, A. D., & Akalın, A. S. (2008). Süt Teknolojisinde Metot Validasyonu ve Uygulamaları. *Türkiye 10. Gıda Kongresi, Bildiri Kitabı*, 749–752.
- Karatoprak, G. S. (2018). Horse chestnut. *Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements*, 295–299. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812491-8.00042-4>
- Karim-Nezhad, G., Khorablou, Z., Zamani, M., Seyed Dorraji, P., & Alamgholiloo, M. (2017). Voltammetric sensor for tartrazine determination in soft drinks using poly (p-aminobenzenesulfonic acid)/zinc oxide nanoparticles in carbon paste electrode. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(2), 293–301. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.10.002>
- Kartsova, L. A., Alekseeva, A. V., Khmel’Nitskii, I. K., Komissarchik, S. M., Nyanikova, G. G., & Berezkin, V. G. (2009). Electromigration methods in the determination of synthetic food dyes. *Journal of Analytical Chemistry*, 64(12), 1264–1269. <https://doi.org/10.1134/S1061934809120119>
- Kavitha, T., & Kumar, S. (2018). Turning date palm fronds into biocompatible mesoporous fluorescent carbon dots. *Scientific Reports*, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34349-z>
- Kaya, S. I., Cetinkaya, A., & Ozkan, S. A. (2021). Latest advances on the nanomaterials-based electrochemical analysis of azo toxic dyes Sunset Yellow and Tartrazine in food samples. *Food and Chemical Toxicology*, 156, 112524. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112524>
- Ke, C. Bin, Lu, T. L., & Chen, J. L. (2018). Capacitively coupled plasma discharge of ionic liquid solutions to synthesize carbon dots as fluorescent sensors. *Nanomaterials*, 8(6). <https://doi.org/10.3390/nano8060372>
- Khairul Anuar, N. K., Tan, H. L., Lim, Y. P., So’aib, M. S., & Abu Bakar, N. F. (2021). A Review on Multifunctional Carbon-Dots Synthesized From Biomass Waste: Design/Fabrication, Characterization and Applications. *Frontiers in Energy Research*, 9(April), 1–22. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.626549>
- Khan, Z. M. S. H., Rahman, R. S., Shumaila, Islam, S., & Zulfequar, M. (2019). Hydrothermal treatment of red lentils for the synthesis of fluorescent carbon quantum dots and its application for sensing Fe³⁺. *Optical Materials*, 91, 386–395. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2019.03.054>

- Khanavi, M., Hajimahmoodi, M., Ranjbar, A. M., Oveisi, M. R., Ardekani, M. R. S., & Mogaddam, G. (2012). Development of a Green Chromatographic Method for Simultaneous Determination of Food Colorants. *Food Analytical Methods*, 5(3), 408–415. <https://doi.org/10.1007/s12161-011-9259-4>
- Khayyat, L., Essawy, A., Sorour, J., & Soffar, A. (2017). Tartrazine induces structural and functional aberrations and genotoxic effects in vivo. *PeerJ*, 2017(2), 1–14. <https://doi.org/10.7717/PEERJ.3041/SUPP-2>
- Kong, B., Yang, T., Cheng, F., Qian, Y., Li, C., Zhan, L., Li, Y., Zou, H., & Huang, C. (2022). Carbon dots as nanocatalytic medicine for anti-inflammation therapy. *Journal of Colloid and Interface Science*, 611, 545–553. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.12.107>
- Korah, B. K., Thara, C. R., John, N., John, B. K., Mathew, S., & Mathew, B. (2023). Microwave abetted synthesis of carbon dots and its triple mode applications in tartrazine detection, manganese ion sensing and fluorescent ink. *Food Control*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109608>
- Kumar, A., Chowdhuri, A. R., Laha, D., Mahto, T. K., Karmakar, P., & Sahu, S. K. (2017). Green synthesis of carbon dots from *Ocimum sanctum* for effective fluorescent sensing of Pb²⁺ ions and live cell imaging. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 242, 679–686. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.11.109>
- Kumar, N., Singh, A., Sharma, D. K., & Kishore, K. (2019). Toxicity of food additives. İçinde *Food Safety and Human Health* (ss. 67–98). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816333-7.00003-5>
- Kumar, P., Dua, S., Kaur, R., Kumar, M., & Bhatt, G. (2022). A review on advancements in carbon quantum dots and their application in photovoltaics. *RSC Advances*, 12(8), 4714–4759. <https://doi.org/10.1039/d1ra08452f>
- Kumar, S., Aziz, S. K. T., Girshevitz, O., & Nessim, G. D. (2018). One-Step Synthesis of N-Doped Graphene Quantum Dots from Chitosan as a Sole Precursor Using Chemical Vapor Deposition. *Journal of Physical Chemistry C*, 122(4), 2343–2349. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.7b05494>
- Kumari, A., Kumar, A., Sahu, S. K., & Kumar, S. (2018). Synthesis of green fluorescent carbon quantum dots using waste polyolefins residue for Cu²⁺ ion sensing and live cell imaging. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 254, 197–205. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.07.075>
- Kwak, B. E., Yoo, H. J., & Kim, D. H. (2019). Quenching-Resistant Polymer Carbon Dot Preserving Emission Color Consistency in Solid-State. *Advanced Optical Materials*, 7(23), 1–9. <https://doi.org/10.1002/adom.201900932>
- Lakowicz, J. R. (1999). Principles of Fluorescence Spectroscopy. *Principles of Fluorescence Spectroscopy*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3061-6>
- Lakowicz, J. R. (2006). Principles of fluorescence spectroscopy, 3rd Principles of fluorescence spectroscopy, Springer, New York, USA, 3rd edn, 2006. İçinde *Principles*

- of fluorescence spectroscopy*, Springer, New York, USA, 3rd edn, 2006. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-46312-4>
- Lawal, A., Gwaram, N. S., & Abdulkarim, S. (2020). The SPECTROPHOTOMETRIC DETERMINATION OF TARTRAZINE IN SOME SELECTED BEVERAGES: A CASE STUDY OF KATSINA TOWN, NIGERIA. *Fudma Journal of Sciences*, 4(3), 685–689. <https://fjs.fudutsinma.edu.ng/index.php/fjs/article/view/307>
- Lee, S. (2019). A new green technology for direct synthesis of carbon nanodots with narrow size distribution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 77, 365–370. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.04.059>
- Li, D., Yang, Y., Su, S., Jia, Y., Xing, H., & Hu, M. (2024). A Eu coordination polymer sensor for the detection of tartrazine, folic acid, and amino acids. *Microchemical Journal*, 199. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2024.109995>
- Li, H., He, X., Kang, Z., Huang, H., Liu, Y., Liu, J., Lian, S., Tsang, C. H. A., Yang, X., & 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>
- Li, H., Shao, F. Q., Zou, S. Y., Yang, Q. J., Huang, H., Feng, J. J., & Wang, A. J. (2016). Microwave-assisted synthesis of N,P-doped carbon dots for fluorescent cell imaging. *Microchimica Acta*, 183(2), 821–826. <https://doi.org/10.1007/s00604-015-1714-2>
- Li, H., Sun, C., Vijayaraghavan, R., Zhou, F., Zhang, X., & MacFarlane, D. R. (2016). Long lifetime photoluminescence in N, S co-doped carbon quantum dots from an ionic liquid and their applications in ultrasensitive detection of pesticides. *Carbon*, 104, 33–39. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2016.03.040>
- Li, H., Yan, X., Lu, G., & Su, X. (2018). Carbon dot-based bioplatform for dual colorimetric and fluorometric sensing of organophosphate pesticides. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 260, 563–570. <https://doi.org/10.1016/J.SNB.2017.12.170>
- Li, L., Yu, B., & You, T. (2015). Nitrogen and sulfur co-doped carbon dots for highly selective and sensitive detection of Hg (II) ions. *Biosens. Bioelectron.*, 74, 263–269. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2015.06.050>
- Li, Q., Bai, Z., Xi, X., Guo, Z., Liu, C., Liu, X., Zhao, X., Li, Z., Cheng, Y., & Wei, Y. (2021). Rapid microwave-assisted green synthesis of guanine-derived carbon dots for highly selective detection of Ag⁺ in aqueous solution. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.119208>
- Li, Q., Du, H., Li, J., Deng, J., Wang, R., & Chen, Y. (2022). Sulfur-rich carbon quantum dots based on Alternanthera philoxeroides and thiourea for the detection of tartrazine. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 33(16), 12808–12818. <https://doi.org/10.1007/s10854-022-08226-5>
- Li, R., Jiang, Z.-T., & Liu, Y.-H. (2020). Direct solid-phase spectrophotometric determination of tartrazine in soft drinks using β -cyclodextrin polymer as support.

- Journal of Food and Drug Analysis*, 16(5), 6. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2327>
- Li, W. J., Zhou, X., Tong, S. S., & Jia, Q. (2013). Poly(N-isopropylacrylamide-co-N,N'-methylene bisacrylamide) monolithic column embedded with γ -alumina nanoparticles microextraction coupled with high-performance liquid chromatography for the determination of synthetic food dyes in soft drink samples. *Talanta*, 105, 386–392. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2012.10.065>
- Li, W., Liu, Y., Wu, M., Feng, X., Redfern, S. A. T., Shang, Y., Yong, X., Feng, T., Wu, K., Liu, Z., Li, B., Chen, Z., Tse, J. S., Lu, S., & Yang, B. (2018). Carbon-Quantum-Dots-Loaded Ruthenium Nanoparticles as an Efficient Electrocatalyst for Hydrogen Production in Alkaline Media. *Advanced Materials*, 30(31). <https://doi.org/10.1002/adma.201800676>
- Li, W., Yue, Z., Wang, C., Zhang, W., & Liu, G. (2013). An absolutely green approach to fabricate carbon nanodots from soya bean grounds. *RSC Advances*, 3(43), 20662–20665. <https://doi.org/10.1039/c3ra43330g>
- 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. *Angewandte Chemie - International Edition*, 52(31), 8151–8155. <https://doi.org/10.1002/ANIE.201303927>
- Li, X., Chai, C., Zhang, Y., Wang, Y., Lv, J., Bian, W., & Choi, M. M. F. (2020). Microwave synthesis of nitrogen and sulfur co-doped carbon dots for the selective detection of Hg^{2+} and glutathione. *Optical Materials*, 99. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2019.109559>
- Li, X., Yu, L., He, M., Chen, C., Yu, Z., Jiang, S., Wang, Y., Li, L., Li, B., Wang, G., Shen, A., & Fan, J. (2023). Review on carbon dots: Synthesis and application in biology field. *BMEMat*, 1(4). <https://doi.org/10.1002/bmm2.12045>
- Li, Y., Chen, J., Wang, Y., Li, H., Yin, J., Li, M., Wang, L., Sun, H., & Chen, L. (2021). Large-scale direct pyrolysis synthesis of excitation-independent carbon dots and analysis of ferric (III) ion sensing mechanism. *Applied Surface Science*, 538, 148151. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.148151>
- Li, Y., Wei, H., & Liu, R. (2014). A probe to study the toxic interaction of tartrazine with bovine hemoglobin at the molecular level. *Luminescence*, 29(2), 195–200. <https://doi.org/10.1002/bio.2510>
- Li, Z., Wang, L., Li, Y., Feng, Y., & Feng, W. (2019). Frontiers in carbon dots: Design, properties and applications. *Materials Chemistry Frontiers*, 3(12), 2571–2601. <https://doi.org/10.1039/c9qm00415g>
- Liang, Q., Wang, Y., Lin, F., Jiang, M., Li, P., & Huang, B. (2017). A facile microwave-hydrothermal synthesis of fluorescent carbon quantum dots from bamboo tar and their application. *Analytical Methods*, 9(24), 3675–3681. <https://doi.org/10.1039/c7ay01069a>
- Liang, Z., Kang, M., Payne, G. F., Wang, X., & Sun, R. (2016). Probing Energy and Electron

