

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**KARBAZOL-BORON DİPİROMETEN-GRAFEN OKSİT
TEMELLİ NANOPLATFORMLAR**

ÜMMÜGÜLSÜM BÜYÜKPOLAT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA ANABİLİM DALI**

DANIŞMAN: PROF. DR. ELİF OKUTAN

TEMMUZ 2025

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KARBAZOL-BORON DİPİROMETEN-GRAFEN OKSİT
TEMELLİ NANOPLATFORMLAR

ÜMMÜGÜLSÜM BÜYÜKPOLAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF. DR. ELİF OKUTAN

TEMMUZ 2025

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

CARBAZOLE-BORON DIPYROMETHENE-GRAPHENE
OXIDE BASED NANOPLATFORMS

ÜMMÜGÜLSÜM BÜYÜKPOLAT

A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF CHEMISTRY

ADVISOR: PROF. DR. ELİF OKUTAN

JULY 2025

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 30/06/2025 tarih ve 2025/34 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 11/07/2025 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ümmügülsüm BÜYÜKPOLAT'ın tez çalışması Kimya Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Elif OKUTAN

ÜYE

: Prof. Dr. Bünyemin ÇOŞUT

ÜYE

: Prof. Dr. Esra TANRIVERDİ EÇİK

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR



Aileme

ÖZET

Bu tez kapsamında, karbazol-BODIPY-glukoz (**11** ve **12**) foto duyarlaştırıcıları ile karbazol-BODIPY-GO (**GO-11** ve **GO-12**) nano platformları hazırlanmış ve bu yapıların fotofiziksel ve fotokimyasal özellikleri incelenmiştir.

Sentezlenen **1-10** no'lu bileşiklerin yapıları ^1H , ^{13}C NMR ve MALDI-TOF ile; sonuç bileşikleri **11** ve **12**'nin yapıları ise FT-IR, ^1H , ^{13}C NMR ve MALDI-TOF spektroskopik tekniklerinden elde edilen verilerle aydınlatılmıştır. Bileşik (**11** ve **12**)'nin ticari GO ile etkileştirilmesiyle karbazol-BODIPY-GO nanokompozitleri (**GO-11** ve **GO-12**) hazırlanmıştır. Elde edilen nanomalzemelerin yapı karakterizasyonu FT-IR, Raman, EDX spektroskopisi, HR-TEM ve AFM görüntüleme tekniklerinden elde edilen yöntemler ile gerçekleştirilmiştir. Karbazol-BODIPY foto duyarlaştırıcılarının (**11** ve **12**) ve karbazol-BODIPY-GO nanokompozitlerinin (**GO-11** ve **GO-12**) fotofiziksel özellikleri (floresans kuantum verimi, Φ_F , floresans ömürü, τ_F , molar absorpsiyon katsayısı (ϵ), UV-Vis absorpsiyon ve floresans emisyon spektroskopik teknikleri ile incelenmiştir. Karbazol-BODIPY foto duyarlaştırıcılarının (**11** ve **12**) ve karbazol-BODIPY-GO nanokompozitlerinin (**GO-11** ve **GO-12**) singlet oksijen üretme kapasiteleri (singlet oksijen kuantum verimi, Φ_Δ) organik çözücü (DCM) içerisinde belirlenmiş ve su içerisinde de (PBS tampon) etkili şekilde singlet oksijen ürettikleri gözlenmiştir. Hazırlanan karbazol-BODIPY foto duyarlaştırıcılarının ve GO nano platformlarının ışığa karşı dayanıklılıkları, karanlıktaki fotokimyasal kararlılıkları ve ışık altındaki başarılı fotodu-yarlaştırıcı aktivitelerinden dolayı bu sistemlerin kanserin fotodinamik terapi (PDT) uygulamaları için uygun olabilecekleri önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: BODIPY, Grafen Oksit, Karbazol, Singlet Oksijen, Fotoduyarlaştırıcı.

ABSTRACT

In this thesis, carbazole-BODIPY-glucose (11- and 12) photosensitizers and carbazole-BODIPY-GO (GO-11 and GO-12) nano platforms were prepared and the photophysical and photochemical properties of these structures were investigated.

The structures of the compounds **1-10** synthesized were elucidated with ^1H , ^{13}C NMR and MALDI-TOF; the structures of the resulting compounds (**11** and **12**) were elucidated with the data obtained from FT-IR, ^1H , ^{13}C NMR and MALDI-TOF spectroscopic techniques. Carbazole-BODIPY-GO nanocomposites (**GO-11** and **GO-12**) were prepared by interacting with the compound (**11** and **12**) with commercial GO. The structure characterization of the obtained nanomaterials was carried out by methods obtained from FT-IR, Raman, EDX spectroscopy, HR-TEM and AFM imaging techniques. Photophysical properties (fluorescence quantum yield, Φ_F , fluorescence lifetime, τ_F , molar absorption coefficient (ϵ), of carbazole-BODIPY photosensitizers (**11** and **12**) and Carbazole-BODIPY-GO nanocomposites (**GO-11** and **GO-12**) were investigated by UV-Vis absorption and fluorescence emission spectroscopic techniques. The singlet oxygen production capacities (singlet oxygen quantum yield, Φ_Δ) of carbazole-BODIPY photosensitizers (**11** and **12**) and carbazole-BODIPY-GO nanocomposites (**GO-11** and **GO-12**) were determined in organic solvent (DCM) and it was observed that they also produced singlet oxygen effectively in water (PBS buffer). It was determined that these systems could be suitable for photodynamic therapy applications due to the light resistance, photochemical stability in the dark and successful photosensitizer activities under light of the prepared carbazole-BODIPY photosensitizers and GO nanoplatfroms.

Keywords: BODIPY, Graphene Oxide, Carbazole, Singlet Oxygen, Fluorescence, Photosensitizer.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım süresince engin bilgi birikimi, yol gösterici tutumu ve kıymetli desteğiyle her zaman yanımda olan değerli danışmanım Prof. Dr. Elif OKUTAN'a en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Sabırlı yaklaşımı, özverili rehberliği ve her daim ulaşılabilir oluşuyla bu süreci oldukça verimli ve son derece öğretici bir deneyime dönüştürdü. Akademik yolculuğum boyunca bana kattığı değer, sağladığı motivasyon ve yönlendirmeleri için kendisine çok teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarım süresince bilgi, deneyim ve içten destekleriyle süreci hem kolaylaştıran hem de daha verimli hale getiren kıymetli hocalarım Arş. Gör. Dr. Ezel ÖZTÜRK GÜNDÜZ ve Arş. Gör. Hande ESERCİ GÜRBÜZ'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Her aşamada rehberlik eden yaklaşımları, samimi ilgileri ve paylaşmaktan hiç çekinmedikleri değerli tecrübeleriyle bu çalışmanın şekillenmesinde büyük katkı sağladılar.

Bütün eğitim hayatım boyunca her koşulda yanımda olan, sevgileriyle ve sabırlarıyla yolumu aydınlatan ve verdikleri destekle bana daima güç veren aileme en derin teşekkürlerimi sunuyorum. Varlıklarıyla her adımda bana cesaret ve ilham verdikleri için sonsuz minnettirim.

Tez çalışmamı 221-Z-149'nolu projesi ile destekleyen TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL BİLGİLER	4
2.1. Fotodinamik Terapi (PDT)	4
2.2. BODIPY Bileşikleri, Sentezi ve Fonksiyonlandırılması	6
2.3. Grafen ve Grafen Oksit	8
2.4. Karbazol	10
2.5. Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar	11
3. MALZEME VE YÖNTEM	12
3.1. Laboratuvar İşlemlerinde Kullanılan Maddeler	12
3.2. Laboratuvar İşlemlerinde Kullanılan Cihazlar	13
3.3. Genel Uygulanan İşlemler	14
4. DENEYSEL İŞLEMLER	16
4.1. Bileşik 1'in Sentezi	19
4.2. Bileşik 2'nin Sentezi	20
4.3. Bileşik 3'ün Sentezi	20
4.4. Bileşik 4'ün Sentezi	21
4.5. Bileşik 5'in Sentezi	22
4.6. Bileşik 6'nın Sentezi	23
4.7. Bileşik 7'nin Sentezi	24
4.8. Bileşik 8'in Sentezi	25
4.9. Bileşik 9'un Sentezi	26
4.10. Bileşik 10'un Sentezi	27
4.11. Bileşik 11'in Sentezi	28
4.12. Bileşik 12'nin Sentezi	29
4.13. GO-11 ve GO-12 Nanokompozitlerinin Hazırlanması	29
5. BULGULAR	31
5.1. Yapı Analizi	31
5.1.1. Bileşik (1-12)'in Yapı Analizleri	32
5.1.1.1. Bileşik 1'in Yapı Analizi	32
5.1.1.2. Bileşik 2'nin Yapı Analizi	34
5.1.1.3. Bileşik 3'ün Yapı Analizi	36
5.1.1.4. Bileşik 4'ün Yapı Analizi	39
5.1.1.5. Bileşik 5'in Yapı Analizi	41
5.1.1.6. Bileşik 6'nın Yapı Analizi	44
5.1.1.7. Bileşik 7'nin Yapı Analizi	46
5.1.1.8. Bileşik 8'in Yapı Analizi	49
5.1.1.9. Bileşik 9'un Yapı Analizi	52

5.1.1.10. Bileşik 10'un Yapı Analizi	55
5.1.1.11. Bileşik 11'in Yapı Analizi	58
5.1.1.12. Bileşik 12'nin Yapı Analizi	62
5.1.2. Karbazol-BODIPY-GO Nanokompozitlerinin (GO-11 ve GO-12) Yapı Analizleri	66
5.1.2.1 GO-11 Kompozitinin Yapı Analizi	66
5.1.2.2 GO-12 Kompozitinin Yapı Analizi	71
5.2. Fotofiziksel Özelliklerin İncelenmesi	76
5.2.1. Bileşik 11'in Fotofiziksel Özelliklerinin İncelenmesi	76
5.2.2. Bileşik 12'nin Fotofiziksel Özelliklerinin İncelenmesi	79
5.2.3. GO-11'in Fotofiziksel Özelliklerinin İncelenmesi	83
5.2.4. GO-12'nin Fotofiziksel Özelliklerinin İncelenmesi	85
5.2.5. Floresans Kuantum Verimleri	88
5.3. Fotokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi	88
5.3.1. Organik Çözücü İçerisindeki Singlet Oksijen Ölçümü	88
5.3.2. PBS Tampon İçerisindeki Singlet Oksijen Ölçümü	90
5.3.2.1 Bileşik 11'in Singlet Oksijen Ölçüm Deneyi	90
5.3.2.2 Bileşik 12'nin Singlet Oksijen Ölçüm Deneyi	92
5.3.2.3 GO-11'in Singlet Oksijen Ölçüm Deneyi	94
5.3.2.4 GO-12'nin Singlet Oksijen Ölçüm Deneyi	96
6.SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	99
KAYNAKLAR	101
ÖZGEÇMİŞ	105
TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR	106

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

°C	:	Celsius Cinsinden Sıcaklık Birimi
¹³ C	:	Karbon atomunun 13 Kütle Numaralı İzotopu
¹ H	:	Hidrojen Atomunun 1 Kütle Numaralı İzotopu
Hz	:	Hertz
<i>J</i>	:	Eşleşme Sabiti
M ⁺	:	Moleküler İyon
mmol	:	Milimol
nm	:	Nanometre
δ	:	Kimyasal Kayma
τ _F	:	Floresans Ömrü
Φ _Δ	:	Singlet Oksijen Kuantum Verimi
Φ _F	:	Floresans Kuantum Verimi
ADBA	:	9,10-Antrasendiil-bis(metilen)dimalonik asit
AFM	:	Atomik Kuvvet Mikroskobu
BODIPY	:	Borondipirometen
CDCl ₃	:	Dötero Kloroform
CHCA	:	α-Siyano-4-hidroksisinnamik asit
DCM	:	Diklorometan
DDQ	:	2,3-Dikloro-5,6-disiyano-1, 4-benzokinon
DFT	:	Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi
DHB	:	2,5- Dihidroksi Benzoik Asit
DIT	:	Ditranol
DMF	:	Dimetilformamid
DMSO	:	Dimetil sülfoksit
DPBF	:	1,3-difenil-isobenzofuran
EDX	:	Enerji Dağılımı X-Işını Analizi
EtOH	:	Etanol
FT-IR	:	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
GO	:	Grafen Oksit
GrO	:	Grafit Oksit
GTU	:	Gebze Teknik Üniversitesi
MeOH	:	Metanol
NaH	:	Sodyum Hidrür
NBS	:	N-bromo süksinimid
NMR	:	Nükleer Manyetik Rezonans
NOM	:	Matriksiz
PBS	:	Fosfat Tamponlu Tuz Çözeltilisi
PDT	:	Fotodinamik Terapi
<i>p-kloranil</i>	:	2,3,5,6-tetrakloro-1,4-benzokinon
PS	:	Fotoduyarlaştırıcı
TEM	:	Yüksek Çözünürlüklü Geçirimli Elektron Mikroskopisi
TFA	:	Trifloroasetik asit
THF	:	Tetrahidrofuran
TLC	:	İnce Tabaka Kromatografisi
DK	:	Dakika
Sn	:	Saniye

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Fotodinamik terapi ile ROS üretiminin tip I ve tip II mekanizması.	5
Şekil 2.2 : BODIPY bileşiklerinin genel sentezi.	7
Şekil 2.3: BODIPY bileşiklerinin halojenasyonu.	8
Şekil 4.1: Bileşik 1'in Sentezi.	19
Şekil 4.2: Bileşik 2'nin Sentezi	20
Şekil 4.3 : Bileşik 3'ün Sentezi.	20
Şekil 4.4 : Bileşik 4'ün Sentezi.	21
Şekil 4.5 : Bileşik 5'in Sentezi.	22
Şekil 4.6: Bileşik 6'nın Sentezi.	23
Şekil 4.7: Bileşik 7'nin Sentezi.	24
Şekil 4.8: Bileşik 8'in Sentezi.	25
Şekil 4.9: Bileşik 9'un Sentezi.	26
Şekil 4.10: Bileşik 10'un Sentezi.	27
Şekil 4.11: Bileşik 11'in Sentezi	28
Şekil 4.12: Bileşik 12'nin Sentezi	29
Şekil 5.1: Bileşik 1'in molekül yapısı	32
Şekil 5.2: Bileşik 1'in kütle spektrumu	32
Şekil 5.3: Bileşik 1'in ¹ H-NMR spektrumu.	33
Şekil 5.4: Bileşik 1'in ¹³ C-NMR spektrumu	33
Şekil 5.5: Bileşik 2'nin molekül yapısı.	34
Şekil 5.6: Bileşik 2'nin kütle spektrumu.	34
Şekil 5.7: Bileşik 2'nin ¹ H-NMR spektrumu.	35
Şekil 5.8: Bileşik 2'nin ¹³ C-NMR spektrumu.	36
Şekil 5.9: Bileşik 3'ün molekül yapısı.	36
Şekil 5.10: Bileşik 3'ün kütle spektrumu.	37
Şekil 5.11: Bileşik 3'ün ¹ H-NMR spektrumu.	38
Şekil 5.12: Bileşik 3'ün ¹³ C-NMR spektrumu.	38
Şekil 5.13: Bileşik 4'ün molekül yapısı.	39
Şekil 5.14: Bileşik 4'ün kütle spektrumu.	39
Şekil 5.15: Bileşik 4'ün ¹ H-NMR spektrumu.	40
Şekil 5.16: Bileşik 4'ün ¹³ C-NMR spektrumu.	41
Şekil 5.17: Bileşik 5'in molekül yapısı.	41
Şekil 5.18: Bileşik 5'in kütle spektrumu.	42
Şekil 5.19: Bileşik 5'in ¹ H-NMR spektrumu.	43
Şekil 5.20: Bileşik 5'in ¹³ C-NMR spektrumu.	43
Şekil 5.21: Bileşik 6'nın molekül yapısı.	44
Şekil 5.22: Bileşik 6'nın kütle spektrumu.	44
Şekil 5.23: Bileşik 6'nın ¹ H-NMR spektrumu.	45
Şekil 5.24: Bileşik 6'nın ¹³ C-NMR spektrumu.	46
Şekil 5.25: Bileşik 7'nin molekül yapısı.	46
Şekil 5.26: Bileşik 7'nin kütle spektrumu.	47
Şekil 5.27: Bileşik 7'nin ¹ H-NMR spektrumu.	48
Şekil 5.28: Bileşik 7'nin ¹³ C-NMR spektrumu.	49
Şekil 5.29: Bileşik 8'in molekül yapısı.	49
Şekil 5.30: Bileşik 8'in kütle spektrumu.	50
Şekil 5.31: Bileşik 8'in ¹ H-NMR spektrumu.	51

Şekil 5.32: Bileşik 8'in ^{13}C -NMR spektrumu.	52
Şekil 5.33: Bileşik 9'un molekül yapısı.	52
Şekil 5.34: Bileşik 9'un kütle spektrumu.	53
Şekil 5.35: Bileşik 9'un ^1H -NMR spektrumu.	54
Şekil 5.36: Bileşik 9'un ^{13}C -NMR spektrumu.	55
Şekil 5.37: Bileşik 10'un molekül yapısı.	55
Şekil 5.38: Bileşik 10'un kütle spektrumu.	56
Şekil 5.39: Bileşik 10'un ^1H -NMR spektrumu.	57
Şekil 5.40: Bileşik 10'un ^{13}C -NMR spektrumu.	58
Şekil 5.41: Bileşik 11'in yapısı.	58
Şekil 5.42: Bileşik 11'in FT-IR spektrumu.	59
Şekil 5.43: Bileşik 11'in kütle spektrumu.	60
Şekil 5.44: Bileşik 11'in ^1H -NMR spektrumu.	61
Şekil 5.45: Bileşik 11'in ^{13}C -NMR spektrumu.	62
Şekil 5.46: Bileşik 12'nin molekül yapısı.	62
Şekil 5.47: Bileşik 12'nin FT-IR spektrumu.	63
Şekil 5.48: Bileşik 12'nin kütle spektrumu.	64
Şekil 5.49: Bileşik 12'nin ^1H -NMR spektrumu.	65
Şekil 5.50: Bileşik 12'nin ^{13}C -NMR spektrumu.	66
Şekil 5.51: GO-11 kompozitinin şematik gösterimi.	66
Şekil 5.52: Bileşik 11, GO ve GO-11 nanokompozitine ait karşılaştırmalı FT-IR spektrumları.	67
Şekil 5.53: GO ve GO-11 nanokompozitinin karşılaştırmalı Raman spektrumları	68
Şekil 5.54: GO (A) ve GO-11 nanokompozitinin (B) 3D, (C) kesit analizi ve (D) 2D AFM görüntüleri.	69
Şekil 5.55: (A) GO (B) ve (C) GO-11 nanokompozitinin karşılaştırmalı TEM görüntüleri.	70
Şekil 5.56: GO-11 nanokompozitinin EDX analizleri.	70
Şekil 5.57: GO-12 kompozitinin şematik gösterimi.	71
Şekil 5.58: Bileşik 12, GO ve GO-12 nanokompozitine ait karşılaştırmalı FT-IR spektrumları.	72
Şekil 5.59: GO ve GO-12 nanokompozitinin karşılaştırmalı Raman spektrumları.	73
Şekil 5.60: GO (A) ve GO-12 nanokompozitinin (B) 3D, (C) kesit analizi ve (D) 2D AFM görüntüleri.	74
Şekil 5.61: (A) GO (B) ve (C) GO-12 nanokompozitinin karşılaştırmalı TEM görüntüleri.	75
Şekil 5.62: GO-12 nanokompozitinin EDX analizleri.	75
Şekil 5.63: Bileşik 11' in farklı çözücülerde alınan absorpsiyon spektrumları (1 μM).	77
Şekil 5.64: Bileşik 11'in farklı çözücülerde alınan emisyon spektrumları ($\lambda_{\text{ex}} = 660$ nm, 0,5 μM).	78
Şekil 5.65: Bileşik 11'in DCM içerisinde farklı konsantrasyonlarda alınan absorpsiyon spektrumları.	78
Şekil 5.66: Bileşik 11'in floresans yarı ömür profili.	79
Şekil 5.67: Bileşik 12'nin farklı çözücülerde alınan absorpsiyon spektrumları (1 μM).	81
Şekil 5.68: Bileşik 12'nin farklı çözücülerde alınan emisyon spektrumları ($\lambda_{\text{ex}} = 660$ nm, 0,5 μM).	81
Şekil 5.69: Bileşik 12'nin DCM içerisinde farklı konsantrasyonlarda alınan absorpsiyon spektrumları.	82