- Transfer Mechanisms in Fluorescence Quenching of Biomass Carbon Quantum Dots. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 8(27), 17478–17488. <https://doi.org/10.1021/ACSAMI.6B04826>
- Liang, Z., Zeng, L., Cao, X., Wang, Q., Wang, X., & Sun, R. (2014). Sustainable carbon quantum dots from forestry and agricultural biomass with amplified photoluminescence by simple NH₄OH passivation. *Journal of Materials Chemistry C*, 2(45), 9760–9766. <https://doi.org/10.1039/c4tc01714e>
- Liao, X., Guo, W., Zhang, J., Zhao, L., Liu, C., Zhang, H., Shu, Z., Tian, Y., Gao, H., & Yang, P. (2020). Ketocalix[3]carbazole: Facile synthesis, rigid conformation and baicalin-selective sensing. *Organic Chemistry Frontiers*, 7(16), 2291–2297. <https://doi.org/10.1039/D0QO00670J>
- Lin, L., Wang, Y., Xiao, Y., & Liu, W. (2019). Hydrothermal synthesis of carbon dots codoped with nitrogen and phosphorus as a turn-on fluorescent probe for cadmium(II). *Microchimica Acta*, 186(3). <https://doi.org/10.1007/s00604-019-3264-5>
- Lin, L., Zheng, Q., Chen, Q., Fang, M., Lai, Q., He, X., Qin, J., Lin, Z., & Lin, R. (2022). Preparation of fluorescent organic nanoparticles via self-polymerization for tartrazine detection in food samples. *New Journal of Chemistry*, 46(10), 4756–4761. <https://doi.org/10.1039/D1NJ05176H>
- Lin, X., Xiong, M., Zhang, J., He, C., Ma, X., Zhang, H., Kuang, Y., Yang, M., & Huang, Q. (2021). Carbon dots based on natural resources: Synthesis and applications in sensors. *Microchemical Journal*, 160. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105604>
- Liu, F.-J., Liu, C.-T., Li, W., & Tang, A.-N. (2015). Dispersive solid-phase microextraction and capillary electrophoresis separation of food colorants in beverages using diamino moiety functionalized silica nanoparticles as both extractant and pseudostationary phase. *Talanta*, 132, 366–372. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.09.014>
- Liu, H., Ding, J., Zhang, K., & Ding, L. (2019). Construction of biomass carbon dots based fluorescence sensors and their applications in chemical and biological analysis. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 118, 315–337. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.05.051>
- Liu, H., Li, Z., Sun, Y., Geng, X., Hu, Y., Meng, H., Ge, J., & Qu, L. (2018). Synthesis of Luminescent Carbon Dots with Ultrahigh Quantum Yield and Inherent Folate Receptor-Positive Cancer Cell Targetability. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19373-3>
- Liu, H., Li, Z., Zhang, W., Liu, Y., Pan, R., & Huang, G. (2022). Facile synthesis of tomato-based carbon nanodots and its utilization in sensitive detection of tartrazine. *Journal of the Indian Chemical Society*, 99(12). <https://doi.org/10.1016/J.JICS.2022.100798>
- Liu, H., Ye, T., & Mao, C. (2007). Fluorescent carbon nanoparticles derived from candle soot. *Angewandte Chemie - International Edition*, 46(34), 6473–6475. <https://doi.org/10.1002/ANIE.200701271>
- Liu, H., Zhang, H., Li, J., Tang, Y., Cao, Y., & Jiang, Y. (2018). Organic-inorganic hybrid

- carbon dots for cell imaging. *Materials Research Express*, 5(4). <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aab7a4>
- Liu, H., Zhong, X., Pan, Q., Zhang, Y., Deng, W., Zou, G., Hou, H., & Ji, X. (2024). A review of carbon dots in synthesis strategy. *Coordination Chemistry Reviews*, 498, 215468. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2023.215468>
- Liu, L., Feng, F., Paaui, M. C., Hu, Q., Liu, Y., Chen, Z., & Choi, M. M. F. (2015). Carbon dots isolated from chromatographic fractions for sensing applications. *RSC Advances*, 5(129), 106838–106847. <https://doi.org/10.1039/C5RA21137A>
- Liu, L., Sun, H., Xiao, L., Yang, Z. quan, Han, J., Gong, X., & Hu, Q. (2021). Development of a highly sensitive fluorescence method for tartrazine determination in food matrices based on carbon dots. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 413(5), 1485–1492. <https://doi.org/10.1007/s00216-020-03118-1>
- Liu, M., Xu, Y., Niu, F., Gooding, J. J., & Liu, J. (2016). Carbon quantum dots directly generated from electrochemical oxidation of graphite electrodes in alkaline alcohols and the applications for specific ferric ion detection and cell imaging. *Analyst*, 141(9), 2657–2664. <https://doi.org/10.1039/c5an02231b>
- Liu, R. (2021). Facile synthesis of magneto-fluorescent carbon dots by one-step microwave-assisted pyrolysis. *Journal of Alloys and Compounds*, 855, 157456. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.157456>
- Liu, R., Huang, H., Li, H., Liu, Y., Zhong, J., Li, Y., Zhang, S., & Kang, Z. (2014). Metal nanoparticle/carbon quantum dot composite as a photocatalyst for high-efficiency cyclohexane oxidation. *ACS Catalysis*, 4(1), 328–336. <https://doi.org/10.1021/cs400913h>
- Liu, R., Li, H., Kong, W., Liu, J., Liu, Y., Tong, C., Zhang, X., & Kang, Z. (2013). Ultra-sensitive and selective Hg²⁺ detection based on fluorescent carbon dots. *Materials Research Bulletin*, 48(7), 2529–2534. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2013.03.015>
- Liu, R., Zhang, J., Gao, M., Li, Z., Chen, J., Wu, D., & Liu, P. (2015). A facile microwave-hydrothermal approach towards highly photoluminescent carbon dots from goose feathers. *RSC Advances*, 5(6), 4428–4433. <https://doi.org/10.1039/c4ra12077a>
- 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. <https://doi.org/10.1002/ADMA.201200164>
- Liu, T., Cui, Z. W., Zhou, J., Wang, Y., & Zou, Z. G. (2017). Synthesis of pyridinic-rich N, S co-doped carbon quantum dots as effective enzyme mimics. *Nanoscale Research Letters*, 12(1), 375. <https://doi.org/10.1186/s11671-017-2149-y>
- Liu, X., Pang, J., Xu, F., & Zhang, X. (2016). Simple Approach to Synthesize Amino-Functionalized Carbon Dots by Carbonization of Chitosan. *Scientific Reports*, 6, 1–8.

<https://doi.org/10.1038/srep31100>

- Liu, Y., Guo, D., Gao, Y., Tong, B., Li, Y., & Zhu, Y. (2021). Non-thermal effect of microwave on the chemical structure and luminescence properties of biomass-derived carbon dots via hydrothermal method. *Applied Surface Science*, 552. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.149503>
- Liu, Y., Liu, Y., Park, M., Park, S. J., Zhang, Y., Akanda, M. R., Park, B. Y., & Kim, H. Y. (2017). Green synthesis of fluorescent carbon dots from carrot juice for in vitro cellular imaging. *Carbon Letters*, 21(1), 61–67. <https://doi.org/10.5714/CL.2017.21.061>
- Liu, Y., Zhao, Y., & Zhang, Y. (2014). One-step green synthesized fluorescent carbon nanodots from bamboo leaves for copper(II) ion detection. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 196, 647–652. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.02.053>
- Liu, Y., Zhu, C., Gao, Y., Yang, L., Xu, J., Zhang, X., Lu, C., Wang, Y., & Zhu, Y. (2020). Biomass-derived nitrogen self-doped carbon dots via a simple one-pot method: Physicochemical, structural, and luminescence properties. *Applied Surface Science*, 510. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.145437>
- Lou, Y., Hao, X., Liao, L., Zhang, K., Chen, S., Li, Z., Ou, J., Qin, A., & Li, Z. (2021). Recent advances of biomass carbon dots on syntheses, characterization, luminescence mechanism, and sensing applications. *Nano Select*, 2(6), 1117–1145. <https://doi.org/10.1002/nano.202000232>
- Lu, W., Gong, X., Nan, M., Liu, Y., Shuang, S., & Dong, C. (2015). Comparative study for N and S doped carbon dots: Synthesis, characterization and applications for Fe³⁺ probe and cellular imaging. *Analytica Chimica Acta*, 898, 116–127. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2015.09.050>
- Lu, W., Gong, X., Yang, Z., Zhang, Y., Hu, Q., Shuang, S., Dong, C., & Choi, M. M. F. (2015). High-quality water-soluble luminescent carbon dots for multicolor patterning, sensors, and bioimaging. *RSC Advances*, 5(22), 16972–16979. <https://doi.org/10.1039/c4ra16233a>
- 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. <https://doi.org/10.1021/ac3007939>
- Lu, Z., Su, T., Feng, Y., Jiang, S., Zhou, C., Hong, P., Sun, S., & Li, C. (2019). Potential application of nitrogen-doped carbon quantum dots synthesized by a solvothermal method for detecting silver ions in food packaging. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(14). <https://doi.org/10.3390/ijerph16142518>
- Luo, K., Li, W., Luo, X., Kang, X., & Wen, Y. (2024). Solvent-free pyrolysis synthesis of solid-state fluorescent carbon dots: Optical properties and latent fingerprint imaging. *Diamond and Related Materials*, 142(October 2023), 110837. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2024.110837>

- Ma, K., Li, X. J., Wang, H. F., & Zhao, M. (2015). Rapid and Sensitive Method for the Determination of Eight Food Additives in Red Wine by Ultra-performance Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry. *Food Analytical Methods*, 8(1), 203–212. <https://doi.org/10.1007/s12161-014-9893-8>
- Ma, M., Luo, X., Chen, B., Su, S., & Yao, S. (2006). Simultaneous determination of water-soluble and fat-soluble synthetic colorants in foodstuff by high-performance liquid chromatography-diode array detection-electrospray mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1103(1), 170–176. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.11.061>
- Ma, X., Dong, Y., Sun, H., & Chen, N. (2017). Highly fluorescent carbon dots from peanut shells as potential probes for copper ion: The optimization and analysis of the synthetic process. *Materials Today Chemistry*, 5, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2017.04.004>
- Malavika, J. P., Shobana, C., Sundarraj, S., Ganeshbabu, M., Kumar, P., & Selvan, R. K. (2022). Green synthesis of multifunctional carbon quantum dots: An approach in cancer theranostics. *Biomaterials Advances*, 136(November 2021), 212756. <https://doi.org/10.1016/j.bioadv.2022.212756>
- Manjunatha, J. G. (2018). A novel voltammetric method for the enhanced detection of the food additive tartrazine using an electrochemical sensor. *Heliyon*, 4(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00986>
- Maruthupandi, M., Varatharajan, P., Shameem Banu, I. B., Hafiz Mamat, M., & Vasimalai, N. (2022). White light emitting diode and anti-counterfeiting applications of microwave assisted synthesized green fluorescent carbon dots derived from waste curry leaves. *Results in Optics*, 8, 100249. <https://doi.org/10.1016/J.RIO.2022.100249>
- Masone, D., & Chanforan, C. (2015). Study on the interaction of artificial and natural food colorants with human serum albumin: A computational point of view. *Computational Biology and Chemistry*, 56, 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.compbiolchem.2015.04.006>
- Mathew, S., & Mathew, B. (2023). A review on the synthesis, properties, and applications of biomass derived carbon dots. *Inorganic Chemistry Communications*, 156. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.111223>
- Matsuda, H., Li, Y., Murakami, T., Ninomiya, K., Yamahara, J., & Yoshikawa, M. (1997). Effects of escins Ia, Ib, IIa, IIb from horse chestnut, the seeds of *Aesculus hippocastanum* L., on acute inflammation in animals. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 20(10), 1092–1095. <https://doi.org/10.1248/bpb.20.1092>
- Mehta, V. N., Jha, S., Basu, H., Singhal, R. K., & Kailasa, S. K. (2015). One-step hydrothermal approach to fabricate carbon dots from apple juice for imaging of mycobacterium and fungal cells. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 213, 434–443. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.02.104>
- Mert Kuşçu, H., Solmaz, G., Koyuncu, O., Osmangazi Üniversitesi, E., Fakültesi, F., Bölümü, B., Bilimleri Enstitüsü, F., & Anabilim Dalı, K. (2022). ESKİŞEHİR OSMANGAZI ÜNİVERSİTESİ MEŞELİK KAMPÜSÜNDE ALLE AĞACI

- OLARAK KULLANILAN AT KESTANESİ (*Aesculus hippocastanum* L.) BİTKİSİNDE BAZI AĞIR METAL ANALİZLERİ. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 15(2), 117–123. <https://bibad.gen.tr/index.php/bibad/article/view/462>
- Miao, X., Qu, D., Yang, D., Nie, B., Zhao, Y., Fan, H., & Sun, Z. (2018). Synthesis of Carbon Dots with Multiple Color Emission by Controlled Graphitization and Surface Functionalization. *Advanced Materials*, 30(1). <https://doi.org/10.1002/adma.201704740>
- Mintz, K. J., Zhou, Y., & Leblanc, R. M. (2019). Recent development of carbon quantum dots regarding their optical properties, photoluminescence mechanism, and core structure. *Nanoscale*, 11(11), 4634–4652. <https://doi.org/10.1039/c8nr10059d>
- Mitra, S., Chandra, S., Kundu, T., Banerjee, R., Pramanik, P., & Goswami, A. (2012). Rapid microwave synthesis of fluorescent hydrophobic carbon dots. *RSC Advances*, 2(32), 12129. <https://doi.org/10.1039/c2ra21048g>
- Mkhari, O., Ntuli, T. D., Coville, N. J., Nxumalo, E. N., & Maubane-Nkadimeng, M. S. (2023). Supported carbon-dots: A review. *Journal of Luminescence*, 255(September 2022), 119552. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2022.119552>
- Mohanta, T., Behuria, H. G., Sahu, S. K., Jena, A. K., & Sahu, S. (2023). Green synthesis of N,S-doped carbon dots for tartrazine detection and their antibacterial activities. *The Analyst*, 148(22), 5597–5604. <https://doi.org/10.1039/D3AN01609A>
- Mojžišová, G., Mojžiš, J., Pilátová, M., Varinská, L., Ivanová, L., Strojný, L., & Richnavský, J. (2013). Antiproliferative and antiangiogenic properties of horse chestnut extract. *Phytotherapy Research*, 27(2), 159–165. <https://doi.org/10.1002/ptr.4688>
- Monte-Filho, S. S., Andrade, S. I. E., Lima, M. B., & Araujo, M. C. U. (2019). Synthesis of highly fluorescent carbon dots from lemon and onion juices for determination of riboflavin in multivitamin/mineral supplements. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 9(3), 209–216. <https://doi.org/10.1016/j.jpha.2019.02.003>
- Mpountoukas, P., Pantazaki, A., Kostareli, E., Christodoulou, P., Kareli, D., Poliliou, S., Mourelatos, C., Lambropoulou, V., & Lialiaris, T. (2010). Cytogenetic evaluation and DNA interaction studies of the food colorants amaranth, erythrosine and tartrazine. *Food and Chemical Toxicology*, 48(10), 2934–2944. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2010.07.030>
- Murathan, A., & Koçyiğit, H. (2013). Sulu çözeltilerden kadmiyum iyonlarının dolgu yataklarda at kestanesi ve meşe palamudu kullanılarak giderilmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(2), 303–306. <https://dergipark.org.tr/en/pub/gazimmfd/issue/6703/89088>
- Murugan, N., & Sundramoorthy, A. K. (2018). Green synthesis of fluorescent carbon dots from *Borassus flabellifer* flowers for label-free highly selective and sensitive detection of Fe³⁺ ions. *New Journal of Chemistry*, 42(16), 13297–13307. <https://doi.org/10.1039/C8NJ01894D>
- Nasrollahzadeh, M., Sajjadi, M., Sajadi, S. M., & Issaabadi, Z. (2019). Green

- Nanotechnology. İçinde *Interface Science and Technology* (1. baskı, C. 28). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813586-0.00005-5>
- Ng, H. K. M., Lim, G. K., & Leo, C. P. (2021a). Comparison between hydrothermal and microwave-assisted synthesis of carbon dots from biowaste and chemical for heavy metal detection: A review. *Microchemical Journal*, 165(February), 106116. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.106116>
- Ng, H. K. M., Lim, G. K., & Leo, C. P. (2021b). The effects of DMAEMA polyelectrolyte and TiO₂ photocatalyst on the tartrazine quenching of N-doped carbon dot immobilized in PVA/microfibrillated cellulose film. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104850>
- Ngu, P. Z. Z., Chia, S. P. P., Fong, J. F. Y., & Ng, S. M. (2016). Synthesis of carbon nanoparticles from waste rice husk used for the optical sensing of metal ions. *Xinxing Tan Cailiao/New Carbon Materials*, 31(2), 135–143. [https://doi.org/10.1016/S1872-5805\(16\)60008-2](https://doi.org/10.1016/S1872-5805(16)60008-2)
- Niu, Q., Gao, K., Lin, Z., & Wu, W. (2013). Amine-capped carbon dots as a nanosensor for sensitive and selective detection of picric acid in aqueous solution via electrostatic interaction. *Analytical Methods*, 5(21), 6228–6233. <https://doi.org/10.1039/c3ay41275j>
- Ogi, T., Aishima, K., Permatasari, F. A., Iskandar, F., Tanabe, E., & Okuyama, K. (2016). Kinetics of nitrogen-doped carbon dot formation: Via hydrothermal synthesis. *New Journal of Chemistry*, 40(6), 5555–5561. <https://doi.org/10.1039/C6NJ00009F>
- Omar, N. A. S., Fen, Y. W., Ramli, I., Hashim, H. S., Ramdzan, N. S. M., & Fauzi, N. I. M. (2022). A Review on Carbon Dots: Synthesis, Characterization and Its Application in Optical Sensor for Environmental Monitoring. *Nanomaterials*, 12(14). <https://doi.org/10.3390/nano12142365>
- Onat, E., Sait Izgi, M., Şahin, Ö., & Saka, C. (2024). Highly active hydrogen production from hydrolysis of potassium borohydride by caffeine carbon quantum dot-supported cobalt catalyst in ethanol solvent by hydrothermal treatment. *International Journal of Hydrogen Energy*, 51, 362–375. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.08.176>
- Özbek, N., Çekirge, E., Ocak, M., & Ocak, Ü. T. (2023). Highly blue-fluorescent carbon quantum dots obtained from medlar seed for Hg²⁺ determination in real water samples. *Journal of Fluorescence*. <https://doi.org/10.1007/s10895-023-03463-1>
- Ozyurt, D., Kobaisi, M. Al, Hocking, R. K., & Fox, B. (2023). Properties, synthesis, and applications of carbon dots: A review. *Carbon Trends*, 12(June), 100276. <https://doi.org/10.1016/j.cartre.2023.100276>
- Pajewska-Szmyt, M., Buszewski, B., & Gadzała-Kopciuch, R. (2020). Sulphur and nitrogen doped carbon dots synthesis by microwave assisted method as quantitative analytical nano-tool for mercury ion sensing. *Materials Chemistry and Physics*, 242. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122484>
- Pan, D., Zhang, J., Li, Z., & Wu, M. (2010). Hydrothermal route for cutting graphene sheets into blue-luminescent graphene quantum dots. *Advanced Materials*, 22(6), 734–738.