Şekil 5.70: Bileşik 12'nin floresans yarı ömür profili.	82
Şekil 5.71: GO-11 nanokompozitinin farklı çözücülerde alınan absorpsiyon spektrumları.	84
Şekil 5.72: GO-11 nanokompozitinin farklı çözücülerde alınan emisyon spektrumları ($\lambda_{ex}=660$ nm).	84
Şekil 5.73: GO-11 nanokompozitinin floresans yarı ömür profili.	85
Şekil 5.74: GO-12 nanokompozitinin farklı çözücülerde alınan absorpsiyon spektrumları.	86
Şekil 5.75: GO-12 nanokompozitinin farklı çözücülerde alınan emisyon spektrumları ($\lambda_{ex}=660$ nm).	87
Şekil 5.76: GO-12 nanokompozitinin floresans yarı ömür profili.	857
Şekil 5.77: Singlet oksijen varlığında DPBF molekülünün yapısındaki bozulma.	89
Şekil 5.78: Singlet oksijen ölçüm düzeneği.	89
Şekil 5.79: Singlet oksijen varlığında ADBA molekülünün yapısındaki bozulma.	90
Şekil 5.80: DPBF'in 2 μ M bileşik 11 varlığında uyarılmasıyla absorbans değişim ve DPBF'nin 414 nm' de zamana karşı absorbans düşüş grafikleri.	91
Şekil 5.81: ADBA'nın 10 μ M bileşik 11 varlığında uyarılmasıyla absorbans değişim ve ADBA'nın 380 nm' de zamana karşı absorbans düşüş grafikleri.	92
Şekil 5.82: DPBF'in 2 μ M bileşik 12 varlığında uyarılmasıyla absorbans değişim ve DPBF'nin 414 nm' de zamana karşı absorbans düşüş grafikleri.	93
Şekil 5.83: ADBA'nın 10 μ M bileşik 12 varlığında absorbans değişim ve ADBA'nın 380 nm' de zamana karşı absorbans düşüş grafikleri.	94
Şekil 5.84: DPBF'in 2 μ M GO-11 varlığında absorbans değişim ve DPBF'nin 414 nm' de zamana karşı absorbans düşüş grafikleri.	95
Şekil 5.85: ADBA'nın 10 μ M GO-11 varlığında absorbans değişim ve ADBA'nın 380 nm' de zamana karşı absorbans düşüş grafikleri.	96
Şekil 5.86: DPBF'in 2 μ M bileşik GO-12 varlığında uyarılmasıyla absorbans değişim ve DPBF'nin 414 nm' de zamana karşı absorbans düşüş grafikleri.	97
Şekil 5.87: ADBA'nın 10 μ M GO-12 varlığında uyarılmasıyla absorbans değişim ve ADBA'nın 380 nm' de zamana karşı absorbans düşüş grafikleri.	98

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1 : Sentez, ayırma ve saflaştırma işlemlerinde kullanılan kimyasal maddeler.	13
Tablo 3.2: Yapı aydınlatma çalışmalarında kullanılan cihazlar.	14
Tablo 4.1: Tez kapsamında sentezlenen ve yapısı aydınlatılan bileşikler.	17



1. GİRİŞ

Nanoteknoloji, 1 ile 100 nanometre arasındaki ölçeklerdeki malzemelerin, birçok farklı disiplinde geniş bir uygulama alanında kullanımı olan bilimsel bir alandır. Bu ölçekte, genellikle makro ölçekteki yapılara göre, malzemelerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri önemli derecede farklılaşmaktadır. Nano skaladaki olgular tıp, elektronik, enerji, malzeme bilimi ve çevre koruma gibi alanlarda inovasyon için yeni yollar açmıştır [1].

Nanoteknolojinin disiplinler arası yapısı, fizik, kimya, biyoloji ve mühendislikten gelen ilkeleri bir araya getirerek atomik hassasiyete sahip işlevsel sistemlerin tasarlanmasına olanak sağlar. Uygulamalar, biyomedikalde hedefli ilaç dağıtımından ve teşhis biyosensörlerinden, endüstride yüksek verimli güneş hücrelerine ve hafif nanokompozitlere kadar uzanır. Araştırmalar gelişmeye devam ettikçe, nanoteknolojinin günlük yaşama entegrasyonunun hastalıkları teşhis etme, ürün üretme, sürdürülebilirlik ve sağlıkla ilgili küresel zorlukları çözme gibi konularda devrim yaratması beklenmektedir [2].

İki boyutlu altıgen petek yapısı şeklinde düzenlenmiş tek bir karbon atomu katmanı olan grafen, modern bilimde önemli malzemelerden biri olarak ortaya çıkmaktadır. İlk olarak 2004 yılında Manchester Üniversitesi'nde Andre Geim ve Konstantin Novoselov tarafından basit bir mekanik eksfoliasyon tekniği kullanılarak izole edilen grafen, üstün özellikleri nedeniyle disiplinler arası araştırmalarda ilgi odağı olmuştur [3]. Bu materyal, olağanüstü elektrik iletkenliği, çelikten 100 kat daha yüksek mekanik mukavemeti ve yüksek termal iletkenliği ile dikkat çeker; ayrıca neredeyse şeffaf olup son derece hafif bir yapıya sahiptir [4].

4,4-difloro-4-bora-3a,4a-diaza-s indasen (BODIPY, bor dipirrometen) ilk olarak 1968 yılında Treibs ve Kreuzer tarafından sentezlenmiştir. BODIPY çekirdeği, çeşitli fonksiyonlandırımlarla ışık spektrumunun görünür ve yakın kızılötesi (NIR) bölgelerinde güçlü absorpsiyon ve emisyon sergileyebilen bir organik kromofordur [5]. Bu boyalar yüksek foto kararlılığa ve floresans kuantum verimine sahiptir [6]. BODIPY çekirdeğinin kolay fonksiyonlandırılabilirliği bu bileşiğin farklı alanlarda kullanılması için uygun fotofiziksel özelliklere sahip türevlerinin

tasarlanmasına olanak sağlamaktadır [7]. Absorpsiyon maksimumları genellikle 400 ila 600 nm arasında olan bu boyaların, emisyon maksimumları ~500- 700 nm arasında görülmektedir. Bu boyaların, düşük Stokes kaymaları ve şiddetli absorpsiyon ve emisyon pikleri bulunmaktadır [5].

Karbazol, üç halkalı bir aromatik heterosiklik bileşik olarak iki benzen halkası ile bir pirol halkasının birleşmesinden oluşur. Bu yapı, π -konjugasyonun tüm molekül boyunca devam ettiği düzlemsel bir sistem oluşturur. Karbazol kromoforları, antioksidan, antienflamatuar, antibakteriyel, antitümör, antipsikotik ve antidiyabetik gibi farmakolojik aktiviteler göstermeleri nedeniyle uzun yıllardır biyolojik olarak aktif malzemelerde kullanılmaktadır [8].

Bu tez kapsamında, akıllı karbazol-BODIPY-glukoz (**11** ve **12**) foto duyarlaştırıcıları GO ile π - π , elektrostatik ve/veya hidrofobik etkileşimlerle kovalent olmayan metotla fonksiyonlandırılarak karbazol-BODIPY-GO nano platformlarının hazırlanması, yapılarının analiz edilmesi, fotofiziksel/ fotokimyasal özelliklerinin incelenmesi hedeflenmiştir. İlk olarak, üzerinde proparjil (**1**) ve 1-(2-(2-metoksietoksi)etoksi)-2-bromoetan (TEG-Br) (**5**) grupları ile antikanser ajanı olarak bilinen karbazol (**2**, **6**) bulunan aldehit türevleri sentezlendi. Bu aldehitler başlangıç maddesi olarak kullanılarak, 2,4-dimetilpirol ile uygun reaksiyon koşullarında etkileştirilmeleri sonucunda BODIPY iskeletleri (**3- 7**) elde edildi. Hazırlanan BODIPY türevlerinin (**3- 7**) sistemler arası geçiş verimlerinin artırılması için **3- 7**, I_2/HIO_3 ile 2 ve 6 pozisyonlarından fonksiyonlandırılarak diiyodo-BODIPY türevleri (**4- 8**) hazırlandı. PDT'nin çalışma aralığında absorpsiyona sahip BODIPY bileşiklerinin hazırlanması için diiyodo-BODIPY türevleri (**4- 8**), aldehit türevleri ile Knoevenagel kondenzasyonu şartlarında fonksiyonlandırılarak distiril-BODIPY türevleri (**9** ve **10**) sentezlendi. Kanser hücrelerinde PS birikiminin etkili şekilde yapılabilmesi için glukoz (1-azido-1-deoksi- β -D-glukopiranosit tetraasetat) hedefleme aracı olarak belirlendi. **9** ve **10**'nolu distiril- BODIPY türevleri "klik" reaksiyonu şartlarında 1-azido-1-deoksi- β -D-glukopiranosit tetraasetat ile etkileştirilerek **11** ve **12**' nolu yeni distiril yapıları karbazol- BODIPY türevleri elde edildi. Yeni nesil grafen oksit (GO) temelli nanofotoduyarlaştırıcıların hazırlanması amacıyla **11** ve **12** no'lu bileşikler GO ile çözücü içerisinde ses dalgasına maruz bırakılarak etkileştirildi ve karbazol-BODIPY-GO nanoplatformları (**GO-11**, **GO-12**) elde edildi.

Tez kapsamında sentezlenen **1-10** bileşiklerinin yapıları ^1H , ^{13}C NMR ve MALDI-TOF ile; sonuç bileşiklerinin (**11** ve **12**) yapıları ise FT-IR, ^1H , ^{13}C NMR ve MALDI-TOF spektroskopik tekniklerinden elde edilen verilerle aydınlatıldı. Karbazol-BODIPY-GO nanokompozitlerinin (**GO-11**, **GO-12**) yapı karakterizasyonu FT-IR, Raman, EDX spektroskopisi ve morfolojik özellikleri TEM ve AFM görüntüleme teknikleriyle incelendi. Karbazol-BODIPY bileşiklerinin (**11** ve **12**) ve karbazol-BODIPY-GO nanokompozitlerinin (**GO-11**, **GO-12**) fotofiziksel/ fotokimyasal özellikleri, UV-Vis absorpsiyon ve floresans emisyon spektroskopik teknikleri ile incelendi.



2. KURAMSAL BİLGİLER

2.1. Fotodinamik Terapi (PDT)

Eski çağlardan beri ışık birçok hastalığın tedavisinde kullanılmıştır [9]. Çin ve Mısır gibi medeniyetlerin sedef, cilt kanseri gibi hastalıkların tedavisinde güneş ışığını kullandığı bilinmektedir [10]. Işığın hastalıkların tedavisindeki önemi 20. yüzyılda kabul edilerek bu konuyla ilgili çalışmalarından dolayı Niels Finsen'e Nobel Tıp ödülü verildi. Finsen'in güneş ışığının ciltteki tüberküloz hastalığı tedavisinde kullanılabileceğini keşfetmesi ile de modern fototerapi kavramı ortaya konuldu [11], [12].

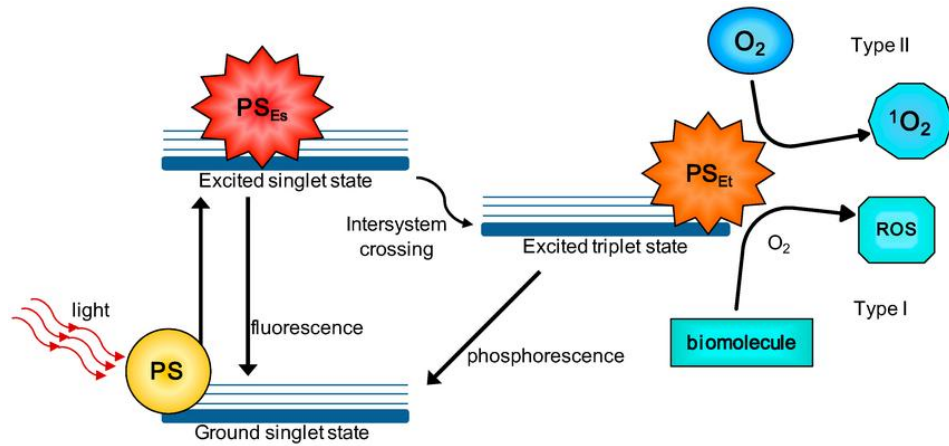
Işığın kimyasallarla etkileşimi sonucu meydana gelen hücre ölümü kavramı 1900 yılında tıp öğrencisi O. Raab' ın yaptığı çalışmalarla ortaya atıldı. 1907 yılına gelindiğinde H. von Tappeiner ve A. Jodlbauer, oksijenin bu reaksiyonlardaki önemi belirtildi [13], [14]. PDT; PS, belirli bir dalga boyundaki ışık ve moleküler oksijenin birlikte kullanımına dayanan bir tedavi yöntemidir ve ışığın PS tarafından absorplanmasıyla başlayan bir dizi fotokimyasal reaksiyon meydana gelmesiyle gerçekleşir.

PDT yalnızca tümör hücrelerine değil, aynı zamanda tümörle ilişkili damar sistemine de zarar verebilmesi; hedef dokuya doğrudan uygulanabilmesi, tedavi sonrasında minimal düzeyde doku hasarı ve yara izi bırakması; ayrıca diğer kanser tedavi yöntemlerine kıyasla daha düşük maliyetli olması gibi pek çok avantajı bulunmaktadır [15], [16]. Ancak, birçok tedavi yönteminde olduğu gibi PDT' nin de bazı dezavantajları mevcuttur. Bu yöntem, temel olarak doku içerisindeki moleküler oksijenin varlığına bağlı olarak etki gösterdiğinden, hipoksik mikro çevreye sahip yoğun tümör kitlelerinde etkinliği sınırlı kalabilmektedir. Ayrıca, ışığın hedef dokuya yeterince ulaşamaması durumunda, özellikle derin yerleşimli veya erişimi güç tümörlerde, tedavi etkinliği önemli ölçüde azalabilmektedir [17]. Reaktif oksijen türleri (ROS), süperoksit (O_2^-) ve hidroksil radikal ($\bullet OH$) gibi serbest radikaller ve hidrojen peroksit (H_2O_2) gibi radikal olmayan türler de dahil olmak üzere oksijen içeren kimyasal olarak reaktif moleküllerdir. Bu türler, öncelikle mitokondride

hücresel metabolizmanın doğal yan ürünleri olarak üretilir ve biyolojik sistemlerde ikili rol oynar; düşük seviyelerde temel sinyal molekülleri olarak işlev görürken, yüksek konsantrasyonlarda oksidatif stres ve hasara neden olur [18].

Singlet oksijen ($^1\text{O}_2$), genellikle uyarılmış bir fotoduyarlaştırıcının temel durumdaki moleküler oksijene enerji transfer etmesi yoluyla üretilir ve özellikle PDT gibi uygulamalarda Tip II fotokimyasal reaksiyonların merkezinde yer alır. PDT'nin terapötik etkinliği, singlet oksijenin kanserli dokularda lokalize oksidatif stres oluşturarak hücre ölümünü indüklemeye kapasitesine dayanmaktadır [19], [20].

ROS üretimi, başlıca Tip I ve Tip II olarak sınıflandırılan iki temel fotokimyasal mekanizma ile gerçekleşmektedir (**Şekil 2.1**); bu mekanizmalar özellikle PDT ve fotooksidatif stresle ilişkili uygulamalarda önem taşımaktadır. Tip I mekanizmasında, uyarılmış fotoduyarlaştırıcı elektron veya hidrojen atomu transferi yoluyla çevresindeki substratlarla etkileşime girer ve süperoksit anyonu ($\text{O}_2^{\cdot-}$) ile hidroksil radikali ($\cdot\text{OH}$) gibi serbest radikallerin oluşumuna yol açar. Bu radikal türleri, lipidler, proteinler ve DNA üzerinde oksidatif hasara neden olan zincirleme reaksiyonları başlatabilir [21]. Buna karşılık, Tip II mekanizması, uyarılmış fotoduyarlaştırıcının enerjisini doğrudan moleküler oksijene ($^3\text{O}_2$) aktarmasıyla gerçekleşir ve sonucunda oldukça reaktif ve elektronik olarak uyarılmış bir oksijen formu olan singlet oksijen ($^1\text{O}_2$) oluşur. Singlet oksijen, biyolojik makromoleküllerle etkileşime girme kapasitesine sahiptir ve bu nedenle PDT'de başlıca sitotoksik ajanlardan biri olarak kabul edilmektedir [22].



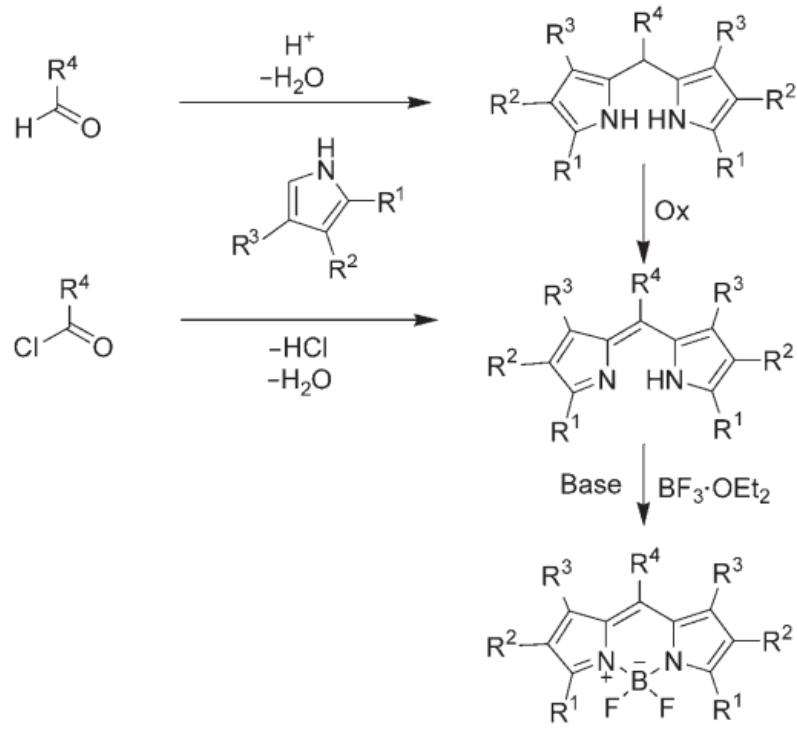
Şekil 2.1: Fotodinamik terapi ile ROS üretiminin tip I ve tip II mekanizması [23].

Singlet oksijen ($^1\text{O}_2$), elektron spinlerinin eşleştiği, yani zıt yönlerde döndüğü bir konfigürasyona sahip olan, elektronik olarak uyarılmış bir moleküler oksijen formudur. Bu durum, onu temel durumda bulunan ve iki eşleşmemiş, paralel spinli elektrona sahip triplet oksijenden ($^3\text{O}_2$) ayırır. Triplet oksijen, doğada en yaygın bulunan ve kararlı olan formdur; düşük reaktiviteye sahiptir çünkü spin paralellliği nedeniyle çoğu biyomolekülle doğrudan reaksiyona giremez. Buna karşılık singlet oksijen, spinlerinin eşleşmiş olması sayesinde kimyasal olarak çok daha reaktif hâle gelir. Bu yüksek reaktivitesi, lipidler, proteinler ve nükleik asitler gibi çeşitli biyolojik makromoleküllerle hızlı ve etkili etkileşimler kurmasına olanak tanır. Bu nedenle singlet oksijen, geçici ömürlü bir tür olmasına rağmen güçlü bir oksidan olarak özellikle PDT’ de önemli bir sitotoksik ajan olarak rol oynamaktadır [24].

2.2. BODIPY Bileşikleri, Sentezi ve Fonksiyonlandırılması

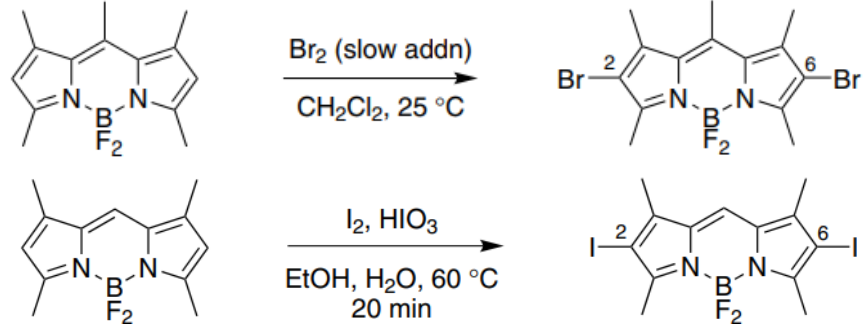
BODIPY bileşiklerinin dikkat çekici özellikleri, çeşitli yapısal modifikasyonlara imkân tanıyan etkin ve esnek sentez yöntemlerinin geliştirilmesine olan ilgiyi artırmıştır.

BODIPY bileşiklerinin klasik sentezi, pirol ile aldehitlerin kondenzasyonu yoluyla dipirrometinlerin elde edilmesi ve ardından bor triflorür dietil eterat ($\text{BF}_3 \cdot \text{OEt}_2$) ile kompleksleşme adımlarını içermektedir [25] (Şekil 2.2). Bu temel sentez yöntemi ilk olarak 1968 yılında Treibs ve Kreuzer tarafından rapor edilmiştir [26]. O tarihten bu yana, daha yüksek verim, daha kolay saflaştırma süreçleri ve geniş yapısal çeşitlilik sunan birçok alternatif sentetik strateji geliştirilmiştir.



Şekil 2.2 : BODIPY bileşiklerinin genel sentezi [27].

BODIPY iskeletinin mezo-, α - (2,6-) ve β - (3,5-) pozisyonlarına gerçekleştirilen çeşitli süstitüsyonlar, bu bileşiklerin absorpsiyon ve emisyon özelliklerinin, çözünürlüklerinin ve kimyasal reaktivitelerinin hassas bir biçimde modüle edilmesine olanak tanımaktadır [28]. Özellikle mezo-aril süstitüe BODIPY türevleri, aril aldehitlerin pirol ile kondenzasyonu sonucu elde edilmekte olup, bu yöntem fonksiyonel çeşitlilik açısından son derece modüler ve esnek bir sentetik strateji sunmaktadır [29]. Bununla birlikte, halojenasyon (Şekil 2.3), Suzuki–Miyaura çapraz bağlama reaksiyonları ve Knoevenagel kondenzasyonu gibi post-sentetik işlevselleştirme yöntemleri aracılığıyla yapısal çeşitlilik daha da zenginleştirilebilmekte ve bu sayede hedefe yönelik özelliklerin tasarımı mümkün hâle gelmektedir [30].



Şekil 2.3: BODIPY bileşiklerinin halojenasyonu [31].

Son yıllarda, tek kapta sentez, mikrodalga destekli yöntemler ve çevre dostu (yeşil kimya) yaklaşımlar gibi yenilikçi sentez stratejileri geliştirilmiş ve bu sayede BODIPY türevlerinin ölçeklenebilirliği ile çevresel sürdürülebilirliği artırılmıştır [32]. BODIPY kimyasındaki bu gelişmeler, söz konusu boyaların floresan görüntüleme, PDT ve optoelektronik malzemeler gibi çok çeşitli alanlardaki uygulamalarına katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, seçici, yüksek verimli ve işlevsel gruplara açık yeni sentez yaklaşımlarının geliştirilmesi, BODIPY bileşiklerinin bilimsel ve teknolojik potansiyelini daha da ileriye taşımak açısından önemlidir.

BODIPY'nin çekirdek yapısı, doğası gereği yüksek düzeyde modüler olup, dipirrometen iskeleti ve bor atomu çevresindeki çeşitli pozisyonlarda sistematik kimyasal modifikasyonlara olanak tanımaktadır. Özellikle 3,5- ve 2,6- konumları, 8-(mezo) pozisyonu ve bor merkezine yönelik fonksiyonlandırımlar, BODIPY türevlerinin absorpsiyon ve emisyon dalga boylarının, çözünürlüklerinin ve fotostabilitelerinin ayarlanmasına imkân sağlar [33]. Örneğin, π -sisteminin aril veya vinil grupları ile genişletilmesi, molekülün konjugasyon derecesini artırarak batokromik kaymalara neden olmakta; bu durum, özellikle NIR görüntüleme ve fotovoltaiik uygulamalar açısından büyük önem taşımaktadır [34]. Bunun yanı sıra, ağır atomların veya geçiş metali komplekslerinin BODIPY yapısına entegrasyonu, sistemler arası geçişi (ISC) teşvik ederek singlet oksijen üretimini artırmakta ve bu da PDT gibi uygulamalarda işlevsel avantajlar sunmaktadır [35].

2.3. Grafen ve Grafen Oksit

Grafen, teorik olarak uzun süredir bilinen ancak deneysel olarak izole edilmesi 21. yüzyıla kadar gerçekleştirilememiş olan bir karbon allotropudur. Tek atom

kalınlığındaki katmanların kararsız olması nedeniyle var olamayacağı varsayılırken, 2004 yılında yapılan deneysel çalışmalar bu varsayımı köklü biçimde değiştirmiştir [36]. İlk teorik çalışma 1947 yılında Kanadalı fizikçi Philip R. Wallace tarafından yapılmış ve grafitin elektronik yapısını incelenirken, grafen düzlemlerinin teorik elektronik özellikleri tanımlamıştır [37]. 1986-2000 yılları arasında araştırmacılar mikroskopi teknikleri ile grafen benzeri yüzeyleri incelemiştir. 2004 yılında Andre Geim ve Konstantin Novoselov, basit bir yöntemle (grafitten "selotey" yöntemiyle) grafeni izole etmeyi başarmıştır. Bu başarı onlara 2010 yılında Nobel Fizik Ödülü kazandırmıştır [38]. Grafen, sp^2 hibritleşmiş karbon atomlarının tek katmanlı, iki boyutlu altıgen bir örgü yapısı oluşturduğu bir nanomalzemedir. İlk olarak 2004 yılında izole edildikten sonra yapı, olağanüstü elektriksel, termal ve mekanik özellikleri nedeniyle çok disiplinli araştırmalara konu olmuştur. Grafen, oda sıcaklığında $200.000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ seviyesinde elektron mobilitesi sunarak yüksek iletkenlik sağlamaktadır [39], [40]. Mekanik açıdan değerlendirildiğinde, yaklaşık 130 GPa çekme dayanımı ve 1 TPa elastik modülü ile yüksek mukavemet göstermektedir [41]. Termal iletkenliği $5000 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ düzeylerine ulaşmakta olup, ısı yönetimi uygulamaları açısından dikkat çekicidir [42]. Ayrıca, tek katmanlı grafen yaklaşık % 2.3 oranında ışık absorbe ederek hem iletken hem de optik açıdan geçirgen ve yaklaşık olarak şeffaf bir yapı sergilemektedir [43]. Bu özgün fiziksel özellikler, grafeni nanoelektronikten biyomedikal uygulamalara kadar geniş bir yelpazede potansiyel malzeme hâline getirmiştir [44], [45].

GO, grafitin kimyasal oksidasyonu sonucu elde edilen ve yapısında epoksi, hidroksil ve karboksil gibi oksijenli fonksiyonel gruplar içeren, iki boyutlu bir karbon türevidir. GO üzerinde yer alan oksijenli fonksiyonel gruplar, materyalin sulu ortamlarda kolloidal stabilitesini artırmakta ve aynı zamanda kimyasal fonksiyonelleştirme ile çeşitli yüzey etkileşimlerine olanak tanıyan yüksek reaktivite sağlamaktadır. Özellikle çevresel uygulamalarda, GO' nun yüksek yüzey alanı ve yüzey fonksiyonelliği, ağır metal iyonlarının (Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{3+} , Hg^{2+}) gideriminde etkili bir adsorban olarak değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır [46]. Bu iyonların adsorpsiyonu; elektrostatik çekim, kompleksleşme ve π - π etkileşimleri gibi mekanizmalarla gerçekleşmekte olup, GO'nun manyetik nanoyapılarla kompozit hale getirilmesi sayesinde ayrılabilirliği ve yeniden kullanımı kolaylaştırılmaktadır [47]. Öte yandan, GO'nun indirgenmiş formu olan indirgenmiş grafen oksit, oksijenli grupların

uzaklaştırılmasıyla artan iletkenlik özellikleri sayesinde enerji depolama cihazları, süperkapasitörler ve elektrokimyasal sensör sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak GO'nun aglomerasyon eğilimi, çevresel stabilite sorunları ve potansiyel toksikolojik etkileri, malzemenin uzun vadeli uygulamaları açısından detaylı araştırmalar yapılmasını gerekli kılmaktadır [48].

2.4. Karbazol

Karbazol, iki benzen halkasının bir azot içeren beş üyeli bir pirol halkasıyla kaynaşmasından oluşan üç halkalı aromatik bir heterosiklik bileşiktir. Bu yapı, karbazol ve türevlerine özellikle dikkat çekici elektronik, fotofiziksel ve kimyasal özellikler kazandırmakta ve onları çeşitli bilimsel ve endüstriyel uygulamalar için cazip kılmaktadır. Düzlemsel ve konjuge yapısı sayesinde karbazol, yüksek termal kararlılık, güçlü floresans kuantum verimi ve belirgin elektron verici karakter gibi önemli nitelikler sergiler. Bu özellikler, karbazolü özellikle organik elektronik alanında, organik ışık yayan diyotlar (OLED'ler), fotovoltaiik hücreler ve organik alan etkili transistörler (OFET'ler) gibi uygulamalarda tercih edilen bir yapı taşı hâline getirmiştir [49].

Optoelektronik alandaki öneminin yanı sıra, karbazol ilaç kimyası açısından da büyük bir potansiyele sahiptir. Çok sayıda karbazol türevi, antitümör, antioksidan, antibakteriyel, antiinflamatuvar ve antiviral etkilere sahip olup, çeşitli biyolojik aktiviteleri rapor edilmiştir [50]. Farmakolojik öneme sahip murrayaquinon ve elliptisin gibi bazı doğal ürünler de karbazol çekirdeği temelli yapıdadır.

Malzeme bilimi açısından ise karbazol içeren polimerler (örneğin, poli(N-vinilkarbazol), PVK), fotoyük taşıyıcılığı ve yüksek termal dayanıklılık gibi özelliklerinden ötürü geniş çapta araştırılmaktadır [51]. Karbazol türevleri, uygun HOMO enerji seviyeleri ve iyi film oluşturma yetenekleri sayesinde çok katmanlı optoelektronik aygıtlarda delik taşıyıcı malzeme olarak da yaygın biçimde kullanılmaktadırlar [52]. Tüm bu özellikler göz önüne alındığında, karbazol iskeleti, malzeme kimyası, ilaç tasarımı ve elektronik aygıt mühendisliği gibi birçok ileri teknoloji alanında yenilikçi uygulamalara açık, son derece işlevsel bir moleküler yapı olarak ön plana çıkmaktadır.

2.5. Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar

Karbazol, BODIPY ve GO gibi yapılar, son yıllarda nanoteknoloji ve fotokimyasal uygulamaların kesişim noktasında oldukça yoğun bir şekilde araştırılmaktadır. Bu bileşenlerin bir araya getirildiği hibrit nano platformlar, hem yüksek ışık hasadı kapasitesine sahip olmaları hem de yüzey modifikasyonlarına açık yapıları sayesinde foto kataliz, PDT ve organik sentez gibi alanlarda dikkat çekici potansiyele sahiptir.

Gürbüz ve arkadaşları (2025), naftalen diümit ile modifiye edilmiş BODIPY-GO temelli nanofotokatalizörlerin LED ile uyarılan organik sentez reaksiyonlarındaki etkinliğini araştırmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilen nanokompozitler, geniş π -konjugasyon sistemleri sayesinde etkin yük aktarımı sağlayarak fotokatalitik reaksiyonlarda yüksek verimlilik sunmuştur. Özellikle karbazol benzeri aromatik yapıların katkısıyla, bu hibrit sistemlerin ışığa duyarlılık ve stabilite açısından önemli avantajlar sunduğu vurgulanmıştır [53].

Başka bir çalışmada Ledezma ve ekibi (2025), BODIPY-karbazol sistemleri geliştirerek, yeşil LED ile uyarılan PDT çalışmalarında hem opto-elektronik özellikler hem de antitümör etkinliği göstermiştir. Çalışmada, belirli pozisyonlarda karbazol eklenmesi ile sistemler arası geçişinin arttığı ve yüksek singlet oksijen üretimine katkı sağlandığı belirtilmiştir [54].

Bir başka çalışmada da Reina ve çalışma arkadaşları (2023), GO-BODIPY konjugatlarını sentezlemiş ve farklı esnek yapıların molekül üzerindeki varlığına dayalı olarak ışık absorpsiyon ve floresans davranışlarının değişimini incelemiştir. Özellikle GO ile BODIPY arasındaki enerji transfer süreçlerinin ve termodinamik etkileşimlerin incelenmesi, bu nano materyallerin görüntüleme ve kontrollü salım uygulamalarında potansiyeline işaret etmektedir [55].

Bu çalışmalar, karbazol-BODIPY-GO temelli nanoyapıların çok yönlü kullanım alanlarına işaret etmekte ve gelecekte ışığa duyarlı, hedeflenebilir ve çevre dostu nano materyallerin geliştirilmesine yönelik araştırmalar için önemli bir temel oluşturmaktadır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Laboratuvar İşlemlerinde Kullanılan Maddeler

Tez kapsamında gerçekleştirilen sentez, ayırma ve saflaştırma işlemlerinde kullanılan kimyasal maddeler Tablo 3.1’de özetlenmiştir.

Tablo 3.1: Sentez, ayırma ve saflaştırma işlemlerinde kullanılan kimyasal maddeler.

Adı	Üretici Firma	Katalog No	Özelliği
4-Hidroksibenzaldehit, %98.00	Acros Organics	162772500	Sentez
n-Bütülin, %99.00	Alfa Aesar	L03575	Sentez
Sodyum hidrür, %60.00	Sigma Aldrich	452912	Sentez
2,4-dimetil pirol, %97.00	Sigma Aldrich	390836	Sentez
Trifloroasetik asit, $\geq$ %99.00	Merck	808260	Sentez
<i>p</i> -kloranil, $\geq$ %99.00	Merck	802361	Sentez
Trietilamin, $\geq$ %99.00	Merck	808352	Sentez
İyodür, %99.80	Sigma Aldrich	207772	Sentez
İyodik asit $\geq$ %99.99	Sigma Aldrich	379905	Sentez
N-Bromosüksinimid, %99.00	Merck	801949	Sentez
Asetik asit, %99.99	Sigma Aldrich	338826	Sentez
Piperidin, %99.99	Merck	822299	Sentez
1-Azido-1-deoksi-p-D-glukopiranosid tetra asetat, %98.00	ABCR	AB143422	Sentez
Bakır (II) sülfat penta hidrat, % 99.99	Sigma Aldrich	469130	Sentez
18-crown-6, %99.00	Sigma Aldrich	274984	Sentez
Proparjil bromür, %80	Sigma Aldrich	81831	Sentez
Grafen oksit, toz	Sigma Aldrich	796034	Sentez
Sodyum askorbat, %98	Sigma Aldrich	A7631	Sentez
Benzen, %99.70	V.W.R	21803291	Sentez

Tablo 3.1: Devam

Etanol, %99.80	Sigma Aldrich	32221	Sentez
Dimetilformamid, %99.00	Sigma Aldrich	D4551	Sentez
Tetrahidrofuran, %99.90	Sigma Aldrich	87368	Sentez
Asetonitril, %99.90	V.W.R	83639320	Sentez
Diklorometan, $\geq$ %99.00	Sigma Aldrich	106049	Sentez
Diklorometan			Teknik
Sodyumtiyosülfat			Teknik
<i>n</i> -hekzan			Teknik
Silikajel, 0.040-0.063 mm	Merck	109385	Analiz
Dimetilsülfoksit, $\geq$ %99.00	Merck	102952	Analiz
Kloroform, $\geq$ %99.90	Sigma Aldrich	102445	Analiz
Metanol, %99.80	ISO LAB	947046	Analiz
Kloroform- d1, %99.80	Merck	103420	Analiz
Aseton, $\geq$ %99.00	Sigma Aldrich	24201	Analiz
Bor triflorür-dietil eter	Sigma Aldrich	175501	Sentez
2,4-dinitrofenilhidrazin	Sigma Aldrich	D199303	Analiz
Ninhidrin	Merck	1.06762	Analiz
Sülfürik asit	Sigma Aldrich	1.00716	Analiz
Sodyum sülfat	Sigma Aldrich	1614807	Sentez
2-propanol	Merck	100272	Analiz
Potasyum karbonat	Fisher	S25480	Sentez

3.2. Laboratuvar İşlemlerinde Kullanılan Cihazlar

Laboratuvar çalışmalarında, elde edilen bileşiklerin yapılarının aydınlatılmasında ve özelliklerinin incelenmesinde kullanılan cihazlar **Tablo 3.2**'de özetlemiştir.

Tablo 3.2: Yapı aydınlatma çalışmalarında kullanılan cihazlar.

Adı	Modeli	Bulunduğu Yer
Etüv	Pol_Eko Aparatura	GTÜ
Döner Buharlaştırıcı	Heidolph	GTÜ
Terazi	Mettler Toledo	GTÜ
UV Lamba	KRÜSS	GTÜ
Isıticılı Manyetik Karıştırıcı	Heidolph MR Hei-Standart	GTÜ
Kütle Spektrometresi	Bruker Microflex LT MALDI-TOF MS	GTÜ
NMR Spektrometresi	Bruker NMR 500 MHz Varian UNITY INOVA	GTÜ
UV-Visible Spektrofotometresi	Schimadzu 2001 UVPc Agilent- Cary 60	GTÜ
Floresans Spektrofotometresi	Varian Cary Eclipse Horiba FL3-2IHR	GTÜ
FT-IR Spektrometresi	Perkin Elmer Spectrum 100	GTÜ
Atomik Kuvvet Mikroskobu	Veeco Nanoscope IV (Multimode)	GTÜ
Yüksek Çözünürlüklü Geçirimsiz Elektron Mikroskopisi	TALOS F200S TEM 200 kV	BAYÜ

3.3. Genel Uygulanan İşlemler

Gerekli görülen reaksiyonlar, ortam havasındaki oksijen ve nemin reaksiyon verimini olumsuz etkilemesini önlemek amacıyla inert atmosfer koşullarında, kuru argon gazı altında gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen bileşikler (1- 12), kolon kromatografisi yöntemi ile saflaştırılmış ve TLC ile takip edilmiştir. Tez kapsamında sentezlenen 1–10 numaralı bileşiklerin yapısal karakterizasyonları, ^1H ve ^{13}C NMR spektroskopisi ve matriks destekli lazer desorpsiyon/ionizasyon–uçuş zamanlı kütle spektrometrisi (MALDI-TOF MS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Nihai ürünler olan 11 ve 12 numaralı bileşiklerin yapıları ise FT-IR, ^1H ve ^{13}C NMR ile MALDI-TOF MS verileri doğrultusunda aydınlatılmıştır.