<https://doi.org/10.1002/adma.200902825>

- Pan, X., Qin, P., Liu, R., & Wang, J. (2011). Characterizing the interaction between tartrazine and two serum albumins by a hybrid spectroscopic approach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(12), 6650–6656. <https://doi.org/10.1021/jf200907x>
- Patel, B. K., Sepay, N., & Mahapatra, A. (2019). Curious results in the prospective binding interactions of the food additive tartrazine with β -lactoglobulin. *Langmuir*, 35(35), 11579–11589. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.9b01242>
- Peng, H., & Travas-Sejdic, J. (2009). Simple aqueous solution route to luminescent carbogenic dots from carbohydrates. *Chemistry of Materials*, 21(23), 5563–5565. <https://doi.org/10.1021/CM901593Y>
- Peng, X., Wang, Y., Wang, Q., Tang, J., Zhang, M., & Yang, X. (2022). Selective and sensitive detection of tartrazine in beverages by sulfur quantum dots with high fluorescence quantum yield. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 279. <https://doi.org/10.1016/J.SAA.2022.121454>
- Pérez-Urquiza, M., & Beltrán, J. . (2000). Determination of dyes in foodstuffs by capillary zone electrophoresis. *Journal of Chromatography A*, 898(2), 271–275. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)00841-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)00841-4)
- Perumal, S., Atchudan, R., Edison, T. N. J. I., & Lee, Y. R. (2021). Sustainable synthesis of multifunctional carbon dots using biomass and their applications: A mini-review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105802>
- Pierrat, P., Wang, R., Kereselidze, D., Lux, M., Didier, P., Kichler, A., Pons, F., & Lebeau, L. (2015). Efficient invitro and invivo pulmonary delivery of nucleic acid by carbon dot-based nanocarriers. *Biomaterials*, 51, 290–302. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2015.02.017>
- Pirvu, F., Iancu, V. I., Niculescu, M., Lehr, C. B., Pascu, L. F., & Galaon, T. (2020). Environmental detection of brilliant blue, sunset yellow and tartrazine using direct injection HPLC-DAD technique. *Revista de Chimie*, 71(6), 390–400. <https://doi.org/10.37358/RC.20.6.8205>
- Prado, M. A., Boas, L. F. V., Bronze, M. R., & Godoy, H. T. (2006). Validation of methodology for simultaneous determination of synthetic dyes in alcoholic beverages by capillary electrophoresis. *Journal of Chromatography A*, 1136(2), 231–236. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2006.09.071>
- Praneerad, J., Neungnoraj, K., In, I., & Paoprasert, P. (2019). Environmentally friendly supercapacitor based on carbon dots from durian peel as an electrode. *Key Engineering Materials*, 803, 115–119. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.803.115>
- Prasannan, A., & Imae, T. (2013). One-pot synthesis of fluorescent carbon dots from orange waste peels. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 52(44), 15673–15678. <https://doi.org/10.1021/ie402421s>

- Prathumsuwan, T., Jamnongsong, S., Sampattavanich, S., & Paoprasert, P. (2018). Preparation of carbon dots from succinic acid and glycerol as ferrous ion and hydrogen peroxide dual-mode sensors and for cell imaging. *Optical Materials*, 86, 517–529. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2018.10.054>
- Purbia, R., & Paria, S. (2016). A simple turn on fluorescent sensor for the selective detection of thiamine using coconut water derived luminescent carbon dots. *Biosensors and Bioelectronics*, 79, 467–475. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2015.12.087>
- Püssa, T. (2013). Principles of Food Toxicology. *Principles of Food Toxicology*. <https://doi.org/10.1201/b15373>
- Qi, H., Huang, D., Jing, J., Ran, M., Jing, T., Zhao, M., Zhang, C., Sun, X., Sami, R., & Benajiba, N. (2022). Transforming waste into value: Pomelo-peel-based nitrogen-doped carbon dots for the highly selective detection of tetracycline. *RSC Advances*, 12(12), 7574–7583. <https://doi.org/10.1039/d2ra00134a>
- Qi, H., Teng, M., Liu, M., Liu, S., Li, J., Yu, H., Teng, C., Huang, Z., Liu, H., Shao, Q., Umar, A., Ding, T., Gao, Q., & Guo, Z. (2019). Biomass-derived nitrogen-doped carbon quantum dots: highly selective fluorescent probe for detecting Fe³⁺ ions and tetracyclines. *Journal of Colloid and Interface Science*, 539, 332–341. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.12.047>
- Qiao, Z. A., Wang, Y., Gao, Y., Li, H., Dai, T., Liu, Y., & Huo, Q. (2010). Commercially activated carbon as the source for producing multicolor photoluminescent carbon dots by chemical oxidation. *Chemical Communications*, 46(46), 8812–8814. <https://doi.org/10.1039/c0cc02724c>
- Qin, J., Zhang, L., & Yang, R. (2019). Solid pyrolysis synthesis of excitation-independent emission carbon dots and its application to isoniazid detection. *Journal of Nanoparticle Research*, 21(3). <https://doi.org/10.1007/s11051-019-4503-8>
- Ramanan, V., Thiyagarajan, S. K., Raji, K., Suresh, R., Sekar, R., & Ramamurthy, P. (2016). Outright green synthesis of fluorescent carbon dots from eutrophic algal blooms for in vitro imaging. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 4(9), 4724–4731. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b00935>
- Ramoğlu, B., Gümrükçüoğlu, A., Çekirge, E., Ocak, M., & Ocak, Ü. (2021). One spot microwave synthesis and characterization of nitrogen-doped carbon dots with high oxygen content for fluorometric determination of banned sudan II dye in spice samples. *Journal of Fluorescence*, 31(6), 1587–1598. <https://doi.org/10.1007/s10895-021-02795-0>
- Rana, R., Kumar, A., & Bhatia, R. (2020). Estimation of Tartrazine and Brilliant Blue Supra in Marketed Formulation through HPLC and Photo Stability Studies. *Analytical Chemistry Letters*, 10(4), 507–516. <https://doi.org/10.1080/22297928.2020.1801503>
- Resmi Gazete, (2023).
- Reyes, D., Camacho, M., Camacho, M., Mayorga, M., Weathers, D., Salamo, G., Wang, Z., & Neogi, A. (2016). Laser Ablated Carbon Nanodots for Light Emission. *Nanoscale*

Research Letters, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s11671-016-1638-8>

- Rezaei, M., Safar Abadi, F., Sharifi, Z., Karimi, F., Alimohammadi, M., Susan Abadi, R. A., & Roostaei, H. (2014). Assessment of Synthetic Dyes in Food Stuffs Produced in Confectioneries and Restaurants in Arak, Iran. *Thrita*, 3(4), 1–5. <https://doi.org/10.5812/thrita.22776>
- Rodríguez, J. A., Escamilla-Lara, K. A., Guevara-Lara, A., Miranda, J. M., & Páez-Hernández, M. E. (2015). Application of an activated carbon-based support for magnetic solid phase extraction followed by spectrophotometric determination of tartrazine in commercial beverages. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/291827>
- Rodriguez, J. A., Ibarra, I. S., Miranda, J. M., Barrado, E., & Santos, E. M. (2016). Magnetic solid phase extraction based on fullerene and activated carbon adsorbents for determination of azo dyes in water samples by capillary electrophoresis. *Analytical Methods*, 8(48), 8466–8473. <https://doi.org/10.1039/C6AY02631A>
- Rong, M., Yang, X., Huang, L., Chi, S., Zhou, Y., Shen, Y., Chen, B., Deng, X., & Liu, Z.-Q. (2019). Hydrogen peroxide-assisted ultrasonic synthesis of BCNO QDs for anthrax biomarker detection. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 11(2), 2336–2343. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b21786>
- Roshni, V., & Divya, O. (2017). One-step microwave-assisted green synthesis of luminescent N-doped carbon dots from sesame seeds for selective sensing of Fe(III). *Current Science*, 112(2), 385–390. <https://doi.org/10.18520/cs/v112/i02/385-390>
- Sachdev, A., & Gopinath, P. (2015). Green synthesis of multifunctional carbon dots from coriander leaves and their potential application as antioxidants, sensors and bioimaging agents. *Analyst*, 140(12), 4260–4269. <https://doi.org/10.1039/c5an00454c>
- Sahoo, N. K., Jana, G. C., Aktara, M. N., Das, S., Nayim, S., Patra, A., Bhattacharjee, P., Bhadra, K., & Hossain, M. (2020). Carbon dots derived from lychee waste: Application for Fe³⁺ ions sensing in real water and multicolor cell imaging of skin melanoma cells. *Materials Science and Engineering: C*, 108, 110429. <https://doi.org/10.1016/J.MSEC.2019.110429>
- Sakthivel, M., Sivakumar, M., Chen, S. M., & Pandi, K. (2018). Electrochemical synthesis of poly(3,4-ethylenedioxythiophene) on terbium hexacyanoferrate for sensitive determination of tartrazine. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 256, 195–203. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.09.086>
- Saleh, M. M. S., Hashem, E. Y., & Salahi, N. O. A. A.-. (2016). Oxidation and complexation-based spectrophotometric methods for sensitive determination of tartrazine E102 in some commercial food samples. *Computational Chemistry*, 04(02), 51–64. <https://doi.org/10.4236/cc.2016.42005>
- Sarswat, P. K., & Free, M. L. (2015). Light emitting diodes based on carbon dots derived from food, beverage, and combustion wastes. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 17(41), 27642–27652. <https://doi.org/10.1039/c5cp04782j>