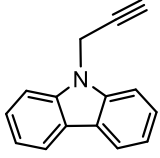
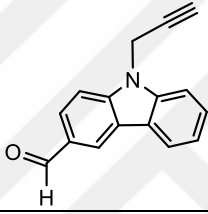
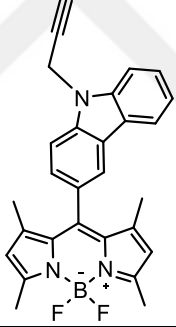
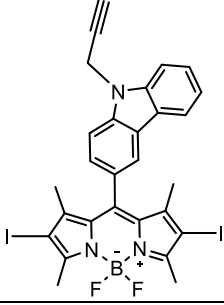
GO temelli nanokompozitlerin (**GO-11** ve **GO-12**) yapısal karakterizasyonu; FT-IR ve Raman spektroskopisi, enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX), yüksek çözünürlüklü geçirimli elektron mikroskobu (HR-TEM) ve atomik kuvvet mikroskobu (AFM) görüntüleme teknikleri ile kapsamlı bir biçimde gerçekleştirilmiştir. Karbazol-BODIPY ikili sistemleri (**11** ve **12**) ile karbazol-BODIPY-GO nanokompozitlerinin (**GO-11** ve **GO-12**) fotofiziksel ve fotokimyasal özellikleri ise UV-görünür bölge (UV-Vis) absorpsiyon spektroskopisi ile floresans emisyon spektroskopisi kullanılarak detaylı bir şekilde incelenmiştir.



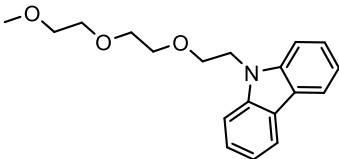
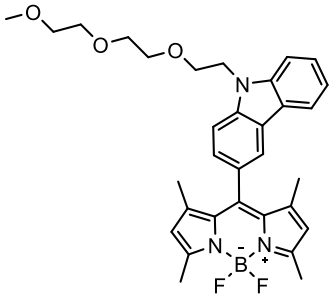
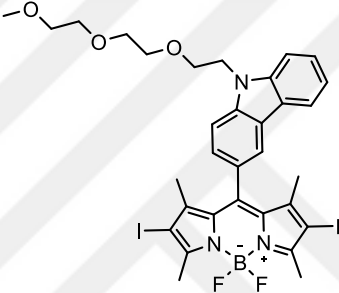
4. DENEYSEL İŞLEMLER

Tez kapsamında sentezlenen bileşiklerin yapıları **Tablo 4.1**'de gösterilmiştir.

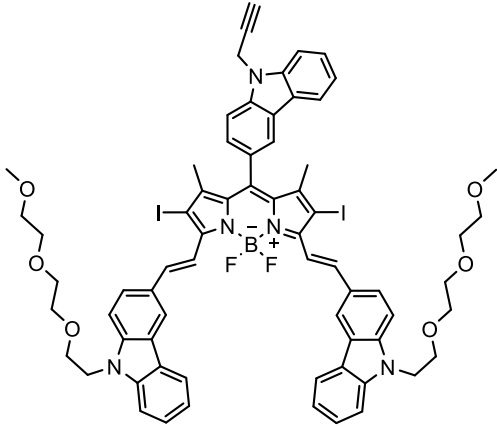
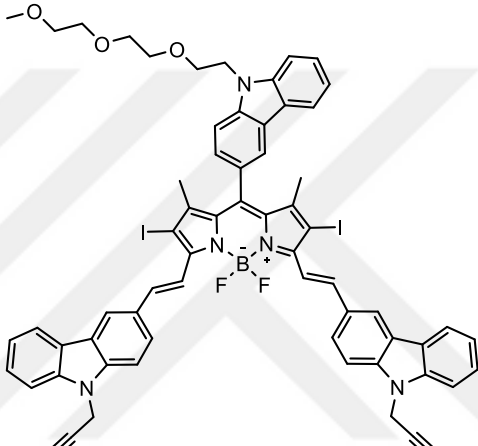
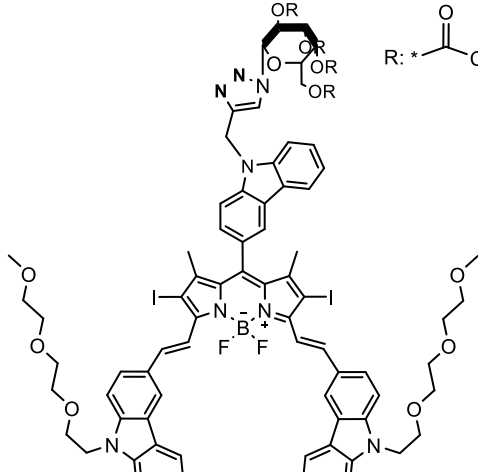
Tablo 4.1: Tez kapsamında sentezlenen ve yapısı aydınlatılan bileşikler.

Bileşik Numarası	Molekül Şekli
1	
2	
3	
4	

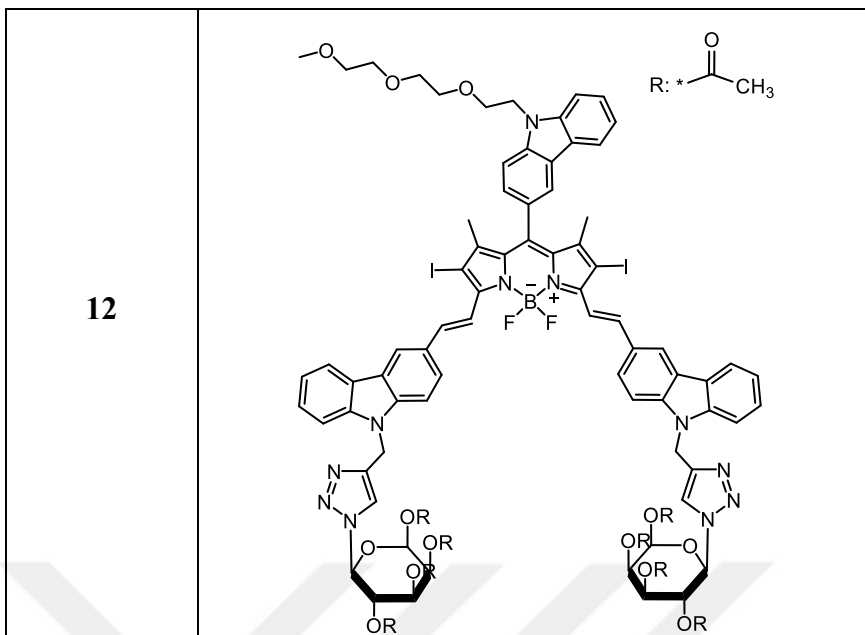
Tablo 4.1: Devam.

5	
7	
8	

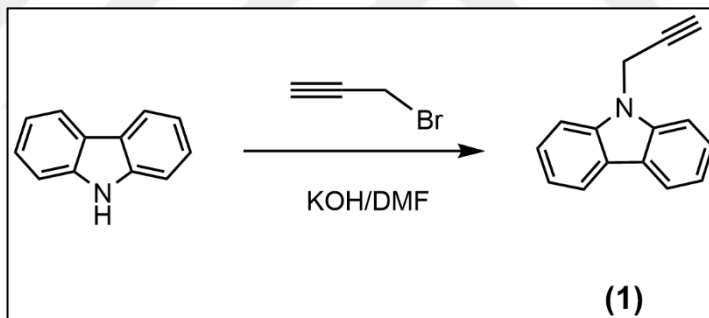
Tablo 4.1: Devam.

9	
10	
11	 R: * $\text{C}(=\text{O})\text{CH}_3$

Tablo 4.1: Devam.



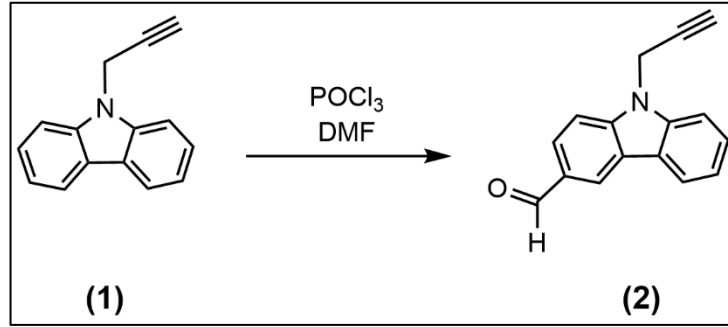
4.1. Bileşik 1'in Sentezi



Şekil 4.1: Bileşik 1'in Sentezi.

9H-Karbazol (3 g, 0.018 mmol) 100 mL'lik yuvarlak dipli reaksiyon balonunda 50 mL DMF içerisinde çözüldü. Reaksiyon ortamına KOH (2.02 g; 0.036 mmol) eklendi. Reaksiyon 15 dakika boyunca manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırıldıktan sonra ortama damla damla proparjil bromür (3.99 g; 0.027 mmol) eklendi. 24 saat oda sıcaklığında karıştırıldıktan sonra karışım süzüldü ve çözücü döner buharlaştırıcı yardımıyla reaksiyon ortamından uzaklaştırıldı. Ham reaksiyon karışımından diklorometan: *n*-hekzan (2:1; v: v) çözücü sisteminin yürütücü faz olarak kullanıldığı, silikajel (230-400 mesh) dolgulu kolonda bileşik **1** (1.5 g, %40, sarımsı katı) saf olarak izole edildi.

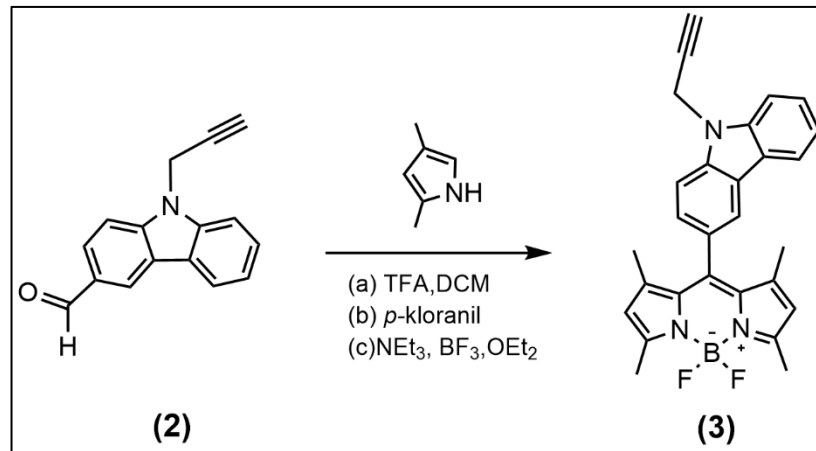
4.2. Bileşik 2'nin Sentezi



Şekil 4.2: Bileşik 2'nin Sentezi.

POCl_3 (0.46 mL, 4.87 mmol) yuvarlak dipli reaksiyon balonunda, buz banyosunda 2 mL kuru DMF içerisinde çözüldü ve bileşik 1 (0.4 g, 1.95 mmol) 3 mL kuru DMF içerisinde çözülerek ortama yavaş yavaş ilave edildi. Reaksiyon karışımı 50°C da 12 saat manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırıldı. Reaksiyon karışımı TLC ile kontrol edilerek bileşik 1'in ortamda tükendiği gözlemlendi. Reaksiyon, oda sıcaklığına soğutuldu ve karışıma doymuş NaHCO_3 (100 mL su içinde 9.6 g) ilave edildi. Reaksiyon karışımı DCM: su (100 mL: 100 mL; 3 defa) ekstrakte edildi ve organik faz tuzlu su ile yıkandıktan sonra Na_2SO_4 üzerinde kurutuldu. Diklorometan döner buharlaştırıcı yardımıyla ortamdaki uzaklaştırıldı. Ham reaksiyon karışımından *n*-hekzan: etil asetat (1:1; v:v) yürütücü faz olarak kullanıldığı, silikajel (230-400 mesh) dolgulı kolonda bileşik 2 (1.5 g, %40, sarımsı katı) saf olarak izole edildi.

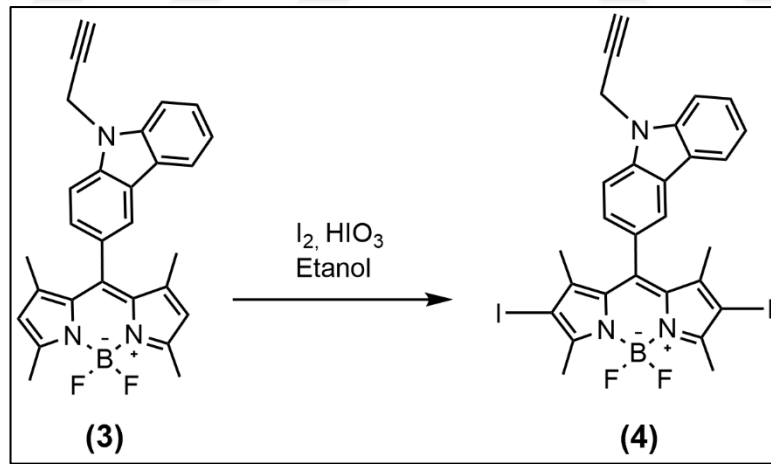
4.3. Bileşik 3'ün Sentezi



Şekil 4.3 : Bileşik 3'ün Sentezi.

200 mL diklorometan 500 mL'lik yuvarlak dipli üç boyunlu reaksiyon balonuna alındı ve 15 dakika boyunca argon gazı geçirildi. Reaksiyon ortamına sırasıyla bileşik 2 (0.5 g, 2.14 mmol) ve 2,4 dimetilpirol (0.44 g, 4.7 mmol) ilave edildi ve reaksiyon 30 dakika boyunca karıştırıldı. Argon atmosferinde trifloro asetik asit (iki damla) ilave edildi. Çözelti renginin yavaş yavaş kırmızıya döndüğü gözlemlendi. Reaksiyon karışımı TLC ile kontrol edilerek bileşik 2 reaksiyon ortamında bitene kadar (2-3 saat) oda sıcaklığında manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırıldı. Reaksiyon ortamına 100 mL diklorometan içerisinde çözülmüş olan *p*-kloranil (0.53 g, 2.14 mmol) damlatma hunisi ile damla damla eklenerek 3 saat boyunca karıştırıldı. Sonra 30 dakika aralıkla önce trietilamin (4.0 mL, 26 mmol) ardından BF₃.OEt₂ (4.0 mL, 33 mmol) damla damla ilave edildi. Reaksiyon karışımı TLC ile kontrol edilerek, 3 saat oda sıcaklığında karıştırıldı ve sinterlenmiş G4 filtresinden süzüldü. Çözücü uzaklaştırıldıktan sonra ham reaksiyon karışımından, diklorometan: *n*-hekzan (1:1; v: v) çözücü sisteminin yürütücü faz olarak kullanıldığı, silikajel (230-400 mesh) dolgulu kolonda bileşik 3 (0.2 g, %21, turuncu katı) saf olarak izole edildi.

4.4. Bileşik 4'ün Sentezi

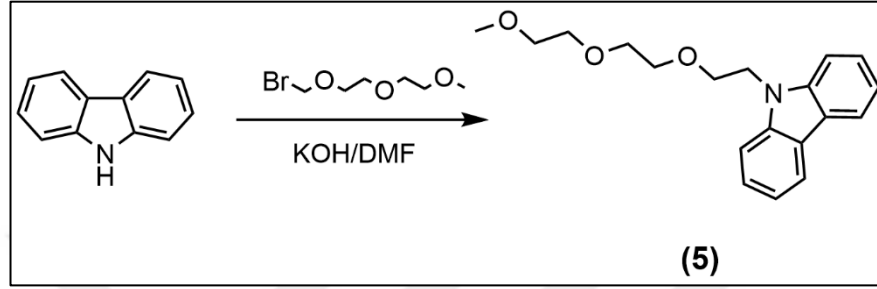


Şekil 4.4 : Bileşik 4'ün Sentezi.

Bileşik 3 (0.2 g, 0.44 mmol) 250 mL'lik yuvarlak dipli iki boyunlu reaksiyon balonunda 70 mL etanolde çözüldü. Reaksiyon ortamına sırasıyla iyot (0.28 g, 1.11 mmol) ve 1 mL saf suda çözülmüş iyodik asit (155 mg, 0.88 mmol) eklendi. Reaksiyon karışımı TLC ile kontrol edilerek 1.5 saat 50 °C da manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırıldı. Soğutulan reaksiyon ortamına sodyum tiyosülfatın doymuş

çözeltisi (40 mL) ilave edilerek 30 dakika karıştırıldı. Reaksiyon karışımı diklorometan: su (150 mL: 150 mL; 3 defa) karışımında ekstrakte edildi. Ham reaksiyon karışımından diklorometanın yürütücü faz olarak kullanıldığı, silikajel (230-400 mesh) dolgulu kolonda bileşik 4 (0.18 g, %58, kırmızı katı) saf olarak izole edildi.

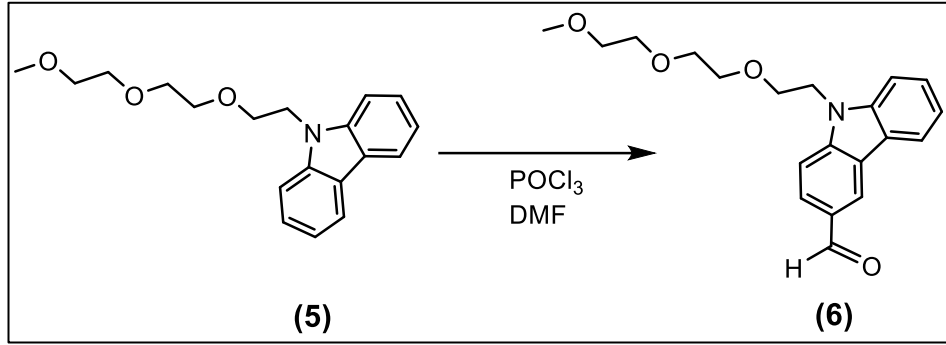
4.5. Bileşik 5'in Sentezi



Şekil 4.5 : Bileşik 5'in Sentezi.

9H-Karbazol (1.0 g, 6 mmol) ve KOH (0.51 g, 9.0 mmol) 50 mL' lik yuvarlak dipli iki boyunlu reaksiyon balonunda 10 mL kuru DMF içerisinde çözüldü. 1 saat boyunca argon atmosferinde manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırıldıktan sonra çözeltiye 1-(2-(2-metoksietoksi) etoksi)-2-bromoetan'ın (TEG-Br) (1.9 g, 8.4 mmol) 5 mL DMF içerisindeki çözeltisi damla damla reaksiyon karışımına eklendi. Reaksiyon karışımı DCM: su (150 mL:150 mL; 3 defa) karışımı ile ekstrakte edildi. Organik faz MgSO₄ üzerinde kurutulduktan sonra döner buharlaştırıcı yardımıyla ortamdan uzaklaştırıldı. Ham reaksiyon karışımından *n*-hekzan: etil asetat (4:1; v:v) çözücü sisteminin yürütücü faz olarak kullanıldığı, silikajel (230-400 mesh) dolgulu kolonda bileşik 5 (1.44 g, %76.7, yağmsı sarı) saf olarak izole edildi.

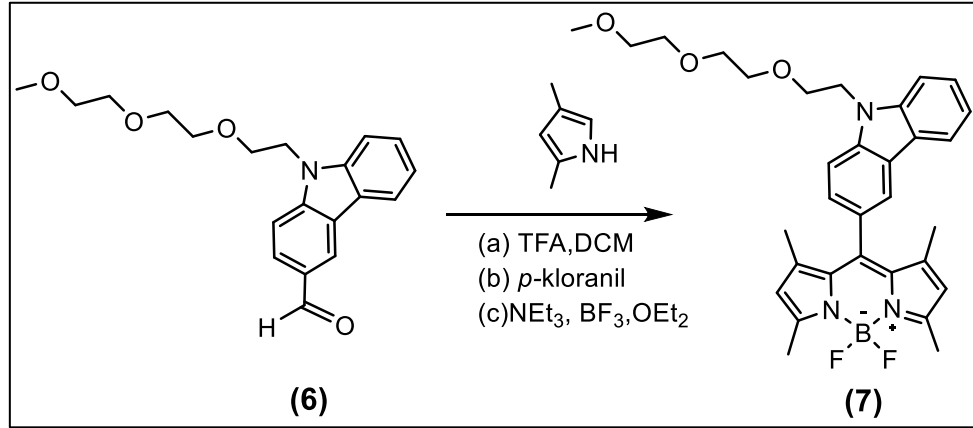
4.6. Bileşik 6'nın Sentezi



Şekil 4.6: Bileşik 6'nın Sentezi.

POCl_3 (0.74 mL, 7.97 mmol) ve bileşik **5** (1 g, 3.19 mmol) 10 mL kuru DMF içerisinde yuvarlak dipli üç boyunlu reaksiyon balonunda buz banyosunda altında etkileştirildi ve reaksiyon $60\text{ }^\circ\text{C}$ da 12 saat boyunca manyetik karıştırıcı yardımıyla TLC ile kontrol edilerek bileşik **5** reaksiyon ortamında tükenene kadar karıştırıldı. Daha sonra reaksiyon oda sıcaklığına soğutuldu ve ortama 100 mL doymuş NaHCO_3 çözeltisi ilave edildi. Reaksiyon karışımı DCM: su (150 mL: 150 mL; 3 defa) karışımı ile ekstrakte edildi. Organik fazın tuzlu su ile yıkanmasının ardından Na_2SO_4 üzerinde kurutuldu ve çözücü (DCM) döner buharlaştırıcı yardımıyla reaksiyon ortamından uzaklaştırıldı. Ham reaksiyon karışımından *n*-hekzan: etil asetat (1:1; v: v) yürütücü faz olarak kullanıldığı, silikajel (230-400 mesh) dolgulu kolonda bileşik **6** (0.9 g, %83 sarı yağimsı) saf olarak izole edildi.

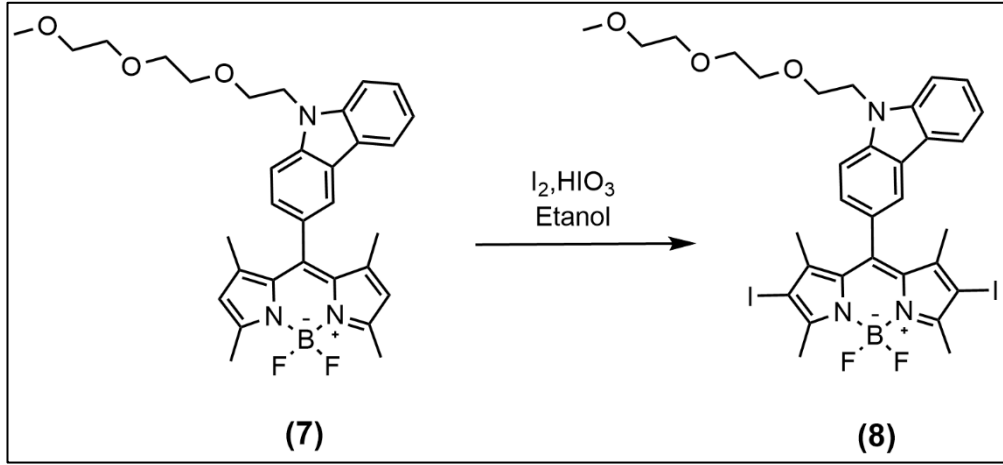
4.7. Bileşik 7'nin Sentezi



Şekil 4.7: Bileşik 7'nin Sentezi.

200 mL diklorometan 500 mL'lik yuvarlak dipli üç boyunlu reaksiyon balonuna alındı ve 15 dakika boyunca argon gazı geçirildi. Reaksiyon ortamına sırasıyla bileşik 6 (1.0 g, 2.9 mmol) ve 2,4-dimetilpirol (0.61 g, 6.44 mmol) ilave edildi ve reaksiyon 30 dakika boyunca karıştırıldı. Argon atmosferinde trifloro asetik asit (iki damla) ilave edildi. Çözelti renginin yavaş yavaş kırmızıya döndüğü gözlemlendi. Reaksiyon karışımı TLC ile kontrol edilerek bileşik 6 reaksiyon ortamında bitene kadar (2-3 saat) oda sıcaklığında manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırıldı. Reaksiyon ortamına 100 mL diklorometan içerisinde çözülmüş olan *p*-kloranil (0.72 g, 2.9 mmol) damlatma hunisi ile damla damla eklenerek 3 saat boyunca karıştırıldı. Sonra 30 dakika aralıkla önce trietilamin (4.0 mL, 26 mmol) ardından BF₃.OEt₂ (4.0 mL, 33 mmol) damla damla ilave edildi. Reaksiyon karışımı TLC ile kontrol edilerek, 3 saat oda sıcaklığında karıştırıldı ve sinterlenmiş G4 filtresinden süzüldü. Çözücü uzaklaştırıldıktan sonra ham reaksiyon karışımından, diklorometan: metanol (99:1; v:v) çözücü sisteminin yürütücü faz olarak kullanıldığı, silikajel (230-400 mesh) dolgulı kolonda bileşik 7 (0.3 g, %20, turuncu katı) saf olarak izole edildi.

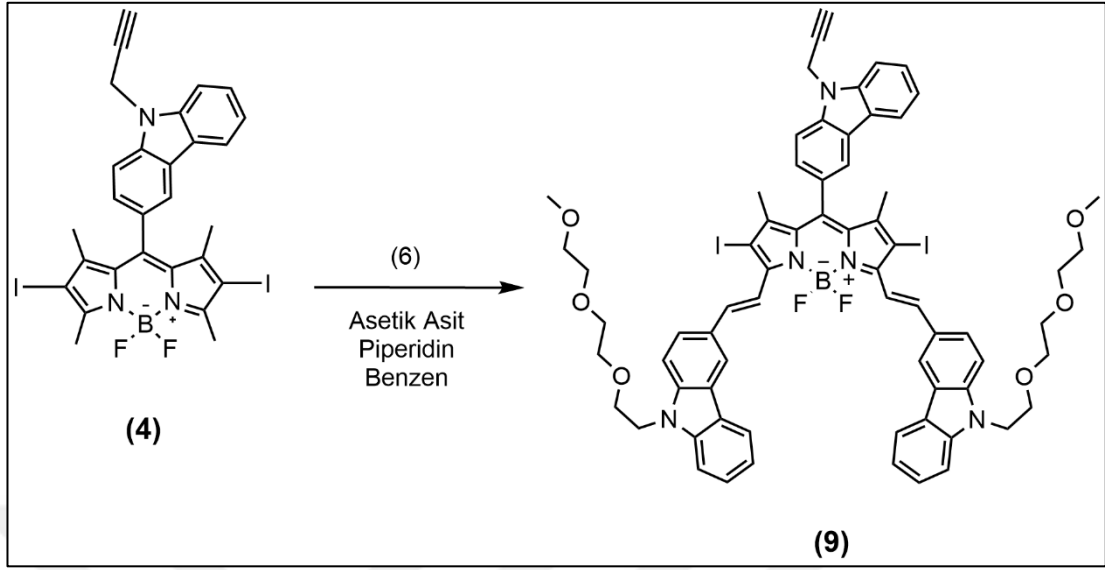
4.8. Bileşik 8'in Sentezi



Şekil 4.8: Bileşik 8'in Sentezi.

Bileşik **7** (0.15 g, 0.26 mmol) 250 mL'lik yuvarlak dipli iki boyunlu reaksiyon balonunda 70 mL etanolde çözüldü. Reaksiyon ortamına sırasıyla iyot (0.17 g, 0.67 mmol) ve 1 mL saf suda çözünmüş iyodik asit (75 mg, 0.52 mmol) eklendi. Reaksiyon karışımı TLC ile kontrol edilerek 1.5 saat 50 °C'da manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırıldı. Soğutulan reaksiyon ortamına sodyum tiyosülfatın doygun çözeltisi (40 mL) ilave edilerek 30 dakika karıştırıldı. Reaksiyon karışımı diklorometan: su (150 mL: 150 mL; 3 defa) karışımında ekstrakte edildi. Ham reaksiyon karışımından diklorometanın yürütücü faz olarak kullanıldığı, silikajel (230-400 mesh) dolgulu kolonda bileşik **8** (0.19 g, %90, kırmızı katı) saf olarak izole edildi.

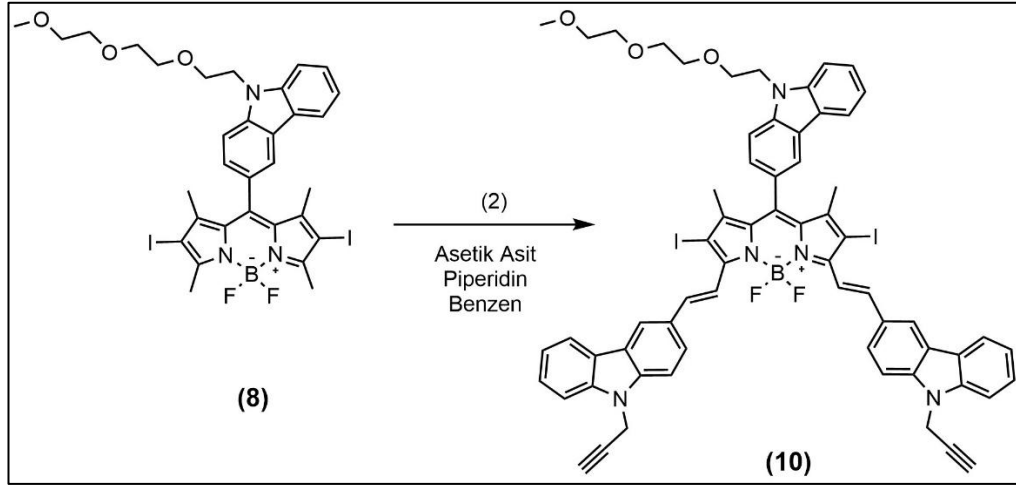
4.9. Bileşik 9'un Sentezi



Şekil 4.9: Bileşik 9'un Sentezi.

Bileşik 4 (100 mg, 0.14 mmol) ve bileşik 6 (116.5 mg, 0.34 mmol) 40 mL benzen içerisinde 100 mL'lik yuvarlak dipli üç boyunlu reaksiyon balonunda çözüldü. Reaksiyon ortamına sırasıyla 0.40 mL piperidin ve 0.40 mL asetik asit ilave edildi. Reaksiyon karışımı, TLC ile kontrol edilmesiyle, 90 °C Dean-Stark aparatı ile geri soğutucu altında ürün rengi yeşile dönene ve reaksiyondan su çıkışı gözlemleyene kadar manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırıldı. Oda sıcaklığına kadar soğutulan karışım, diklorometan: su (100 mL:100 mL, 3 defa) karışımı ile ekstrakte edilerek organik faz (diklorometan) susuz sodyum sülfat üzerinde kurutuldu ve döner buharlaştırıcı yardımıyla ortamdan uzaklaştırıldı. Ham reaksiyon karışımından, diklorometan: metanol (99:1; v: v) çözücü sisteminin yürütücü faz olarak kullanıldığı, silikajel (230-400 mesh) dolgululu kolonda bileşik 9 (80 mg, %42, siyah katı) saf olarak izole edildi.

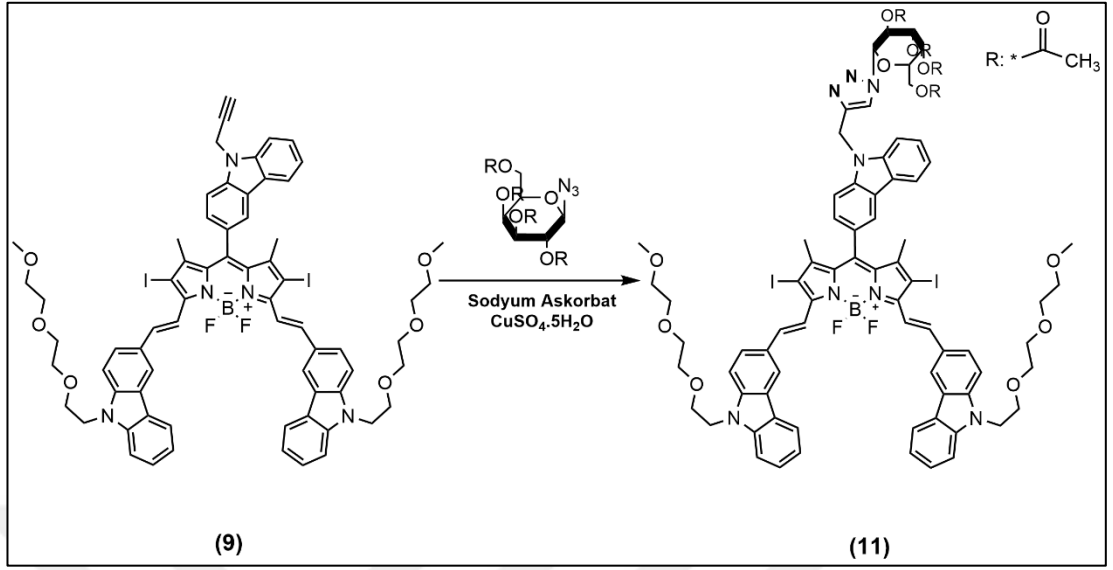
4.10. Bileşik 10'un Sentezi



Şekil 4.10: Bileşik 10'un Sentezi.

Bileşik **8** (100 mg, 0.12 mmol) ve bileşik **2** (66 mg, 0.28 mmol) 40 mL benzen içerisinde 100 mL'lik yuvarlak dipli üç boyunlu reaksiyon balonunda çözüldü. Reaksiyon ortamına sırasıyla 0.40 mL piperidin ve 0.40 mL asetik asit ilave edildi. Reaksiyon karışımı, TLC ile kontrol edilmesiyle, 90 °C Dean-Stark aparatı ile geri soğutucu altında ürün rengi yeşile dönene ve reaksiyondan su çıkışı gözlemleyene kadar manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırıldı. Oda sıcaklığına kadar soğutulan karışım, diklorometan: su (100 mL:100 mL, 3 defa) karışımı ile ekstrakte edilerek organik faz (diklorometan) susuz sodyum sülfat üzerinde kurutuldu ve döner buharlaştırıcı yardımıyla ortamdan uzaklaştırıldı. Ham reaksiyon karışımından, diklorometan: metanol (99:1; v: v) çözücü sisteminin yürütücü faz olarak kullanıldığı, silikajel (230-400 mesh) dolgulu kolonda bileşik **10** (40 mg, %27, yeşil katı) saf olarak izole edildi.

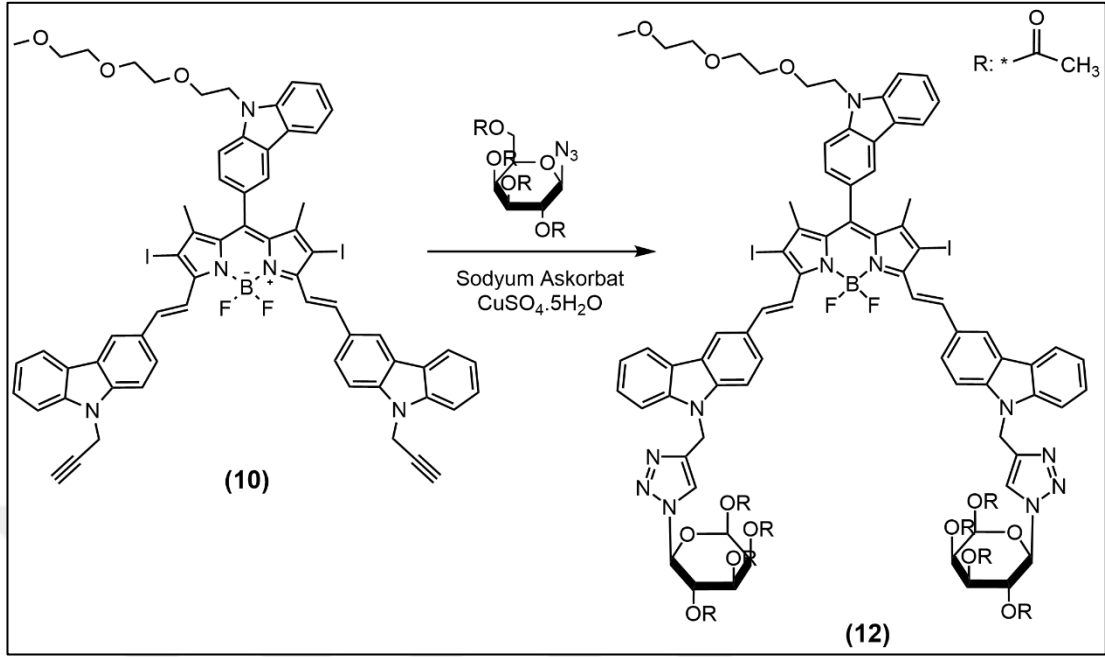
4.11. Bileşik 11'in Sentezi



Şekil 4.11: Bileşik 11'in Sentezi.

Bileşik 9 (30 mg, 0.022 mmol), 1-azido-1-deoksi-β-D-glukopiranosit tetraasetat (41.5 mg, 0.111 mmol) ve Cu (0) tozu (katalitik miktarda) 24 mL THF:su (3:1; v:v) içerisinde 50 mL'lik yuvarlak dipli 3 boyunlu balonda çözüldü. Reaksiyon ortamına 4 mL THF: su (3:1; v: v) içerisinde çözülmüş CuSO₄·5H₂O (0.7 mg, 0.004 mmol) ve sodyum askorbat (2.17 mg, 0.011 mmol) eklendi. Reaksiyon karışımı TLC ile kontrol edilerek 70 °C da geri soğutucu altında 22 saat karıştırıldı. Reaksiyon karışımı diklorometan:su (100 ml: 100 ml, 3 defa) sisteminde ekstrakte edildi. Organik faz (diklorometan) susuz sodyum sülfat üzerinde kurutuldu ve döner buharlaştırıcı yardımıyla uzaklaştırıldı. Ham reaksiyon karışımından, diklorometan: metanol (99:1; v:v) çözücü sisteminin yürütücü faz olarak kullanıldığı, silikajel (230-400 mesh) dolgulu kolonda bileşik 11 (15 mg, %40, yeşil katı) saf olarak izole edildi.

4.12. Bileşik 12'nin Sentezi



Şekil 4.12: Bileşik 12'nin Sentezi.

Bileşik **10** (76 mg, 0.0612 mmol), 1-azido-1-deoksi-β-D-glukopiranosit tetraasetat (114.2 mg, 0.306 mmol) ve Cu (0) tozu (katalitik miktarda) 24 mL THF:su (3:1; v:v) içerisinde 50 mL'lik yuvarlak dipli 3 boyunlu balonda çözüldü. Reaksiyon ortamına 4 mL THF:su (3:1; v: v) içerisinde çözülmüş CuSO₄.5H₂O (1.9 mg, 0.012 mmol) ve sodyum askorbat (5.9 mg, 0.03 mmol) eklendi. Reaksiyon karışımı TLC ile kontrol edilerek 60 °C da geri soğutucu altında 22 saat karıştırıldı. Reaksiyon karışımı diklorometan: su (100 ml: 100 ml, 3 defa) sisteminde ekstrakte edildi. Organik faz (diklorometan) susuz sodyum sülfat üzerinde kurutuldu ve döner buharlaştırıcı yardımıyla uzaklaştırıldı. Ham reaksiyon karışımından, diklorometan: metanol (99:1; v: v) çözücü sisteminin yürütücü faz olarak kullanıldığı, silikajel (230-400 mesh) dolgulu kolonda bileşik **12** (40 mg, %33, yeşil katı) saf olarak izole edildi.

4.13. GO-11 ve GO-12 Nanokompozitlerinin Hazırlanması

GO-11 ve GO-12 aynı reaksiyon şartlarında, ağırlıkça 1:1 oranlarında hazırlandı. Reaksiyonlar için kullanılan yöntem aşağıda anlatıldı.