- Şatana Kara, H. E. (2019). Novel “turn off-on” sensors for detection of DNA-acrylamide interaction using ZnS quantum dots as a phosphorescent probe. *Turkish Journal of Chemistry*, 43(1), 125–136. <https://doi.org/10.3906/kim-1807-59>
- Schneider, E. M., Bärtsch, A., Stark, W. J., & Grass, R. N. (2019). Safe One-Pot Synthesis of Fluorescent Carbon Quantum Dots from Lemon Juice for a Hands-On Experience of Nanotechnology. *Journal of Chemical Education*, 96(3), 540–545. <https://doi.org/10.1021/ACS.JCHEMED.8B00114>
- Schneider, J., Reckmeier, C. J., Xiong, Y., von Seckendorff, M., Sussha, A. S., Kasák, P., & Rogach, A. L. (2017). Molecular fluorescence in citric acid-based carbon dots. *The Journal of Physical Chemistry C*, 121(3), 2014–2022. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.6b12519>
- Sciortino, A., Cannizzo, A., & Messina, F. (2018). Carbon Nnanodots: A Review—from the current understanding of the fundamental photophysics to the full control of the optical response. *C*, 4(4), 67. <https://doi.org/10.3390/c4040067>
- Şen, F. B., Beğiç, N., Bener, M., & Apak, R. (2022). Fluorescence turn-off sensing of TNT by polyethylenimine capped carbon quantum dots. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 271. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2022.120884>
- Seyhan, S. (2006). *Bazı gıdalarda tartrazin ve indigotin'in yüksek performanslı sıvı kromatografisi yöntemi ile tayini*. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Sha, O., Zhu, X., Feng, Y., & Ma, W. (2015). Aqueous two-phase based on ionic liquid liquid-liquid microextraction for simultaneous determination of five synthetic food colourants in different food samples by high-performance liquid chromatography. *Food Chemistry*, 174, 380–386. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.068>
- Shabbir, H., Csapó, E., & Wojnicki, M. (2023). Carbon Quantum Dots: The Role of Surface Functional Groups and Proposed Mechanisms for Metal Ion Sensing. *Inorganics*, 11(6), 262. <https://doi.org/10.3390/inorganics11060262>
- Shaik, M. A. S., Samanta, D., Shaw, M., Mondal, I., Basu, R., & Pathak, A. (2022). Fluorescent N, S co-doped carbon dots for tartrazine sensing and mechanistic perception of their radical scavenging activity. *Sensors and Actuators Reports*, 4, 100127. <https://doi.org/10.1016/j.snr.2022.100127>
- Shamsipur, M., Molaei, K., Molaabasi, F., Alipour, M., Alizadeh, N., Hosseinkhani, S., & Hosseini, M. (2018). Facile preparation and characterization of new green emitting carbon dots for sensitive and selective off/on detection of Fe³⁺ ion and ascorbic acid in water and urine samples and intracellular imaging in living cells. *Talanta*, 183, 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.02.042>
- Shao, J., Zhu, S., Liu, H., Song, Y., Tao, S., & Yang, B. (2017). Full-Color Emission Polymer Carbon Dots with Quench-Resistant Solid-State Fluorescence. *Advanced Science*, 4(12). <https://doi.org/10.1002/advs.201700395>

- Shen, J., Shang, S., Chen, X., Wang, D., & Cai, Y. (2017). Facile synthesis of fluorescence carbon dots from sweet potato for Fe³⁺ sensing and cell imaging. *Materials Science and Engineering C*, 76, 856–864. <https://doi.org/10.1016/J.MSEC.2017.03.178>
- Shi, J., Lu, C., Yan, D., & Ma, L. (2013). High selectivity sensing of cobalt in HepG2 cells based on necklace model microenvironment-modulated carbon dot-improved chemiluminescence in Fenton-like system. *Biosensors and Bioelectronics*, 45(1), 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2013.01.056>
- Shi, L., Zhao, B., Li, X., Zhang, G., Zhang, Y., Dong, C., & Shuang, S. (2016). Eco-friendly synthesis of nitrogen-doped carbon nanodots from wool for multicolor cell imaging, patterning, and biosensing. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 235, 316–324. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.05.094>
- Shi, X., Wei, W., Fu, Z., Gao, W., Zhang, C., Zhao, Q., Deng, F., & Lu, X. (2019). Review on carbon dots in food safety applications. *Talanta*, 194(October 2018), 809–821. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.11.005>
- Shibata, H., Abe, M., Sato, K., Uwai, K., Tokuraku, K., & Iimori, T. (2022). Microwave-assisted synthesis and formation mechanism of fluorescent carbon dots from starch. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 3, 100218. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2022.100218>
- Siburian, R., Sihotang, H., Lumban Raja, S., Supeno, M., & Simanjuntak, C. (2018). New route to synthesize of graphene nano sheets. *Oriental Journal of Chemistry*, 34(1), 182–187. <https://doi.org/10.13005/ojc/340120>
- Sierra-Rosales, P., Toledo-Neira, C., & Squella, J. A. (2017). Electrochemical determination of food colorants in soft drinks using MWCNT-modified GCEs. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 240, 1257–1264. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.08.135>
- Simões, E. F. C., da Silva, J. C. G. E., & Leitão, J. M. M. (2014). Carbon dots from tryptophan doped glucose for peroxynitrite sensing. *Analytica Chimica Acta*, 852, 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2014.08.050>
- Singh, A., Eftekhari, E., Scott, J., Kaur, J., Yambem, S., Leusch, F., Wellings, R., Gould, T., Ostrikov, K., Sonar, P., & Li, Q. (2020). Carbon dots derived from human hair for ppb level chloroform sensing in water. *Sustainable Materials and Technologies*, 25, e00159. <https://doi.org/10.1016/J.SUSMAT.2020.E00159>
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2013). *Fundamentals of Analytical Chemistry*. Cengage Learning.
- Soltes, E. J., & Elder, T. J. (2018). Pyrolysis. İçinde *Organic Chemicals from Biomass* (ss. 63–99). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781351075251-5>
- Song, J., Zhang, Y., Huang, Y., Fan, Y., & Lai, K. (2018). Rapid tartrazine determination in large yellow croaker with Ag nanowires using surface-enhanced raman spectroscopy. *Nanomaterials*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/nano8120967>
- Song, W., Zhang, H. J., Liu, Y. H., Ren, C. L., & Chen, H. L. (2017). A new fluorescence

- probing strategy for the detection of parathion-methyl based on N-doped carbon dots and methyl parathion hydrolase. *Chinese Chemical Letters*, 28(8), 1675–1680. <https://doi.org/10.1016/j.ccllet.2017.05.001>
- Song, Y., Yan, X., Li, Z., Qu, L., Zhu, C., Ye, R., Li, S., Du, D., & Lin, Y. (2018). Highly photoluminescent carbon dots derived from linseed and their applications in cellular imaging and sensing. *Journal of Materials Chemistry B*, 6(19), 3181–3187. <https://doi.org/10.1039/c8tb00116b>
- Soponar, F., Moț, A. C., & Sârbu, C. (2008). Quantitative determination of some food dyes using digital processing of images obtained by thin-layer chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1188(2), 295–300. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2008.02.077>
- Soylak, M., & Uzcan, F. (2020). A novel ultrasonication-assisted deep eutectic solvent microextraction procedure for tartrazine at trace levels from environmental samples. *Journal of the Iranian Chemical Society*, 17(2), 461–467. <https://doi.org/10.1007/s13738-019-01781-5>
- Suma, B. P., Adarakatti, P. S., Kempahanumakkagari, S. K., & Malingappa, P. (2019). A new polyoxometalate/rGO/Pani composite modified electrode for electrochemical sensing of nitrite and its application to food and environmental samples. *Materials Chemistry and Physics*, 229, 269–278. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.02.087>
- Sun, R., & Liu, S. (2019). Synthesis of photoluminescent carbon dots and its effect on chondrocytes for knee joint therapy applications. *Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology*, 47(1), 1321–1325. <https://doi.org/10.1080/21691401.2019.1593855>
- Sun, X., & Lei, Y. (2017). Fluorescent carbon dots and their sensing applications. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 89, 163–180. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.02.001>
- Sun, X., Liu, Y., Niu, N., & Chen, L. (2019). Synthesis of molecularly imprinted fluorescent probe based on biomass-derived carbon quantum dots for detection of mesotrione. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 411(21), 5519–5530. <https://doi.org/10.1007/s00216-019-01930-y>
- 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. *Journal of the American Chemical Society*, 128(24), 7756–7757. <https://doi.org/10.1021/ja062677d>
- Supchocksoonthorn, P., Hanchaina, R., Sinoy, M. C. A., de Luna, M. D. G., Kangsamaksin, T., & Paoprasert, P. (2021). Novel solution- and paper-based sensors based on label-free fluorescent carbon dots for the selective detection of pyrimethanil. *Applied Surface Science*, 564, 150372. <https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2021.150372>
- Sutanto, H., Alkian, I., Romanda, N., Lewa, I. W. L., Marhaendrajaya, I., & Triadyaksa, P. (2020). High green-emission carbon dots and its optical properties: Microwave power effect. *AIP Advances*, 10(5). <https://doi.org/10.1063/5.0004595>

- Suter, A., Bommer, S., & Rechner, J. (2006). Treatment of patients with venous insufficiency with fresh plant horse chestnut seed extract: A review of 5 clinical studies. *Advances in Therapy*, 23(1), 179–190. <https://doi.org/10.1007/BF02850359>
- Tabaraki, R., & Abdi, O. (2018). Green and simple turn off/on fluorescence sensor for mercury (II), cysteine and histidine. *Journal of Molecular Liquids*, 251, 77–82. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.12.047>
- Tabaraki, R., & Abdi, O. (2019). Microwave assisted synthesis of N-doped carbon dots: an Easy, fast and cheap sensor for determination of aspartic acid in sport supplements. *Journal of Fluorescence*, 29(3), 751–756. <https://doi.org/10.1007/s10895-019-02387-z>
- Tahtaisleyen, S., Gorduk, O., & Sahin, Y. (2020). Electrochemical determination of tartrazine using a graphene/Poly(L-Phenylalanine) modified pencil graphite electrode. *Analytical Letters*, 53(11), 1683–1703. <https://doi.org/10.1080/00032719.2020.1716242>
- Tammina, S. K., & Yang, Y. (2020). Highly sensitive and selective detection of 4-nitrophenol, and on-off-on fluorescence sensor for Cr (VI) and ascorbic acid detection by glucosamine derived n-doped carbon dots. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 387, 112134. <https://doi.org/10.1016/J.JPHOTOCHEM.2019.112134>
- Tang, T. X., Xu, X. J., Wang, D. M., Zhao, Z. M., Zhu, L. P., & Yang, D. P. (2015). A Rapid and Green Limit Test Method for Five Synthetic Colorants in Foods Using Polyamide Thin-layer Chromatography. *Food Analytical Methods*, 8(2), 459–466. <https://doi.org/10.1007/s12161-014-9907-6>
- Tang, X., Wang, H., Yu, H., Bui, B., Zhang, W., Wang, S., Chen, M., Yuan, L., Hu, Z., & Chen, W. (2022). Exploration of nitrogen-doped grape peels carbon dots for baicalin detection. *Materials Today Physics*, 22, 100576. <https://doi.org/10.1016/j.mtphys.2021.100576>
- Tang, X., Yu, H., Bui, B., Wang, L., Xing, C., Wang, S., Chen, M., Hu, Z., & Chen, W. (2021). Nitrogen-doped fluorescence carbon dots as multi-mechanism detection for iodide and curcumin in biological and food samples. *Bioactive Materials*, 6(6), 1541–1554. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2020.11.006>
- Tao, H., Yang, K., Ma, Z., Wan, J., Zhang, Y., Kang, Z., & Liu, Z. (2012). In Vivo NIR fluorescence imaging, biodistribution, and toxicology of photoluminescent carbon dots produced from carbon nanotubes and graphite. *Small*, 8(2), 281–290. <https://doi.org/10.1002/smll.201101706>
- Taşlı, B., Çavuşoğlu, K., & Yalçın, E. (2018). Allium cepa (Amaryllidaceae) L.'da tartrazin uygulaması sonucu oluşan fizyolojik, sitogenetik ve anatomik değişimlerin araştırılması. *Turkish Journal of Nature and Science*, 7(2), 1–6. <https://dergipark.org.tr/en/pub/tdfd/issue/41964/372573>
- Taylor, S. L., & Baumert, J. L. (2014). Food Toxicology. İçinde *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems* (ss. 366–380). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00064-4>

- Tejwan, N., Sharma, A., Thakur, S., & Das, J. (2021). Green synthesis of a novel carbon dots from red Korean ginseng and its application for Fe²⁺ sensing and preparation of nanocatalyst. *Inorganic Chemistry Communications*, 134, 108985. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2021.108985>
- Thongpool, V., Asanithi, P., & Limsuwan, P. (2012). Synthesis of carbon particles using laser ablation in ethanol. *Procedia Engineering*, 32, 1054–1060. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.02.054>
- Thongsai, N., Nagae, Y., Hirai, T., Takahara, A., Uchiyama, T., Kamitani, K., & Paoprasert, P. (2017). Multifunctional nitrogen-doped carbon dots from maleic anhydride and tetraethylenepentamine via pyrolysis for sensing, adsorbance, and imaging applications. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 253, 1026–1033. <https://doi.org/10.1016/J.SNB.2017.07.051>
- Thulasi, S., Kathiravan, A., & Asha Jhonsi, M. (2020). Fluorescent Carbon Dots Derived from Vehicle Exhaust Soot and Sensing of Tartrazine in Soft Drinks. *ACS Omega*, 5(12), 7025–7031. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c00707>
- Tian, M., Wang, Y., & Zhang, Y. (2018). Synthesis of fluorescent nitrogen-doped carbon quantum dots for selective detection of picric acid in water samples. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 18(12), 8111–8117. <https://doi.org/10.1166/jnn.2018.16342>
- Treepet, S., Chokradjaroen, C., Kim, K., Saito, N., & Watthanaphanit, A. (2022). Saccharide-originated fluorescent carbon dots synthesized by in-liquid plasma with controlled orderliness of carbon core through precursor alteration for selective and rapid metal ion detection. *Materials Today Chemistry*, 26, 101139. <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2022.101139>
- Tuzimski, T., & Woźniak, A. (2008). Application of solid-phase extraction and planar chromatography with diode-array detection to the qualitative and quantitative analysis of dyes in beverages. *Journal of Planar Chromatography - Modern TLC*, 21(2), 89–96. <https://doi.org/10.1556/JPC.21.2008.2.3>
- Tyagi, A., Tripathi, K. M., Singh, N., Choudhary, S., & Gupta, R. K. (2016). Green synthesis of carbon quantum dots from lemon peel waste: Applications in sensing and photocatalysis. *RSC Advances*, 6(76), 72423–72432. <https://doi.org/10.1039/c6ra10488f>
- URL-1. (y.y.). Tarihinde 07 Ocak 2024, adresinden erişildi <https://tr.wikipedia.org/wiki/Tartrazin#/media/Dosya:Tartrazine.svg>
- Valeur, B. (2001). *Molecular Fluorescence: Principles and Applications*. WILEY-VCH.
- Vandarkuzhali, S. A. A., Jeyalakshmi, V., Sivaraman, G., Singaravadivel, S., Krishnamurthy, K. R., & Viswanathan, B. (2017). Highly fluorescent carbon dots from Pseudo-stem of banana plant: Applications as nanosensor and bio-imaging agents. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 252, 894–900. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.06.088>

- Vanessa, H., Wenshuo, W., Cornelia, D., Simon, W., Martin, T., & Wolfgang, P. (2018). Microwave-assisted one-step synthesis of white light-emitting carbon dot suspensions. *Optical Materials*, 80, 110–119. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2018.04.039>
- Varisco, M., Zufferey, D., Ruggi, A., Zhang, Y., Erni, R., & Mamula, O. (2017). Synthesis of hydrophilic and hydrophobic carbon quantum dots from waste of wine fermentation. *Royal Society Open Science*, 4(12), 170900. <https://doi.org/10.1098/rsos.170900>
- Venugopalan, P., & Vidya, N. (2023). Microwave-assisted green synthesis of carbon dots derived from wild lemon (*Citrus pennivesiculata*) leaves as a fluorescent probe for tetracycline sensing in water. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 286. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2022.122024>
- Vidal, M., Garcia-Arrona, R., Bordagaray, A., Ostra, M., & Albizu, G. (2018). Simultaneous determination of color additives tartrazine and allura red in food products by digital image analysis. *Talanta*, 184(February), 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.02.111>
- Vidotti, E. C., Cancino, J. C., Oliveira, C. C., & Rollemberg, M. D. C. E. (2005). Simultaneous determination of food dyes by first derivative spectrophotometry with sorption onto polyurethane foam. *Anal Sci*, 21(2), 149. <https://doi.org/10.2116/analsci.21.149>
- Vidya, T., Anupama, M., Muhammed, S., Joseph, J., & Anappara, A. A. (2021). Multi-functional carbon dots for visual detection of picric acid and white-light emission. *Materials Research Bulletin*, 138, 111223. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2021.111223>
- Vijeata, A., Chaudhary, S., & Chaudhary, G. R. (2022). Fluorescent carbon dots from Indian Bael patra as effective sensing tool to detect perilous food colorant. *Food Chemistry*, 373(PB), 131492. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131492>
- Vlassa, M., Filip, M., & Coman, V. (2024). RP-HPTLC–UV/VIS and RP-HPLC–DAD determination of eight synthetic food dyes in alcoholic and soft drinks from the Romanian market. *Journal of Planar Chromatography - Modern TLC*. <https://doi.org/10.1007/s00764-023-00281-w>
- Wang, B., Song, A., Feng, L., Ruan, H., Li, H., Dong, S., & Hao, J. (2015). Tunable amphiphilicity and multifunctional applications of ionic-liquid-modified carbon quantum dots. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 7(12), 6919–6925. <https://doi.org/10.1021/acsami.5b00758>
- Wang, C., Yang, M., Shi, H., Yao, Z., Liu, E., Hu, X., Guo, P., Xue, W., & Fan, J. (2022). Carbon quantum dots prepared by pyrolysis: Investigation of the luminescence mechanism and application as fluorescent probes. *Dyes and Pigments*, 204. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2022.110431>
- Wang, J., Wang, C. F., & Chen, S. (2012a). Amphiphilic egg-derived carbon dots: Rapid plasma fabrication, pyrolysis process, and multicolor printing patterns. *Angewandte Chemie - International Edition*, 51(37), 9297–9301. <https://doi.org/10.1002/anie.201204381>

- Wang, J., Wang, C. F., & Chen, S. (2012b). Amphiphilic egg-derived carbon dots: Rapid plasma fabrication, pyrolysis process, and multicolor printing patterns. *Angewandte Chemie - International Edition*, 51(37), 9297–9301. <https://doi.org/10.1002/ANIE.201204381>
- Wang, J., Wei, J., Su, S., & Qiu, J. (2015). Novel fluorescence resonance energy transfer optical sensors for vitamin B12 detection using thermally reduced carbon dots. *New Journal of Chemistry*, 39(1), 501–507. <https://doi.org/10.1039/c4nj00538d>
- Wang, L., Li, W., Wu, B., Li, Z., Wang, S., Liu, Y., Pan, D., & Wu, M. (2016). Facile synthesis of fluorescent graphene quantum dots from coffee grounds for bioimaging and sensing. *Chemical Engineering Journal*, 300, 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.04.123>
- Wang, M., & Zhao, J. (2015). Facile synthesis of Au supported on ionic liquid functionalized reduced graphene oxide for simultaneous determination of Sunset yellow and Tartrazine in drinks. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 216, 578–585. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.04.053>
- Wang, W., Wu, J., Xing, Y., & Wang, Z. (2022). Solvent-dependent red emissive carbon dots and their applications in sensing and solid-state luminescence. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 360. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2022.131645>
- Wang, Y., Kim, S. H., & Feng, L. (2015). Highly luminescent N, S- Co-doped carbon dots and their direct use as mercury(II) sensor. *Analytica Chimica Acta*, 890, 134–142. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2015.07.051>
- Wang, Y., Mu, Y., Hu, J., Zhuang, Q., & Ni, Y. (2019). Rapid, one-pot, protein-mediated green synthesis of water-soluble fluorescent nickel nanoclusters for sensitive and selective detection of tartrazine. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 214, 445–450. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2019.02.055>
- Wang, Y. Y., Xiao, L. Y., Chen, Y. K., Wu, P. C., Chen, Y. H., Hu, S. C. S., & Yuan, S. S. F. (2020). Orabase-Formulated Benzalkonium Chloride Effectively Suppressed Oral Potentially Malignant Disorder in Vitro and in Vivo. *ACS Omega*, 5(12), 7018–7024. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c00640>
- Wang, Y., Yang, L., Liu, B., Yu, S., & Jiang, C. (2018). A colorimetric paper sensor for visual detection of mercury ions constructed with dual-emission carbon dots. *New Journal of Chemistry*, 42(19), 15671–15677. <https://doi.org/10.1039/C8NJ03683G>
- Watcharamongkol, T., Khaopueak, P., Seesau, C., & Wechakorn, K. (2024). Green hydrothermal synthesis of multifunctional carbon dots from cassava pulps for metal sensing, antioxidant, and mercury detoxification in plants. *Carbon Resources Conversion*, 7(2), 100206. <https://doi.org/10.1016/J.CRCON.2023.100206>
- Wei, X., Li, L., Liu, J., Yu, L., Li, H., Cheng, F., Yi, X., He, J., & Li, B. (2019). Green Synthesis of Fluorescent Carbon Dots from Gynostemma for Bioimaging and Antioxidant in Zebrafish. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 11(10), 9832–9840. <https://doi.org/10.1021/acsami.9b00074>