GO (15 mg) 50 mL'lik yuvarlak dipli tek boyunlu balonda ultrasonik banyo yardımı ile 1 saat 30 mL saf su içerisinde dağıtıldı ve homojen süspansiyon elde edildi. Bileşik **11** ya da **12** (15 mg), 5 mL DMF içerisinde 25 mL'lik yuvarlak dipli tek boyunlu balonda çözöldü ve manyetik karıştırıcı yardımıyla oda sıcaklığında 30 dk karıştırıldı. Bileşiklerin (**11** veya **12**) DMF içerisindeki çözeltileri, GO'in homojen süspansiyonlarına ilave edildi. Reaksiyon karışımları, bileşiklerin (**11** veya **12**), GO üzerine adsorpsiyonu için oda sıcaklığında 48 saat manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Elde edilen karışımlar polikarbonat membran (0.2 µm) üzerinden süzöldü ve elde edilen katı kısımlar [**GO-11**, **GO-12**], 45 °C' da, 48 saat, vakum etüvünde kurutularak elde edildi.



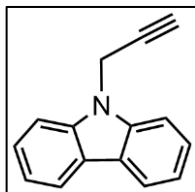
5. BULGULAR

5.1. Yapı Analizi

Tez kapsamında ilk olarak üzerinde proparjil (**1**) ve TEG-Br (**5**) antikanser ajanı olarak karbazol (**2**, **6**) bulunduran aldehit türevleri sentezlendi ve bu aldehitlerin başlangıç maddesi olarak kullanılmasıyla 2,4-dimetilpirol ile uygun şartlarda etkileştirilmesi sonucu BODIPY iskeletleri (**3-7**) elde edildi. Hazırlanan BODIPY türevlerinin (**3-7**) sistemler arası geçiş verimlerinin artırılması için **3-7**, I_2/HIO_3 ile 2 ve 6 pozisyonlarından fonksiyonlandırılarak diiyodo-BODIPY türevleri (**4-8**) hazırlandı. PDT'nin çalışma aralığında absorpsiyona sahip BODIPY bileşiklerinin hazırlanması için diiyodo-BODIPY türevleri (**4-8**), aldehit türevleri ile Knoevenagel kondenzasyonu şartlarında fonksiyonlandırılarak distiril-BODIPY türevleri (**9-10**) sentezlendi. Kanser hücrelerinde PS birikiminin etkili şekilde yapılabilmesi için glukoz (1-azido-1-deoksi- β -D-glukopiranosit tetraasetat) hedefleme aracı olarak belirlendi. **9-10**'nolu distiril- BODIPY türevleri "klik" reaksiyonu şartlarında 1-azido-1-deoksi- β -D-glukopiranosit tetraasetat ile etkileştirilerek (**11** ve **12**)' nolu yeni distiril yapıları karbazol- BODIPY türevleri elde edildi. Yeni nesil grafen oksit temelli nanofotoduyarlaştırıcıların hazırlanması amacıyla **11** ve **12** bileşikleri GO ile çözücü içerisinde ses dalgasına maruz bırakılarak etkileştirildi ve karbazol-BODIPY-GO nanoplatformları (**GO-11**, **GO-12**) elde edildi. Tez kapsamında sentezlenen **1-10** bileşiklerinin yapıları ^1H , ^{13}C NMR ve MALDI-TOF ile; sonuç bileşiklerinin (**11** ve **12**) yapıları ise FT-IR, ^1H , ^{13}C NMR ve MALDI-TOF spektroskopik tekniklerinden elde edilen verilerle aydınlatıldı. Karbazol-BODIPY-GO nanokompozitlerinin (**GO-11**, **GO-12**) yapı karakterizasyonu FT-IR, Raman, EDX spektroskopisi ve morfolojik özellikleri TEM ve AFM görüntüleme teknikleriyle incelendi. Karbazol-BODIPY bileşiklerinin (**11** ve **12**) ve karbazol-BODIPY-GO nanokompozitlerinin (**GO-11**, **GO-12**) fotofiziksel/ fotokimyasal özellikleri, UV-Vis absorpsiyon ve floresans emisyon spektroskopik teknikleri ile incelendi.

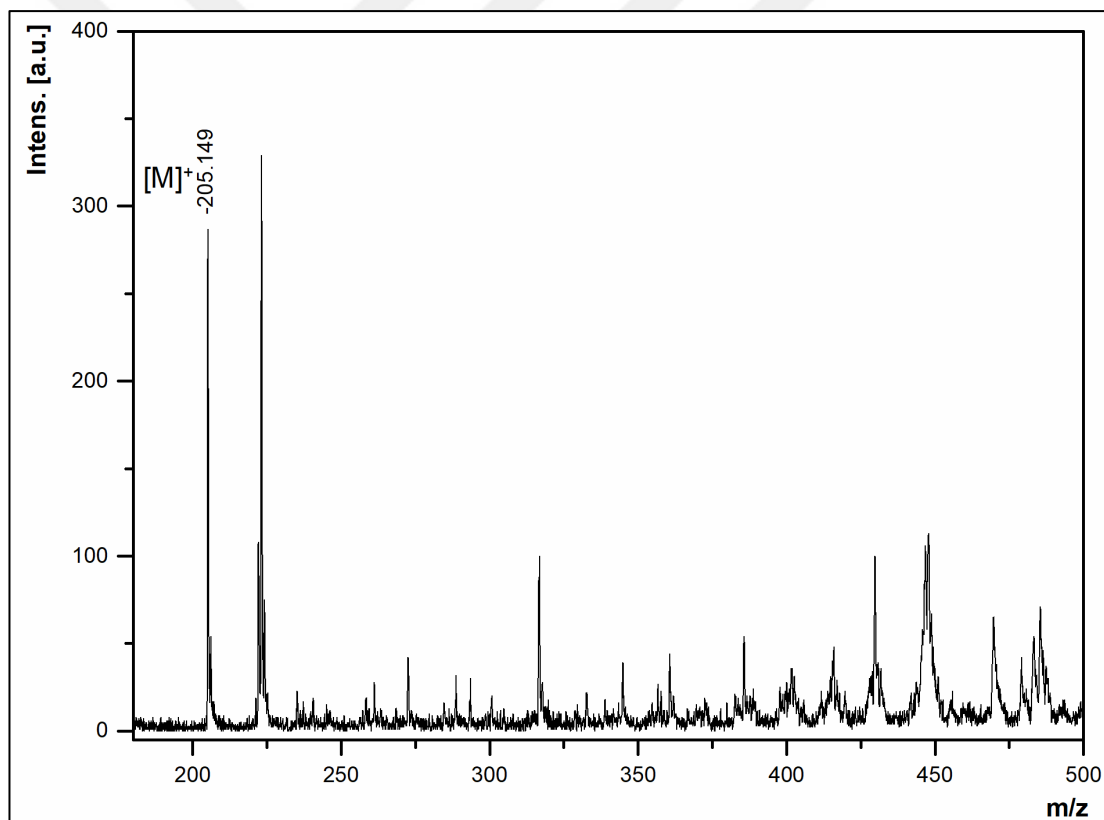
5.1.1. Bileşik (1-12)'in Yapı Analizleri

5.1.1.1. Bileşik 1'in Yapı Analizi



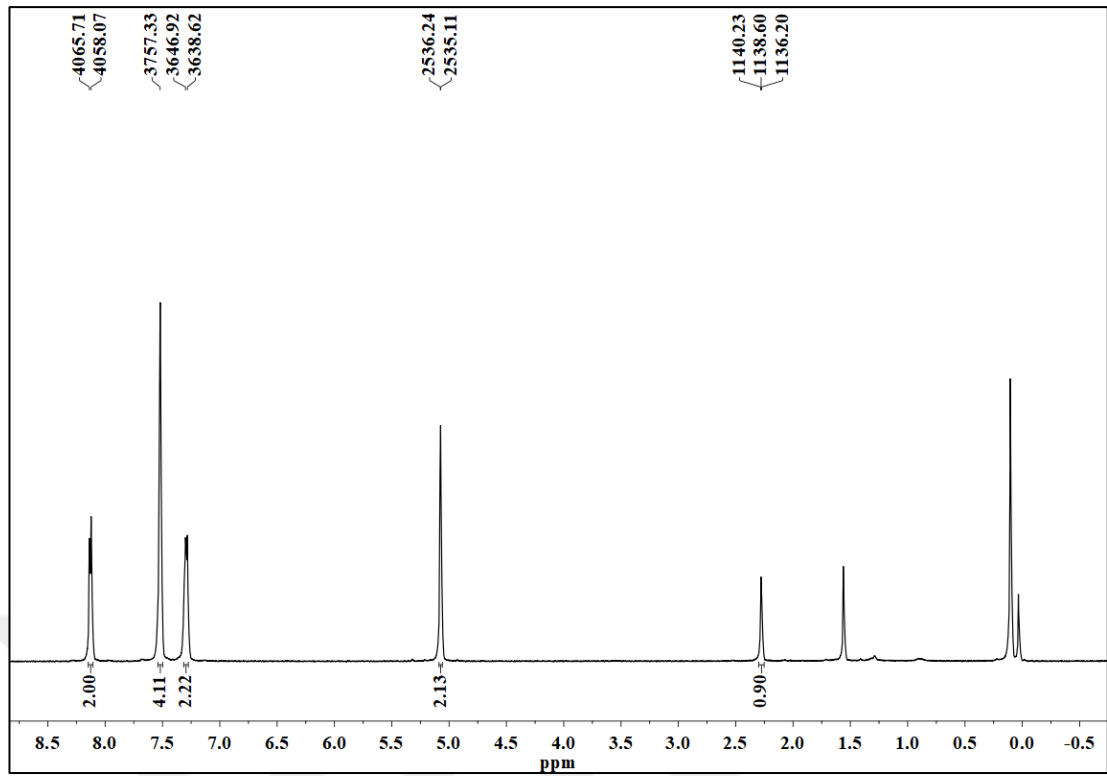
Şekil 5.1: Bileşik 1'in molekül yapısı

MALDI-TOF MS: CHCA, hesaplanan ($C_{15}H_{11}N$): 205,26, bulunan: 205,15 $[M]^+$ (Şekil 5.2).



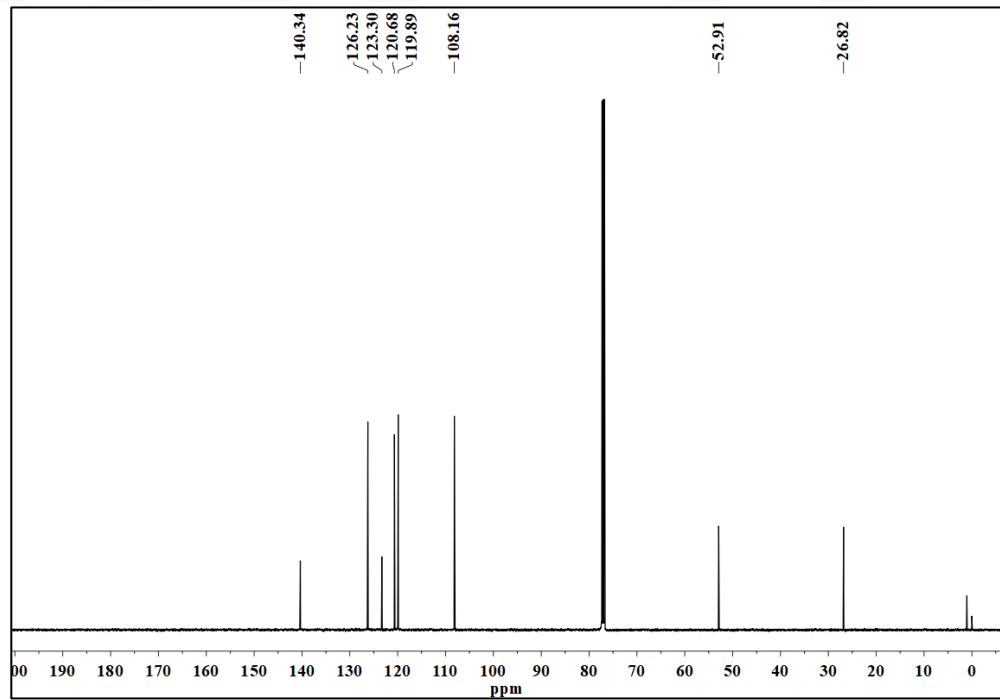
Şekil 5.2: Bileşik 1'in kütle spektrumu.

^1H NMR (500 MHz, $CDCl_3$, 298 K, ppm): δ = 8,13 (d, J = 7,64 Hz, 2H, Ar-CH), 7,52 (s, 4H, Ar-CH), 7,29 (d, J = 8,30 Hz, 2H, Ar-CH), 5,07 (d, J = 1,13 Hz, 2H, $-CH_2$), 2,28 (t, J = 2,01 Hz, 1H, $\equiv CH$) (Şekil 5.3).



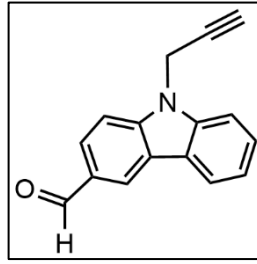
Şekil 5.3: Bileşik 1'in ^1H -NMR spektrumu.

^{13}C NMR (126 MHz, CDCl_3 , 298 K, ppm): δ = 140,34, 126,23, 123,30, 120,68, 119,89, 108,16, 52,91, 26,82 (Şekil 5.4).



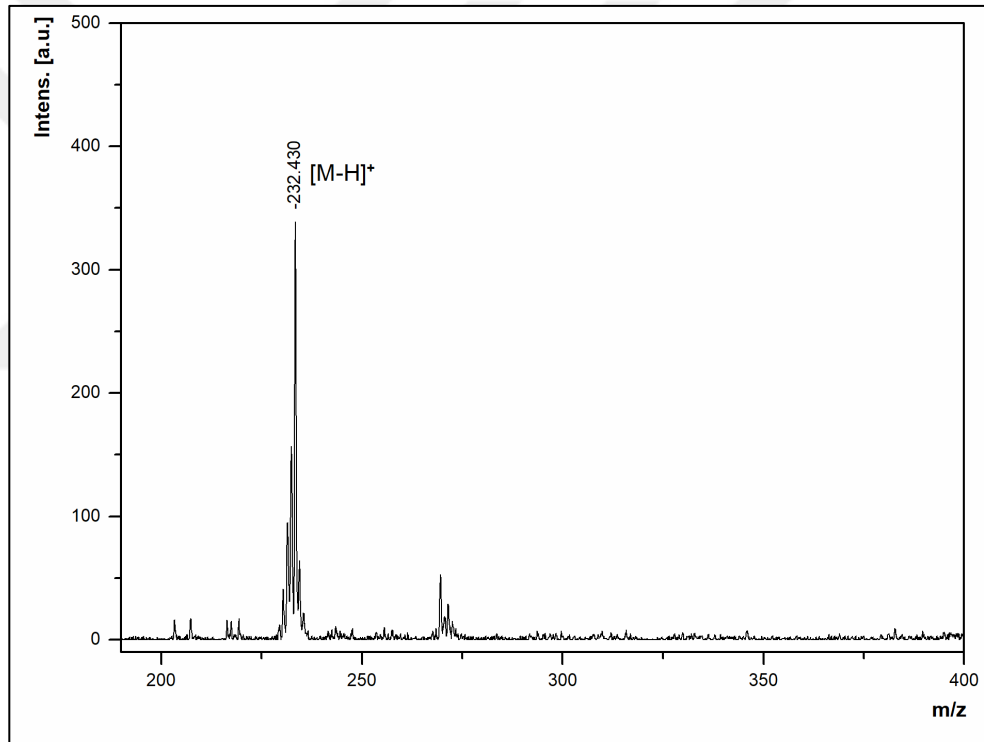
Şekil 5.4: Bileşik 1'in ^{13}C -NMR spektrumu.

5.1.1.2. Bileşik 2'nin Yapı Analizi



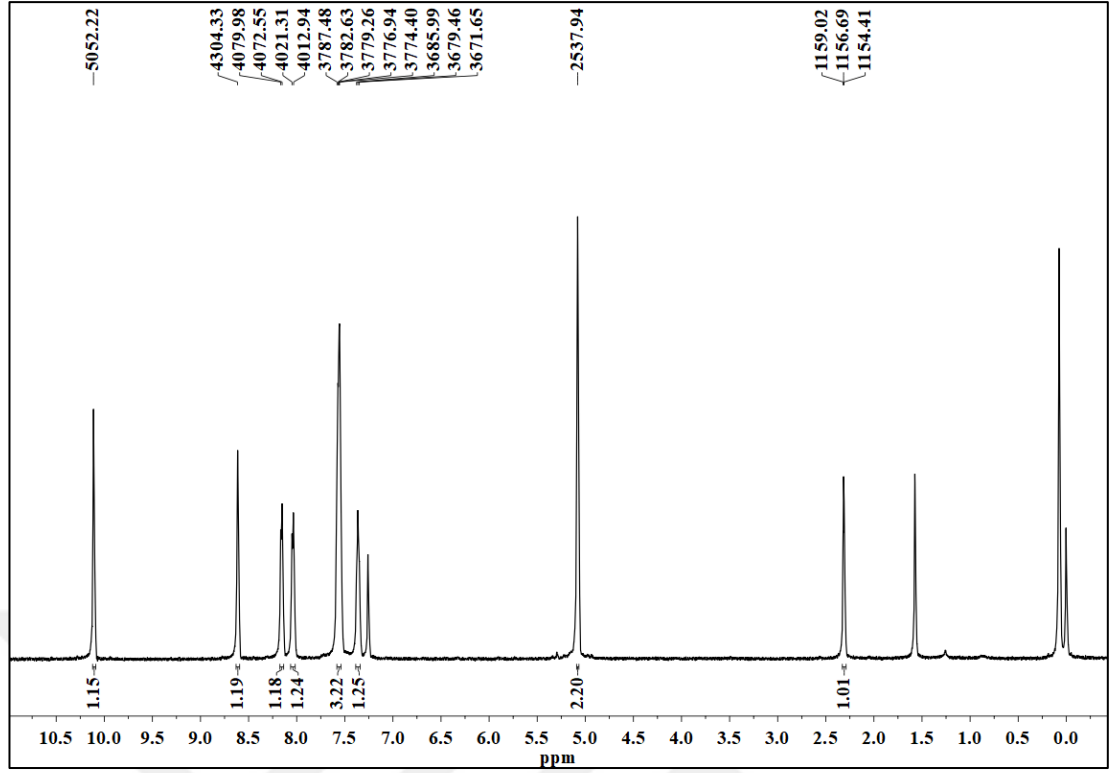
Şekil 5.5: Bileşik 2'nin molekül yapısı.

MALDI-TOF MS: CHCA, hesaplanan ($C_{16}H_{11}NO$): 233,27, bulunan: 232,43 $[M-H]^+$.
(Şekil 5.6).