- Wen, X., Shi, L., Wen, G., Li, Y., Dong, C., Yang, J., & Shuang, S. (2016). Green and facile synthesis of nitrogen-doped carbon nanodots for multicolor cellular imaging and Co^{2+} sensing in living cells. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 235, 179–187. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.05.066>
- Wilkinson, J. A., & Brown, A. M. G. (1999). Horse chestnut - *Aesculus hippocastanum*: Potential applications in cosmetic skin-care products. *International Journal of Cosmetic Science*, 21(6), 437–447. <https://doi.org/10.1046/j.1467-2494.1999.234192.x>
- Wu, G., Feng, M., & Zhan, H. (2015). Generation of nitrogen-doped photoluminescent carbonaceous nanodots via the hydrothermal treatment of fish scales for the detection of hypochlorite. *RSC Advances*, 5(55), 44636–44641. <https://doi.org/10.1039/c5ra04989j>
- Wu, J. H., & Lee, H. L. (2020). Determination of sunset yellow and tartrazine in drinks using screen-printed carbon electrodes modified with reduced graphene oxide and NiBTC frameworks. *Microchemical Journal*, 158, 105133. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105133>
- Xiao, L., & Sun, H. (2018). Novel properties and applications of carbon nanodots. *Nanoscale Horizons*, 3(6), 565–597. <https://doi.org/10.1039/C8NH00106E>
- Xiao, P., Ke, Y., Lu, J., Huang, Z., Zhu, X., Wei, B., & Huang, L. (2018). Photoluminescence immunoassay based on grapefruit peel-extracted carbon quantum dots encapsulated into silica nanospheres for p53 protein. *Biochemical Engineering Journal*, 139, 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2018.08.012>
- Xie, Y., Cheng, D., Liu, X., & Han, A. (2019). Green hydrothermal synthesis of N-doped carbon dots from biomass highland barley for the detection of Hg^{2+} . *Sensors (Switzerland)*, 19(14), 3169. <https://doi.org/10.3390/s19143169>
- Xie, Y., Geng, X., Gao, J., Shi, W., Zhou, Z., Wang, H., Zhang, D., Deng, B., & Yu, R. (2021). Synthesis of carbon dots@ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ solid-state composites with blue, red emitting for horticultural application. *Journal of Alloys and Compounds*, 873. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.159663>
- Xu-Cheng, F., Xuan-Hua, L., Jin, J. Z., Zhang, J., & Wei, G. (2018). Facile synthesis of bagasse waste derived carbon dots for trace mercury detection. *Materials Research Express*, 5(6), 065044. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aaccb7>
- Xu, D., Lei, F., Chen, H., Yin, L., Shi, Y., & Xie, J. (2019). One-step hydrothermal synthesis and optical properties of self-quenching-resistant carbon dots towards fluorescent ink and as nanosensors for Fe^{3+} detection. *RSC Advances*, 9(15), 8290–8299. <https://doi.org/10.1039/c8ra10570g>
- Xu, H., Yang, X., Li, G., Zhao, C., & Liao, X. (2015). Green synthesis of fluorescent carbon dots for selective detection of tartrazine in food samples. *J Agric Food Chem*, 63(30), 6707–6714. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02319>
- 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>
- 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. <https://doi.org/10.1002/chem.201203641>
- Xue, H., Yan, Y., Hou, Y., Li, G., & Hao, C. (2018). Novel carbon quantum dots for fluorescent detection of phenol and insights into the mechanism. *New Journal of Chemistry*, 42(14), 11485–11492. <https://doi.org/10.1039/c8nj01611a>
- Xue, M., Zhan, Z., Zou, M., Zhang, L., & Zhao, S. (2016). Green synthesis of stable and biocompatible fluorescent carbon dots from peanut shells for multicolor living cell imaging. *New Journal of Chemistry*, 40(2), 1698–1703. <https://doi.org/10.1039/C5NJ02181B>
- Xue, M., Zou, M., Zhao, J., Zhan, Z., & Zhao, S. (2015). Green preparation of fluorescent carbon dots from lychee seeds and their application for the selective detection of methylene blue and imaging in living cells. *Journal of Materials Chemistry B*, 3(33), 6783–6789. <https://doi.org/10.1039/c5tb01073j>
- Yamjala, K., Nainar, M. S., & Ramiseti, N. R. (2016). Methods for the analysis of azo dyes employed in food industry – A review. *Food Chemistry*, 192, 813–824. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.085>
- Yan, X., Song, Y., Zhu, C., Li, H., Du, D., Su, X., & Lin, Y. (2018). MnO₂ Nanosheet-Carbon Dots Sensing Platform for Sensitive Detection of Organophosphorus Pesticides. *Analytical Chemistry*, 90(4), 2618–2624. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.7b04193>
- Yang, H., He, L., Long, Y., Li, H., Pan, S., Liu, H., & Hu, X. (2018). Fluorescent carbon dots synthesized by microwave-assisted pyrolysis for chromium(VI) and ascorbic acid sensing and logic gate operation. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 205, 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.07.015>
- Yang, H., Ran, G., Yan, J., Zhang, H., & Hu, X. (2018). A sensitive fluorescence quenching method for the detection of tartrazine with acriflavine in soft drinks. *Luminescence*, 33(2), 349–355. <https://doi.org/10.1002/bio.3420>
- Yang, R., Guo, X., Jia, L., Zhang, Y., Zhao, Z., & Lonshakov, F. (2017). *Green preparation of carbon dots with mangosteen pulp for the selective detection of Fe³⁺ ions and cell imaging*. *Applied Surface Science*. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.05.252>
- Yang, X., Luo, N., Tan, Z., Jia, Z., & Liao, X. (2017). A Fluorescence Probe for Tartrazine Detection in Foodstuff Samples Based on Fluorescence Resonance Energy Transfer. *Food Analytical Methods*, 10(5), 1308–1316. <https://doi.org/10.1007/s12161-016-0691-3>
- Yang, X., Wang, D., Luo, N., Feng, M., Peng, X., & Liao, X. (2020). Green synthesis of fluorescent N,S-carbon dots from bamboo leaf and the interaction with nitrophenol

- compounds. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 239, 118462. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118462>
- Yang, X., Xu, J., Luo, N., Tang, F., Zhang, M., & Zhao, B. (2020). N,Cl co-doped fluorescent carbon dots as nanoprobe for detection of tartrazine in beverages. *Food Chemistry*, 310, 125832. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125832>
- Yang, Y., Cui, J., Zheng, M., Hu, C., Tan, S., Xiao, Y., Yang, Q., & Liu, Y. (2012). One-step synthesis of amino-functionalized fluorescent carbon nanoparticles by hydrothermal carbonization of chitosan. *Chemical Communications*, 48(3), 380–382. <https://doi.org/10.1039/c1cc15678k>
- Yang, Y., Liu, N., Qiao, S., Liu, R., Huang, H., & Liu, Y. (2015). Silver modified carbon quantum dots for solvent-free selective oxidation of cyclohexane. *New Journal of Chemistry*, 39(4), 2815–2821. <https://doi.org/10.1039/c4nj02256d>
- Yang, Z. C., Wang, M., Yong, A. M., Wong, S. Y., Zhang, X. H., Tan, H., Chang, A. Y., Li, X., & Wang, J. (2011). 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. <https://doi.org/10.1039/c1cc14860e>
- Yao, Y. Y., Gedda, G., Girma, W. M., Yen, C. L., Ling, Y. C., & Chang, J. Y. (2017). Magnetofluorescent Carbon Dots Derived from Crab Shell for Targeted Dual-Modality Bioimaging and Drug Delivery. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 9(16), 13887–13899. <https://doi.org/10.1021/acsami.7b01599>
- Ye, R., Xiang, C., Lin, J., Peng, Z., Huang, K., Yan, Z., Cook, N. P., Samuel, E. L. G., Hwang, C. C., Ruan, G., Ceriotti, G., Raji, A. R. O., Martí, A. A., & Tour, J. M. (2013). Coal as an abundant source of graphene quantum dots. *Nature Communications*, 4(1), 2943. <https://doi.org/10.1038/ncomms3943>
- Yi, J., Zeng, L., Wu, Q., Yang, L., & Xie, T. (2018). Sensitive Simultaneous Determination of Synthetic Food Colorants in Preserved Fruit Samples by Capillary Electrophoresis with Contactless Conductivity Detection. *Food Analytical Methods*, 11(6), 1608–1618. <https://doi.org/10.1007/S12161-017-1141-6/FIGURES/7>
- Yi, Z., Li, X., Zhang, H., Ji, X., Sun, W., Yu, Y., Liu, Y., Huang, J., Sarshar, Z., & Sain, M. (2021). High quantum yield photoluminescent N-doped carbon dots for switch sensing and imaging. *Talanta*, 222, 121663. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121663>
- Yu, H., Li, X., Zeng, X., & Lu, Y. (2016). Preparation of carbon dots by non-focusing pulsed laser irradiation in toluene. *Chemical Communications*, 52(4), 819–822. <https://doi.org/10.1039/c5cc08384b>
- Yu, T., Wang, H., Guo, C., Zhai, Y., Yang, J., & Yuan, J. (2018). A rapid microwave synthesis of green-emissive carbon dots with solid-state fluorescence and pH-sensitive properties. *Royal Society Open Science*, 5(7). <https://doi.org/10.1098/rsos.180245>
- Yuan, B., Xie, Z., Chen, P., & Zhou, S. (2018). Highly efficient carbon dots and their nanohybrids for trichromatic white LEDs. *Journal of Materials Chemistry C*, 6(22),