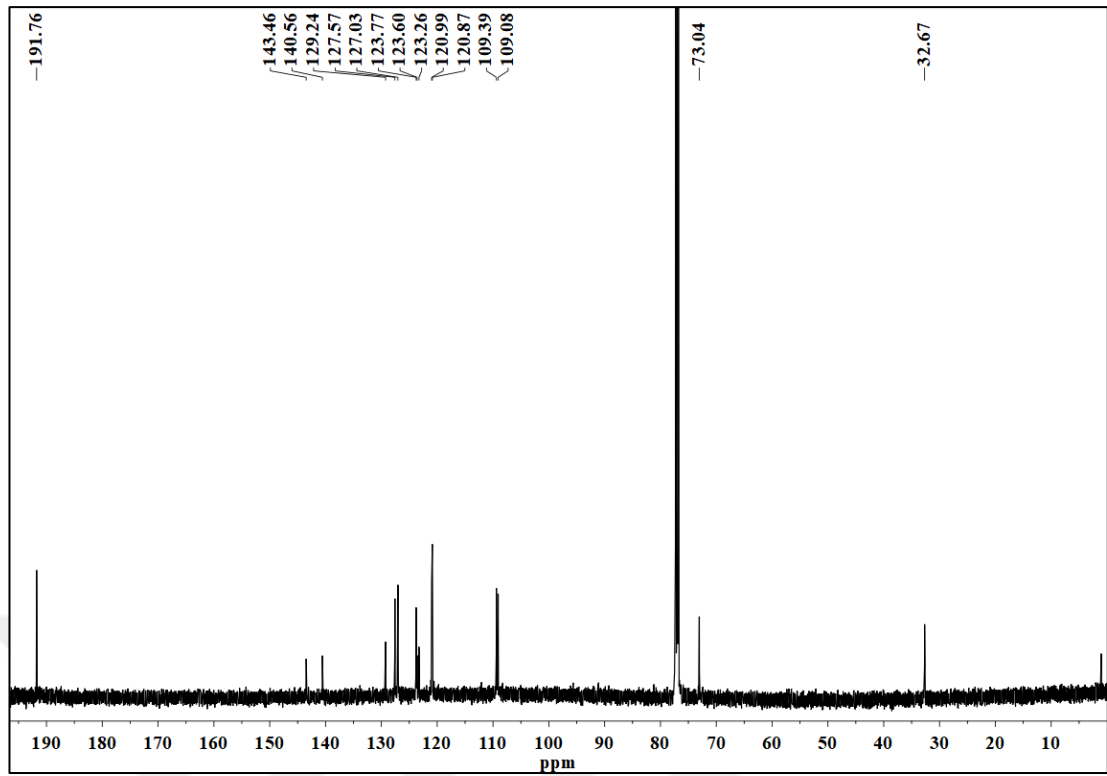
Şekil 5.6: Bileşik 2'nin kütle spektrumu.

^1H NMR (500 MHz, $CDCl_3$, 298 K, ppm): δ = 10,11 (s, 1H, -CHO), 8,62 (s, 1H, Ar-CH), 8,16 (d, J = 7,43 Hz, 1H, Ar-CH), 8,04 (d, J = 8,37 Hz, 1H, Ar-CH), 7,58–7,54 (m, 3H, Ar-CH), 7,37–7,35 (m, 1H, Ar-CH), 5,08 (s, 2H, -CH₂), 2,31 (t, J = 2,30 Hz, 1H, $\equiv$ CH) (Şekil 5.7).



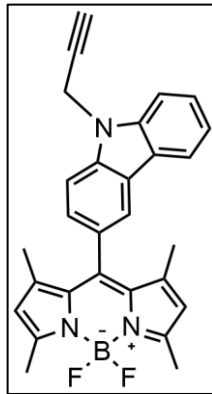
Şekil 5.7: Bileşik 2'nin ^1H -NMR spektrumu.

^{13}C NMR (126 MHz, CDCl_3 , 298 K, ppm): δ = 191,76, 143,46, 140,56, 129,24, 127,57, 127,03, 123,77, 123,60, 123,26, 120,99, 120,87, 109,39, 109,08, 73,04, 32,67 (Şekil 5.8).



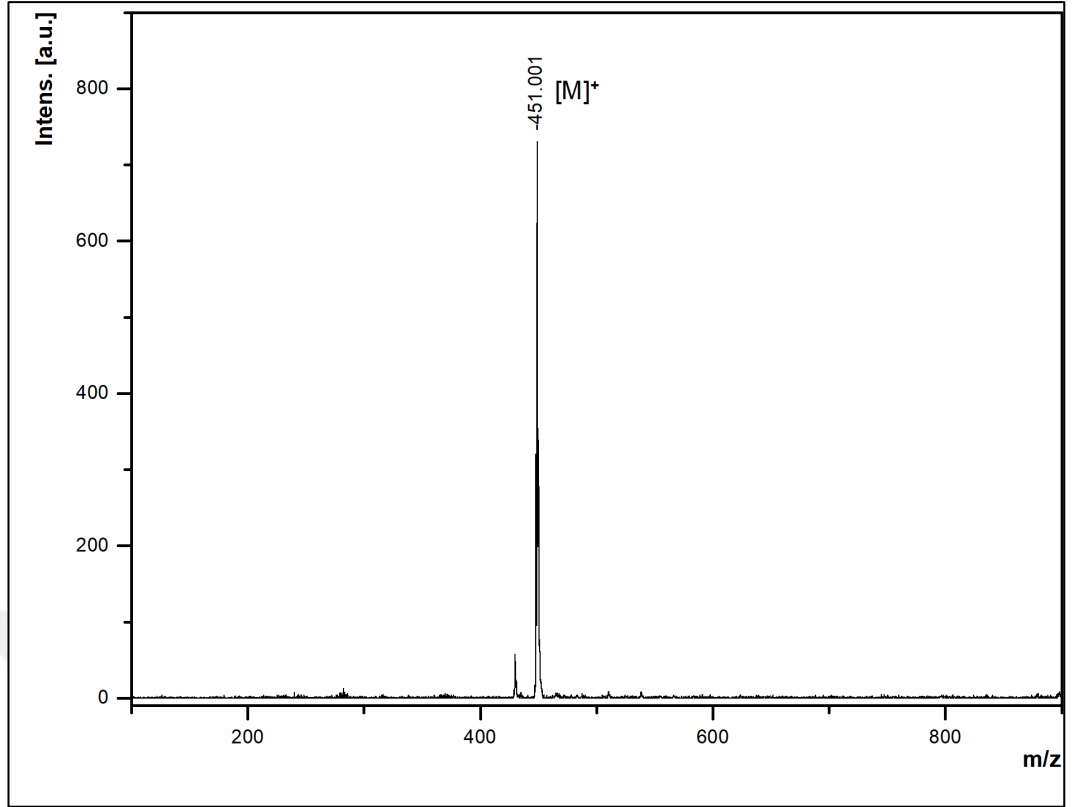
Şekil 5.8: Bileşik 2'nin ^{13}C -NMR spektrumu.

5.1.1.3. Bileşik 3'ün Yapı Analizi



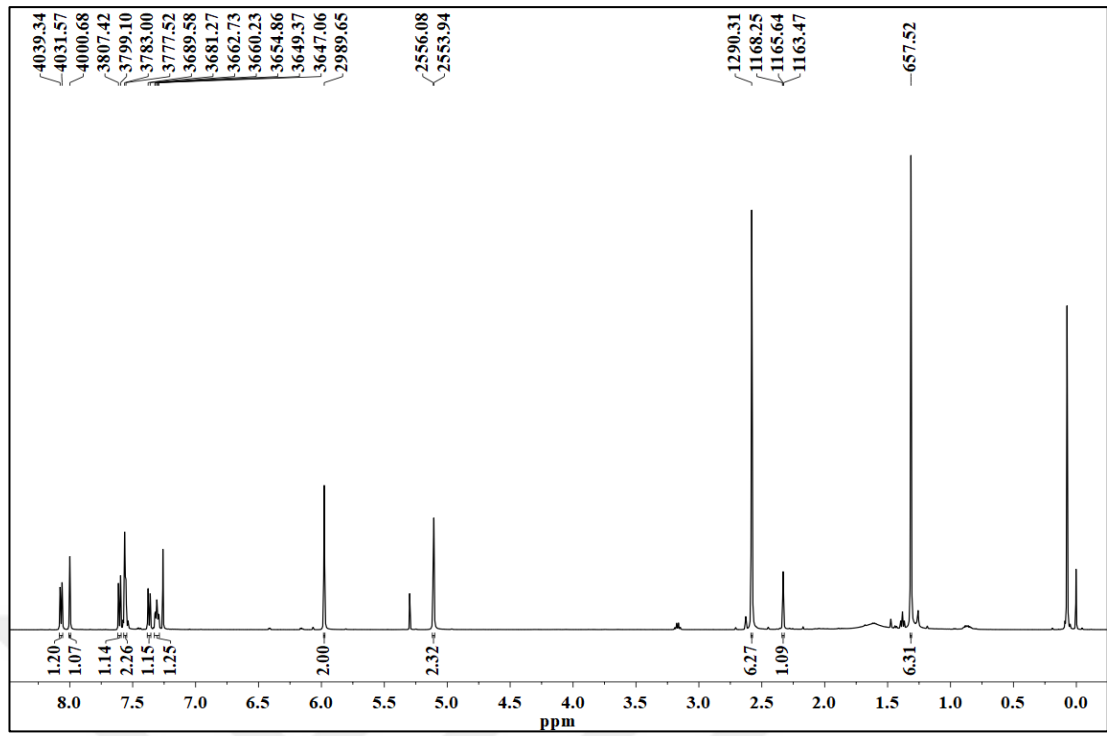
Şekil 5.9: Bileşik 3'ün molekül yapısı.

MALDI-TOF MS: SA, hesaplanan ($\text{C}_{28}\text{H}_{24}\text{BF}_2\text{N}_3$): 451,33, bulunan: 451,00 $[\text{M}]^+$. (Şekil 5.10).



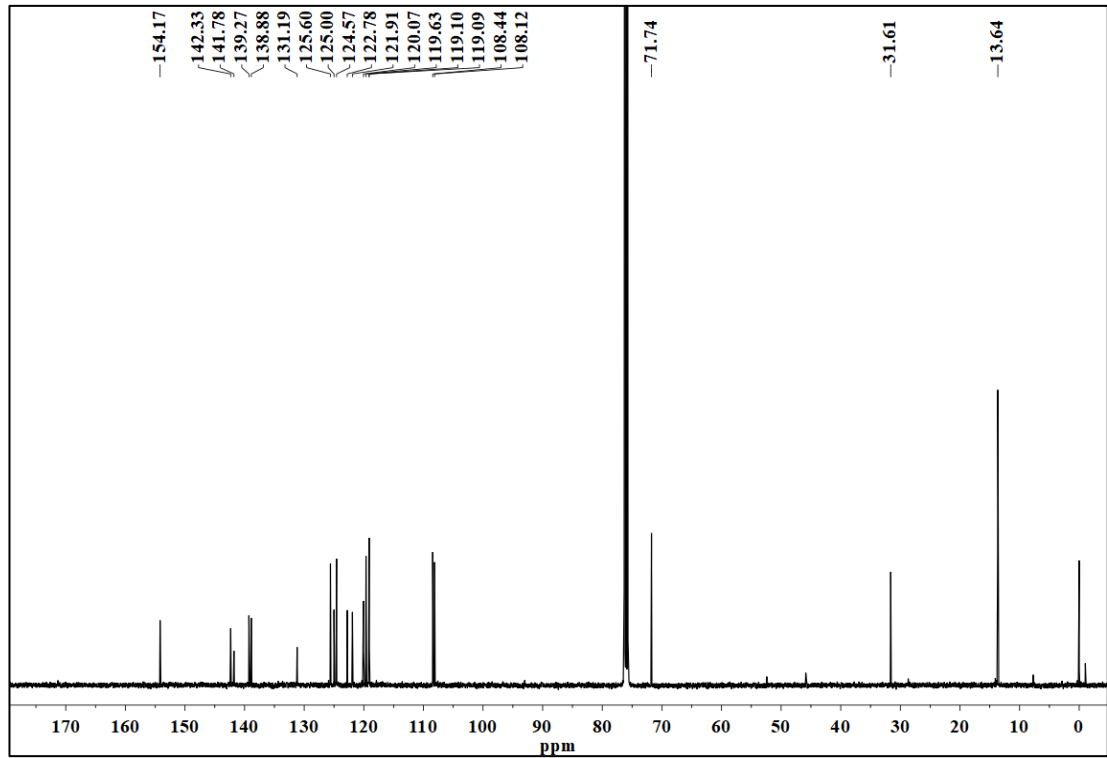
Şekil 5.10: Bileşik 3'ün kütle spektrumu.

^1H NMR (500 MHz, CDCl_3 , 298 K): δ = 8,07 (d, J = 7,77 Hz, 1H, Ar-CH), 8,00 (s, 1H, Ar-CH), 7,60 (d, J = 8,32 Hz, 1H, Ar-CH), 7,56-7,55 (m, 2H, Ar-CH), 7,37 (d, J = 8,31 Hz, 1H, Ar-CH), 7,32-7,29 (m, 1H, Ar-CH), 5,98 (s, 2H, pirol-CH), 5,11 (d, J = 2,14 Hz, 2H, $-\text{CH}_2$), 2,58 (s, 6H, $-\text{CH}_3$), 2,33 (t, J = 2,39 Hz, 1H, $\equiv\text{CH}$), 1,31 (s, 6H) (Şekil 5.11).



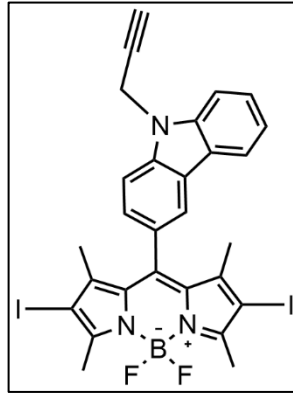
Şekil 5.11: Bileşik 3'ün ^1H -NMR spektrumu.

^{13}C NMR (126 MHz, CDCl_3 , 298 K): δ = 154,17, 142,33, 141,78, 139,27, 138,88, 131,19, 125,60, 125,00, 124,57, 122,78, 121,91, 120,07, 119,63, 119,10, 119,09, 108,44, 108,12, 71,74, 31,61, 13,64 (Şekil 5.12).



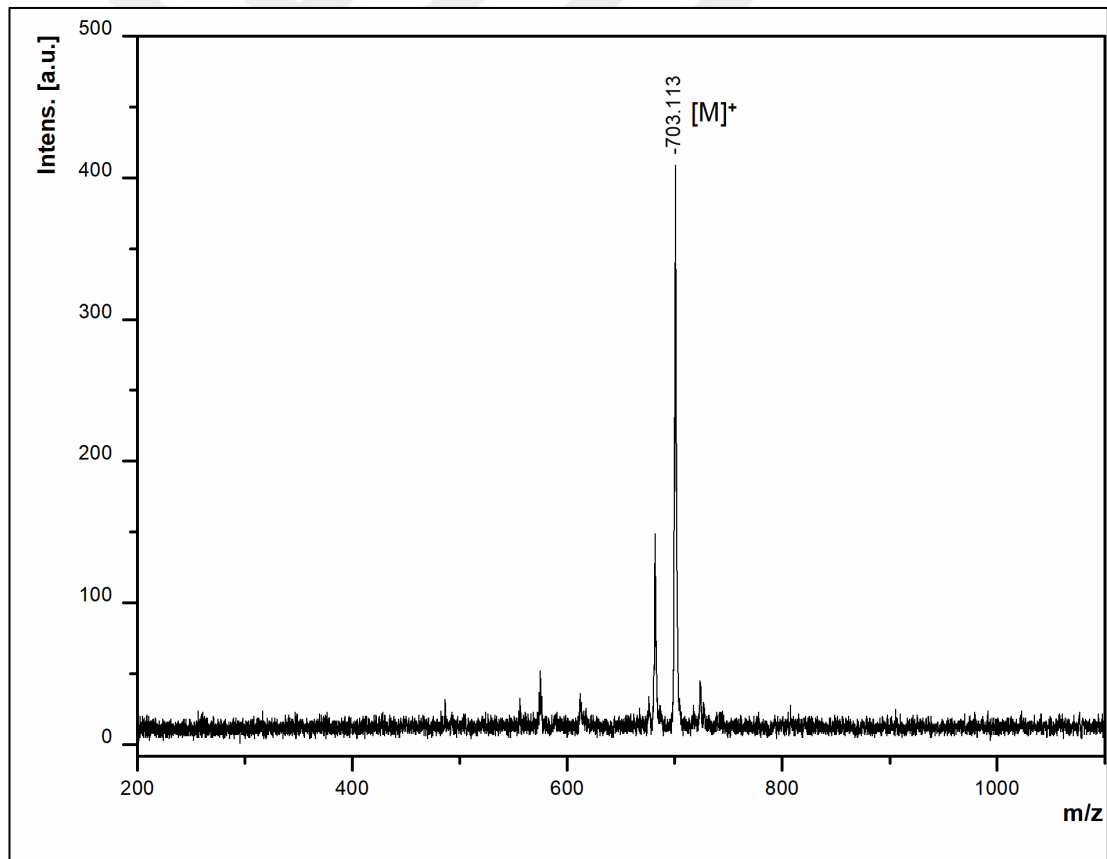
Şekil 5.12: Bileşik 3'ün ^{13}C -NMR spektrumu.

5.1.1.4. Bileşik 4'ün Yapı Analizi



Şekil 5.13: Bileşik 4'ün molekül yapısı.

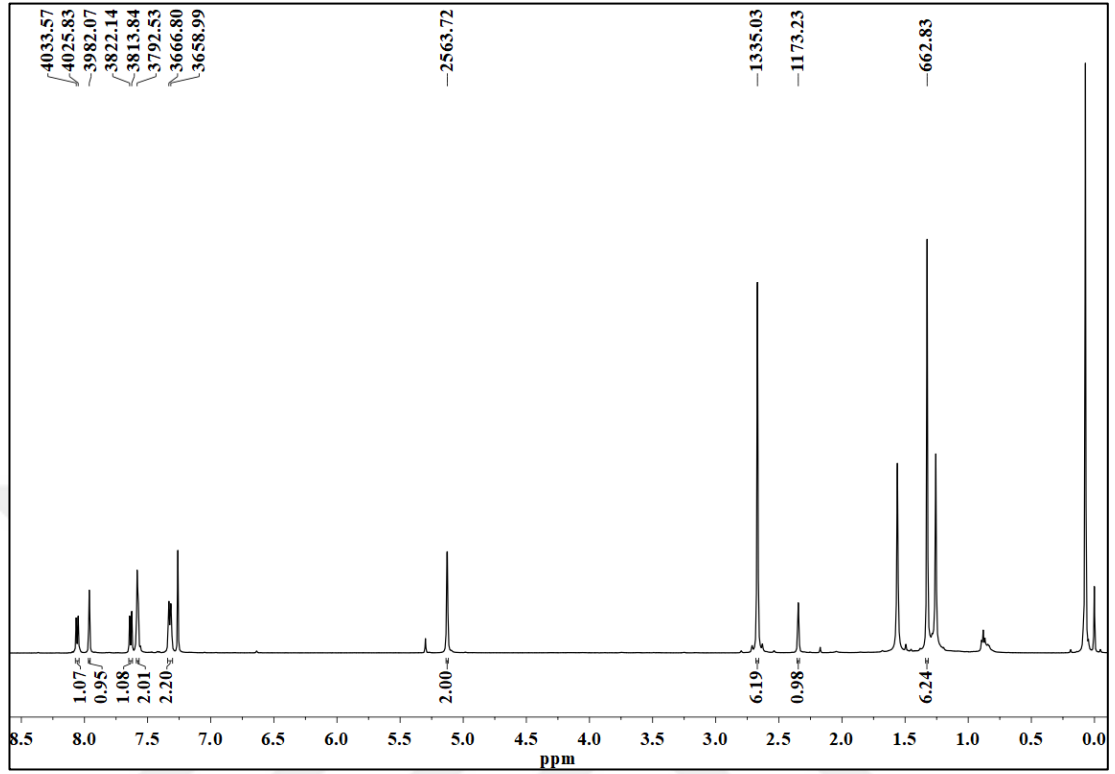
MALDI-TOF MS: DIT, hesaplanan ($C_{28}H_{22}BF_2I_2N_3$): 703,12, bulunan: 703,11 $[M]^+$. (Şekil 5.14).



Şekil 5.14: Bileşik 4'ün kütle spektrumu.