5957–5963. <https://doi.org/10.1039/C8TC01659C>

- Yuan, K., Zhang, X., Qin, R., Ji, X., Cheng, Y., Li, L., Yang, X., Lu, Z., & Liu, H. (2018). Surface state modulation of red emitting carbon dots for white light-emitting diodes. *Journal of Materials Chemistry C*, 6(46), 12631–12637. <https://doi.org/10.1039/C8TC04468F>
- Yuan, L., Jiang, L., Liu, Z., Xiang, Y., Song, F., & Tu, Y. (2023). Selective and sensitive simultaneous detection of tartrazine and Hg²⁺ based on N-doped yellow-green fluorescent carbon dots. *Dyes and Pigments*, 209. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2022.110893>
- Yuan, M., Zhong, R., Gao, H., Li, W., Yun, X., Liu, J., Zhao, X., Zhao, G., & Zhang, F. (2015). One-step, green, and economic synthesis of water-soluble photoluminescent carbon dots by hydrothermal treatment of wheat straw, and their bio-applications in labeling, imaging, and sensing. *Applied Surface Science*, 355, 1136–1144. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.07.095>
- Zaib, M., Akhtar, A., Maqsood, F., & Shahzadi, T. (2021). Green Synthesis of Carbon Dots and Their Application as Photocatalyst in Dye Degradation Studies. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(1), 437–446. <https://doi.org/10.1007/S13369-020-04904-W>
- Zhai, H., Zheng, B., Yang, F., Wang, M., & Xiao, D. (2018). Synthesis of water-soluble fluorescent carbon dots from *Setcreasea purpurea* boom and its application for Br² detection. *Analytical Methods*, 10(1), 151–157. <https://doi.org/10.1039/C7AY02631E>
- Zhang, C., Cui, Y., Song, L., Liu, X., & Hu, Z. (2016). Microwave assisted one-pot synthesis of graphene quantum dots as highly sensitive fluorescent probes for detection of iron ions and pH value. *Talanta*, 150, 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.12.015>
- Zhang, H., Zhao, X., Liu, S., Yang, J., Duan, R., Yuan, Y., & Hu, X. (2017). Determination of sunset yellow based on its quenching effect on the fluorescence of acridine orange. *Analytical Sciences*, 33(2), 243–247. <https://doi.org/10.2116/analsci.33.243>
- Zhang, P., Xue, Z., Luo, D., Yu, W., Guo, Z., & Wang, T. (2014). Dual-Peak electrogenerated chemiluminescence of carbon dots for iron ions detection. *Analytical Chemistry*, 86(12), 5620–5623. <https://doi.org/10.1021/ac5011734>
- Zhang, R., & Chen, W. (2013). Nitrogen-doped carbon quantum dots: Facile synthesis and application as a “turn-off” fluorescent probe for detection of Hg²⁺ ions. *Biosensors and Bioelectronics*, 55, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2013.11.074>
- Zhang, W., Liu, T., Zheng, X., Huang, W., & Wan, C. (2009). Surface-enhanced oxidation and detection of Sunset Yellow and Tartrazine using multi-walled carbon nanotubes film-modified electrode. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 74(1), 28–31. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2009.06.016>
- Zhang, Y., Fan, X., Sun, X., Yang, X., Li, Z., Yang, Z., & Dong, C. (2024). Synthesis of oil-soluble carbon dots via pyrolysis and their diverse applications in doxycycline detection, fluorescent ink and film. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and*

- Biomolecular Spectroscopy*, 304, 123406. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2023.123406>
- Zhang, Y., Wang, Y., Feng, X., Zhang, F., Yang, Y., & Liu, X. (2016). Effect of reaction temperature on structure and fluorescence properties of nitrogen-doped carbon dots. *Applied Surface Science*, 387, 1236–1246. <https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2016.07.048>
- Zhang, Z., Sun, W., & Wu, P. (2015). Highly Photoluminescent Carbon Dots Derived from Egg White: Facile and Green Synthesis, Photoluminescence Properties, and Multiple Applications. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 3(7), 1412–1418. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b00156>
- Zhao, C., Li, X., Cheng, C., & Yang, Y. (2019). Green and microwave-assisted synthesis of carbon dots and application for visual detection of cobalt(II) ions and pH sensing. *Microchemical Journal*, 147, 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.03.029>
- Zhao, D., Liu, X., Wei, C., Qu, Y., Xiao, X., & Cheng, H. (2019). One-step synthesis of red-emitting carbon dots via a solvothermal method and its application in the detection of methylene blue. *RSC Advances*, 9(51), 29533–29540. <https://doi.org/10.1039/C9RA05570C>
- Zhao, L., Geng, F., Di, F., Guo, L. H., Wan, B., Yang, Y., Zhang, H., & Sun, G. (2014). Polyamine-functionalized carbon nanodots: a novel chemiluminescence probe for selective detection of iron(III) ions. *RSC Advances*, 4(86), 45768–45771. <https://doi.org/10.1039/C4RA08071H>
- Zhao, S., Lan, M., Zhu, X., Xue, H., Ng, T. W., Meng, X., Lee, C. S., Wang, P., & Zhang, W. (2015). Green Synthesis of Bifunctional Fluorescent Carbon Dots from Garlic for Cellular Imaging and Free Radical Scavenging. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 7(31), 17054–17060. <https://doi.org/10.1021/acsami.5b03228>
- Zhao, Y., Zheng, W., Liao, M., Zhou, S., He, W., Liu, M., & Yao, Z. (2023). Fluorescent detection of tartrazine based on the supramolecular self-assembly of cationic perylene diimide. *Microchimica Acta*, 190(8). <https://doi.org/10.1007/s00604-023-05862-4>
- Zheng, J. X., Liu, X. H., Yang, Y. Z., Liu, X. G., & Xu, B. S. (2018a). Rapid and green synthesis of fluorescent carbon dots from starch for white light-emitting diodes. *Xinxing Tan Cailiao/New Carbon Materials*, 33(3), 276–288. [https://doi.org/10.1016/S1872-5805\(18\)60339-7](https://doi.org/10.1016/S1872-5805(18)60339-7)
- Zheng, J. X., Liu, X. H., Yang, Y. Z., Liu, X. G., & Xu, B. S. (2018b). Rapid and green synthesis of fluorescent carbon dots from starch for white light-emitting diodes. *Xinxing Tan Cailiao/New Carbon Materials*, 33(3), 276–288. [https://doi.org/10.1016/S1872-5805\(18\)60339-7](https://doi.org/10.1016/S1872-5805(18)60339-7)
- Zhou, J., Booker, C., Li, R., Zhou, X., Sham, T. K., Sun, X., & Ding, Z. (2007). An electrochemical avenue to blue luminescent nanocrystals from multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs). *Journal of the American Chemical Society*, 129(4), 744–745. <https://doi.org/10.1021/JA0669070>
- Zhou, J., Sheng, Z., Han, H., Zou, M., & Li, C. (2012). Facile synthesis of fluorescent carbon

- dots using watermelon peel as a carbon source. *Materials Letters*, 66(1), 222–224. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2011.08.081>
- Zhou, L., He, B., & Huang, J. (2013). Amphibious fluorescent carbon dots: One-step green synthesis and application for light-emitting polymer nanocomposites. *Chemical Communications*, 49(73), 8078–8080. <https://doi.org/10.1039/c3cc43295e>
- Zhu, C., Liu, C., Zhou, Y., Fu, Y., Guo, S., Li, H., Zhao, S., Huang, H., Liu, Y., & Kang, Z. (2017). Carbon dots enhance the stability of CdS for visible-light-driven overall water splitting. *Applied Catalysis B: Environmental*, 216, 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.05.049>
- 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(34), 5118–5120. <https://doi.org/10.1039/b907612c>
- Zhu, J., Zhu, F., Yue, X., Chen, P., Sun, Y., Zhang, L., Mu, D., & Ke, F. (2019). Waste Utilization of Synthetic Carbon Quantum Dots Based on Tea and Peanut Shell. *Journal of Nanomaterials*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/7965756>
- Zhu, L., Shen, D., Liu, Q., Wu, C., & Gu, S. (2021). Sustainable synthesis of bright green fluorescent carbon quantum dots from lignin for highly sensitive detection of Fe³⁺ ions. *Applied Surface Science*, 565, 150526. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.150526>
- Zhu, X., Han, L., Liu, H., & Sun, B. (2022). A smartphone-based ratiometric fluorescent sensing system for on-site detection of pyrethroids by using blue-green dual-emission carbon dots. *Food Chemistry*, 379, 132154. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132154>
- Zhuo, S., Shao, M., & Lee, S. T. (2012). Upconversion and downconversion fluorescent graphene quantum dots: Ultrasonic preparation and photocatalysis. *ACS Nano*, 6(2), 1059–1064. <https://doi.org/10.1021/NN2040395>
- Zoughi, S., Faridbod, F., Amiri, A., & Ganjali, M. R. (2021). Detection of tartrazine in fake saffron containing products by a sensitive optical nanosensor. *Food Chemistry*, 350, 129197. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129197>
- Zulfajri, M., Sudewi, S., Rasool, A., Hsu, S. C. N., & Huang, G. G. (2023). Fluorescent Ink and Chemical Sensing Towards Tartrazine Based on Nitrogen-Doped Carbon Dots Derived from Durian Seed Waste. *Waste and Biomass Valorization*, 14(12), 3971–3986. <https://doi.org/10.1007/s12649-023-02109-4>

ÖZGEÇMİŞ

Ender ÇEKİRGE, Orta öğretimini Trabzon’da tamamladı. 2000 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Kimya Bölümü’nde lisans eğitimine başladı. Bir yıl İngilizce hazırlık eğitimiyle birlikte 2005 yılında Kimyager unvanı ile mezun oldu. 2005-2006 Eğitim-Öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitimine başladı. Ağustos 2008’de “Bazı Yeni Oksim Tipi Ligand Komplekslerinin Nükleolitik Etkinliğinin İncelenmesi” adlı tez çalışmasını hazırlayarak Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. Yine 2008 yılı Ekim ayında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Ana Bilim Dalı’nda Doktora programına başladı. 2009 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Prof. Dr. Saadetin GÜNER Yakıt Uygulama ve Araştırma Merkezi’nde kimyager olarak çalışmaya başlayıp Merkezin kurucu kadrosunda bulundu. Burada, kurumun TS EN ISO 17025 Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği İçin Genel Şartlar kapsamında Merkezin akreditasyon sürecinde aktif rol oynadı ve analiz sorumlusu ve laboratuvar sorumluluğu görevlerini yürüttü. 2010 yılında Anadolu Üniversitesi İktisat Fakültesi Kamu Yönetimi Bölümü’ne kayıt yaptırdı. 2015 yılında lisans derecesi ile mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Farabi Hastanesi Biyokimya Laboratuvarı’nda görevlendirildi. Burada Birim Kalite Sorumlusu ve Kimyasal Kit Deposu Sorumlusu görevlerini yürüterek, Sağlık Bakanlığı tarafından laboratuvarın Tıbbi Laboratuvarlar Yönetmeliği’ne göre ruhsatlandırma sürecinde görev yaptı. 2016 yılında iş yoğunluğundan dolayı doktora eğitimine ara verdi. 2018 yılında 7143 sayılı Af Kanunundan yararlanarak doktora eğitimine devam etti. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Adli Bilimler Enstitüsü’nde görevlendirildi. Halen aynı birimde Taşınır Kayıt Kontrol Yetkilisi, Tahakkuk Sorumlusu ve Yazı İşleri Sorumlusu olarak görev yapmaktadır. Turkish Journal of Analytical Chemistry dergisinin kurucularından olup Editör Yardımcılığı ve Mizanpaj Editörü görevlerini yürütmektedir. C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı olan Ender ÇEKİRGE, iyi derecede İngilizce bilmektedir. Evli ve bir kız çocuğu babası olan Ender ÇEKİRGE gitar çalmakla birlikte müzikle yakından ilgilenmekte, klasik müzik, caz ve heavy metal tarzı müziklerden hoşlanmaktadır.