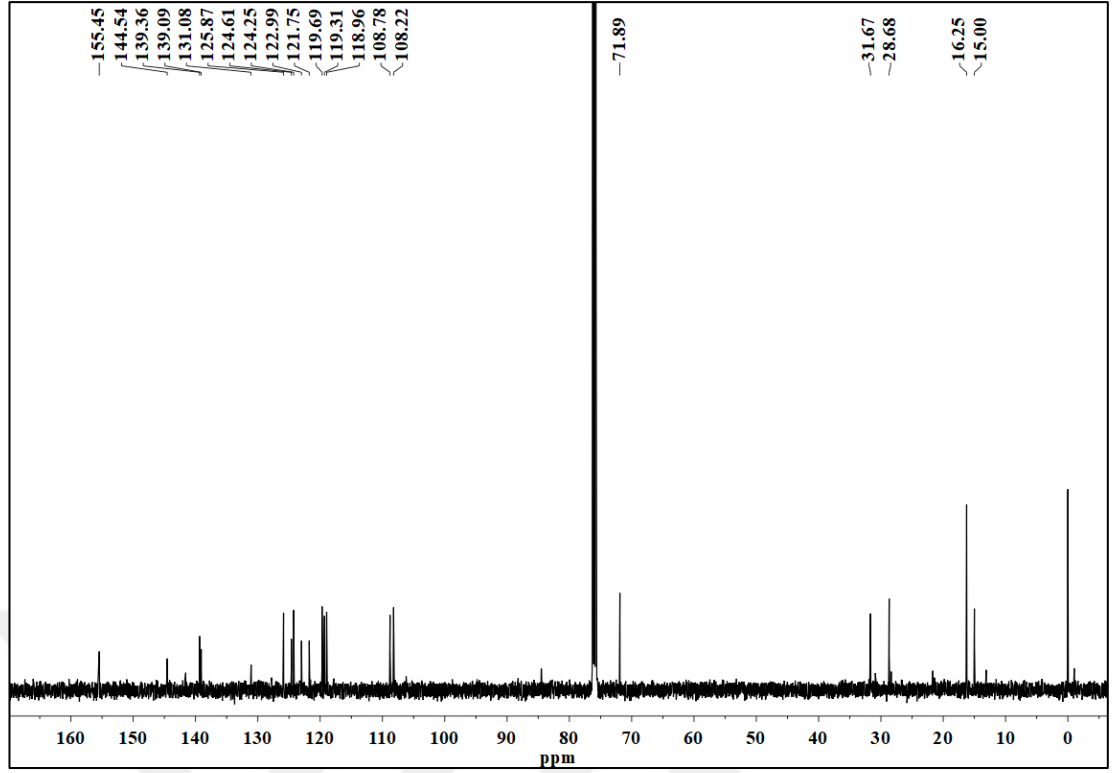
^1H NMR (500 MHz, $CDCl_3$, 298 K): δ = 8,06 (d, J = 7,74 Hz, 1H, Ar-CH), 7,96 (s, 1H, Ar-CH), 7,63 (d, J = 8,30 Hz, 1H, Ar-CH), 7,58 (br, 2H, Ar-CH), 7,32 (d, J = 7,81

Hz, 2H, Ar-CH), 5,13 (s, 2H, -CH₂), 2,67 (s, 6H, -CH₃), 2,35 (s, 1H, ≡CH), 1,33 (s, 6H, -CH₃) (Şekil 5.15).



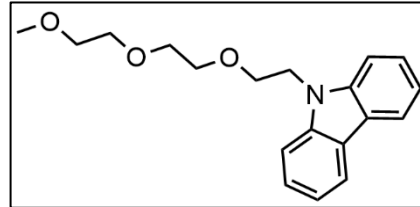
Şekil 5.15: Bileşik 4'ün ¹H-NMR spektrumu.

¹³C NMR (126 MHz, CDCl₃, 298 K): δ= 155,45, 144,54, 139,36, 139,09, 131,08, 125,87, 124,61, 124,25, 122,99, 121,75, 119,69, 119,31, 118,96, 108,78, 108,22, 71,89, 31,67, 28,68, 16,25, 15,00 (Şekil 5.16).



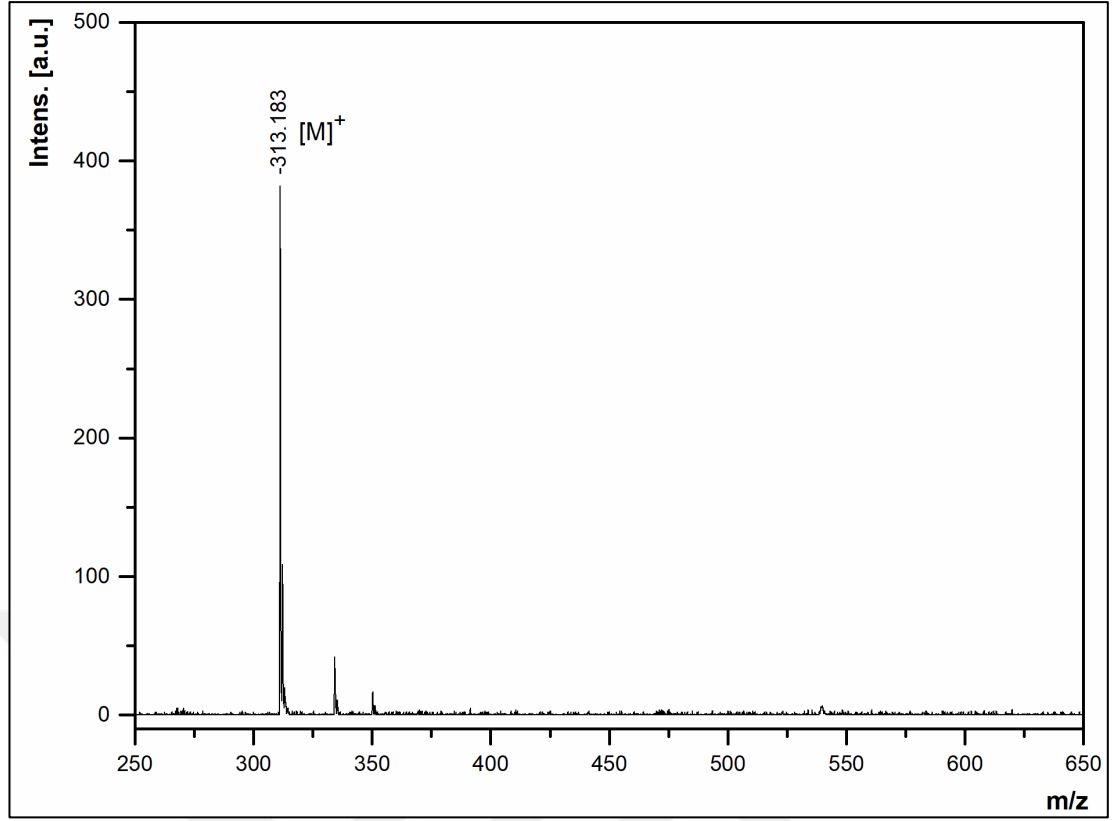
Şekil 5.16: Bileşik 4'ün ^{13}C -NMR spektrumu.

5.1.1.5. Bileşik 5'in Yapı Analizi



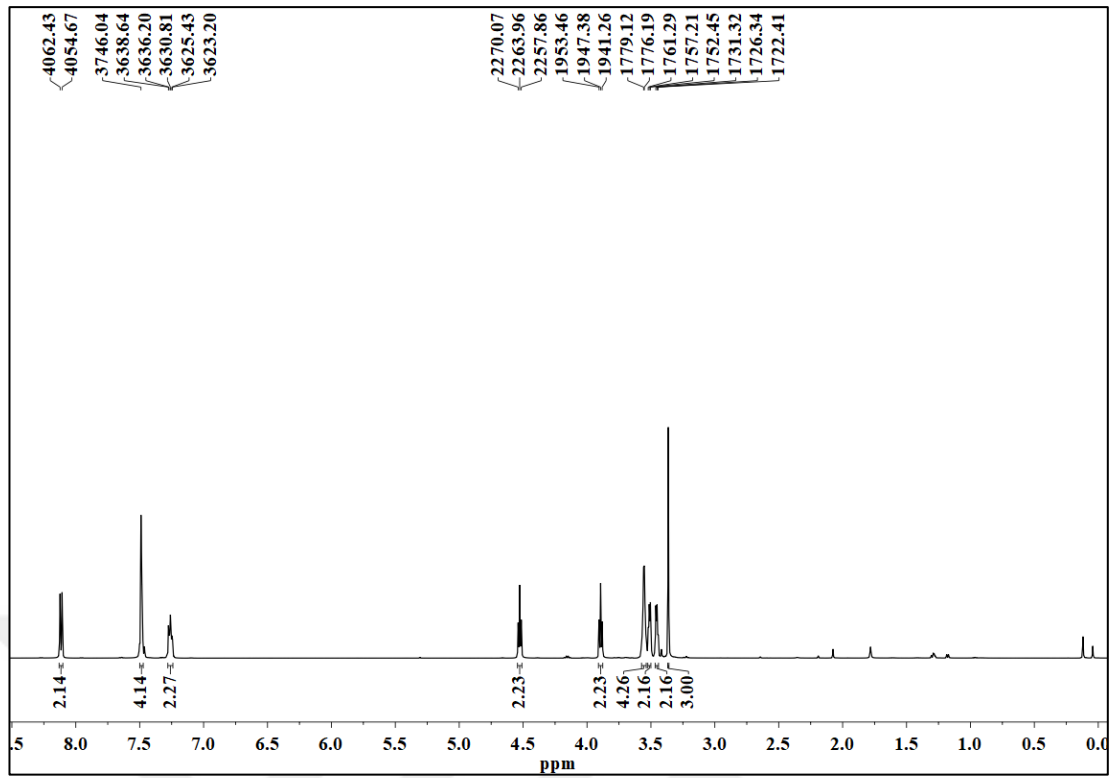
Şekil 5.17: Bileşik 5'in molekül yapısı.

MALDI-TOF MS: CHCA, hesaplanan ($\text{C}_{19}\text{H}_{23}\text{NO}_3$): 313,40, bulunan: 313,18 $[\text{M}]^+$. (Şekil 5.18).



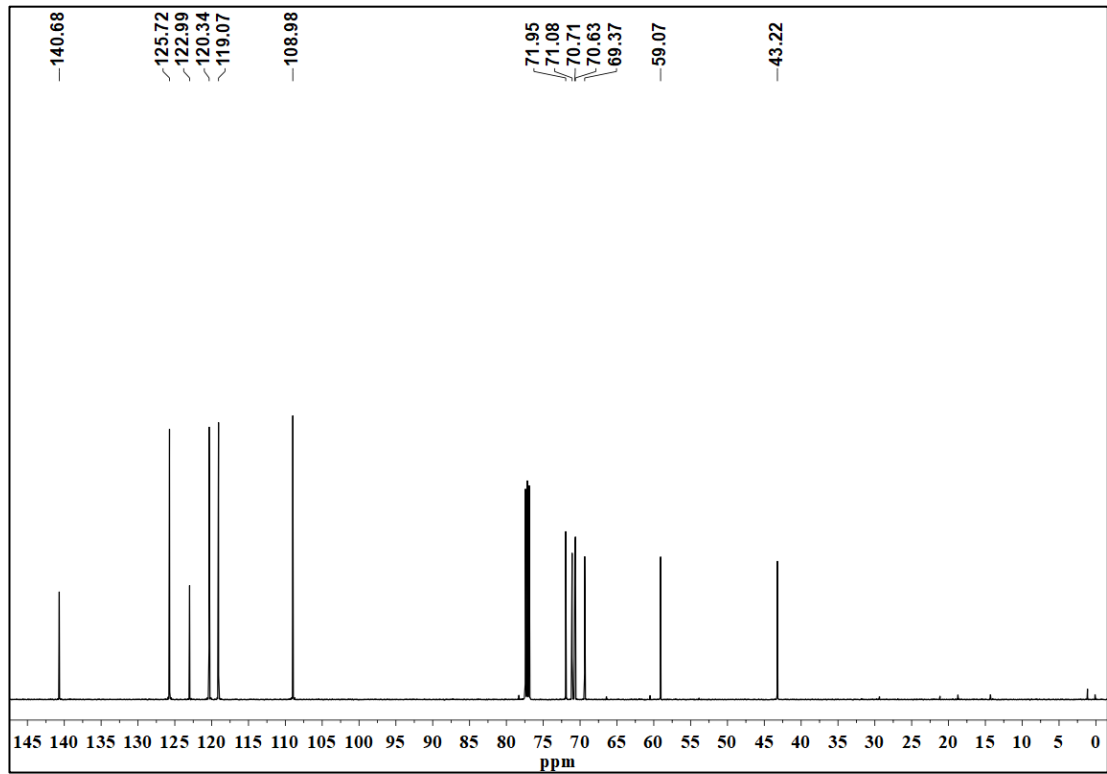
Şekil 5.18: Bileşik 5'in kütle spektrumu.

¹H NMR (500 MHz, CDCl₃, 298 K): δ = 8,11 (d, J = 7,79 Hz, 2H, Ar-CH), 7,49 (br, 4H, Ar-CH), 7,28-7,24 (m, 2H, Ar-CH), 4,53 (t, J = 6,10 Hz, 2H, -OCH₂), 3,89 (t, J = 6,10 Hz, 2H, -OCH₂), 3,57-3,55 (m, 4H, -OCH₂), 3,52-3,50 (m, 2H, -OCH₂), 3,46-3,44 (m, 2H, -OCH₂), 3,36 (s, 3H, -OCH₃) (**Şekil 5.19**).



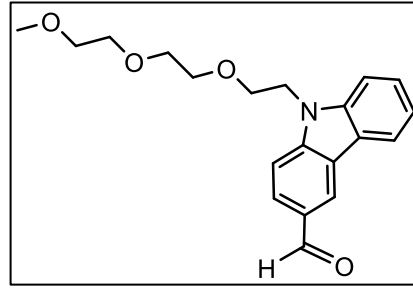
Şekil 5.19: Bileşik 5'in ^1H -NMR spektrumu.

^{13}C NMR (126 MHz, CDCl_3 , 298 K): δ = 140,68, 125,72, 122,99, 120,34, 119,07, 108,98, 71,95, 71,08, 70,71, 70,63, 69,37, 59,07, 43,22 (Şekil 5.20).



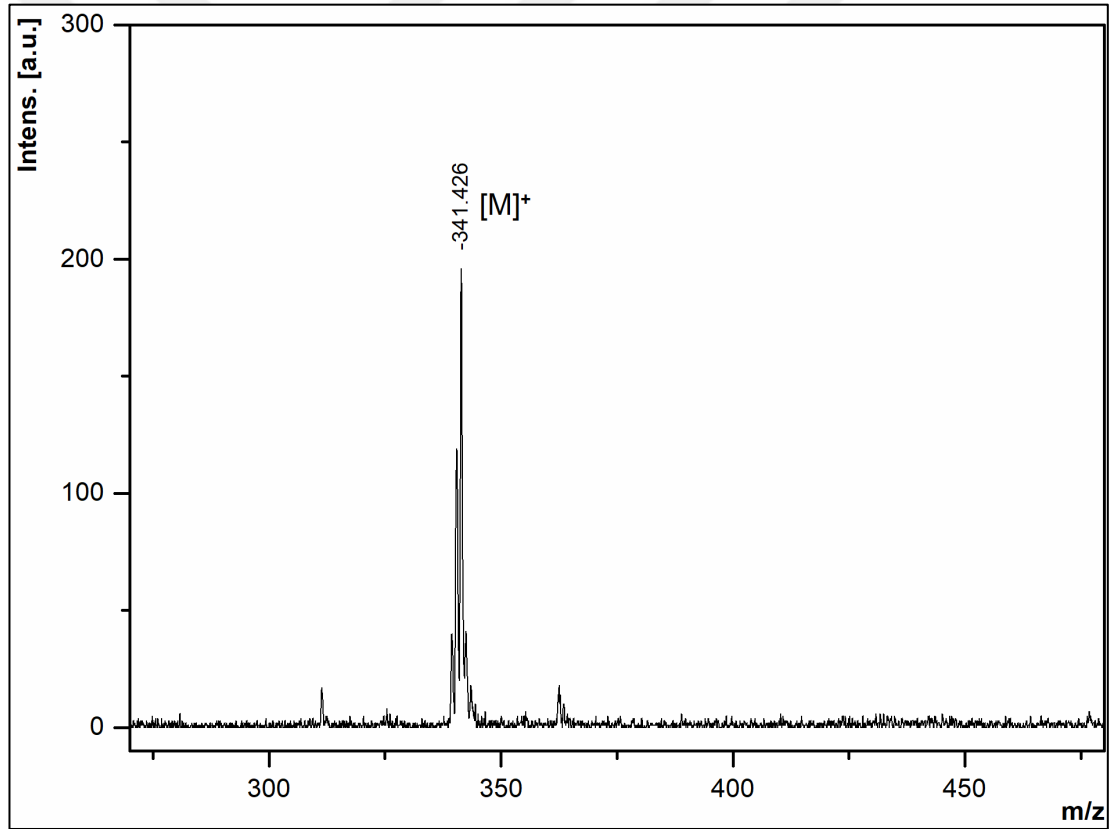
Şekil 5.20: Bileşik 5'in ^{13}C -NMR spektrumu.

5.1.1.6. Bileşik 6'nın Yapı Analizi



Şekil 5.21: Bileşik 6'nın molekül yapısı

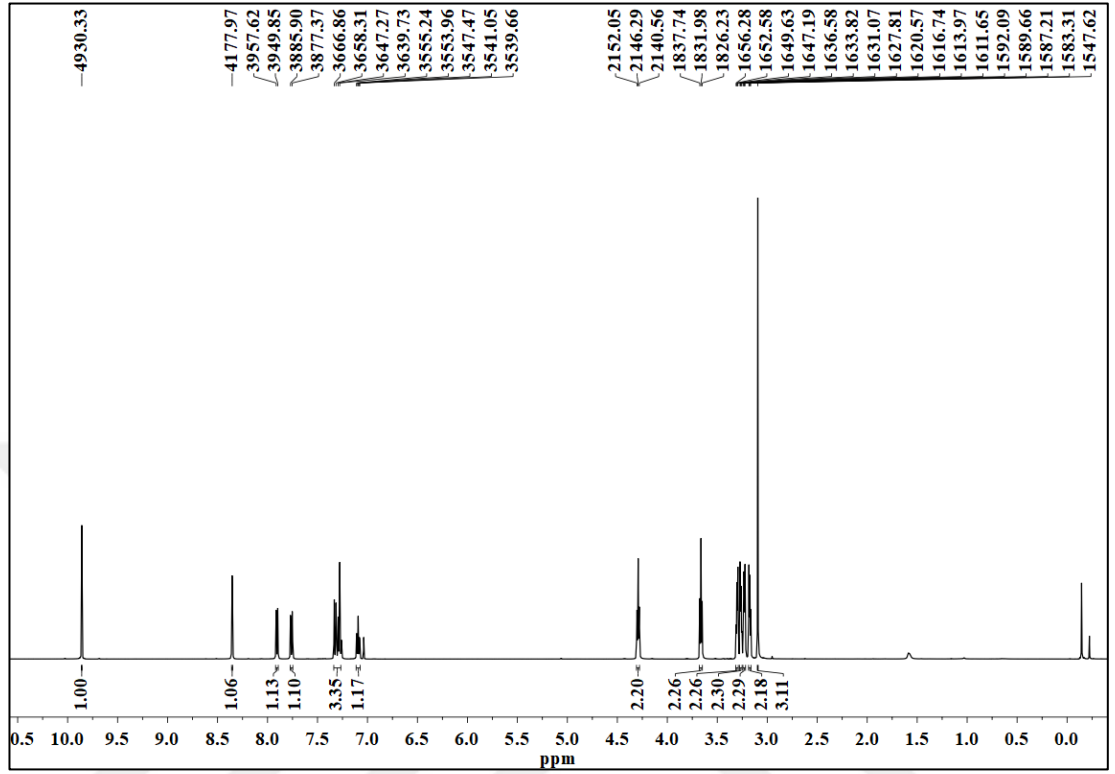
MALDI-TOF MS: DIT, hesaplanan ($C_{20}H_{23}NO_4$): 341,41, bulunan: 341,43 $[M]^+$. (Şekil 5.22).



Şekil 5.22: Bileşik 6'nın kütle spektrumu.

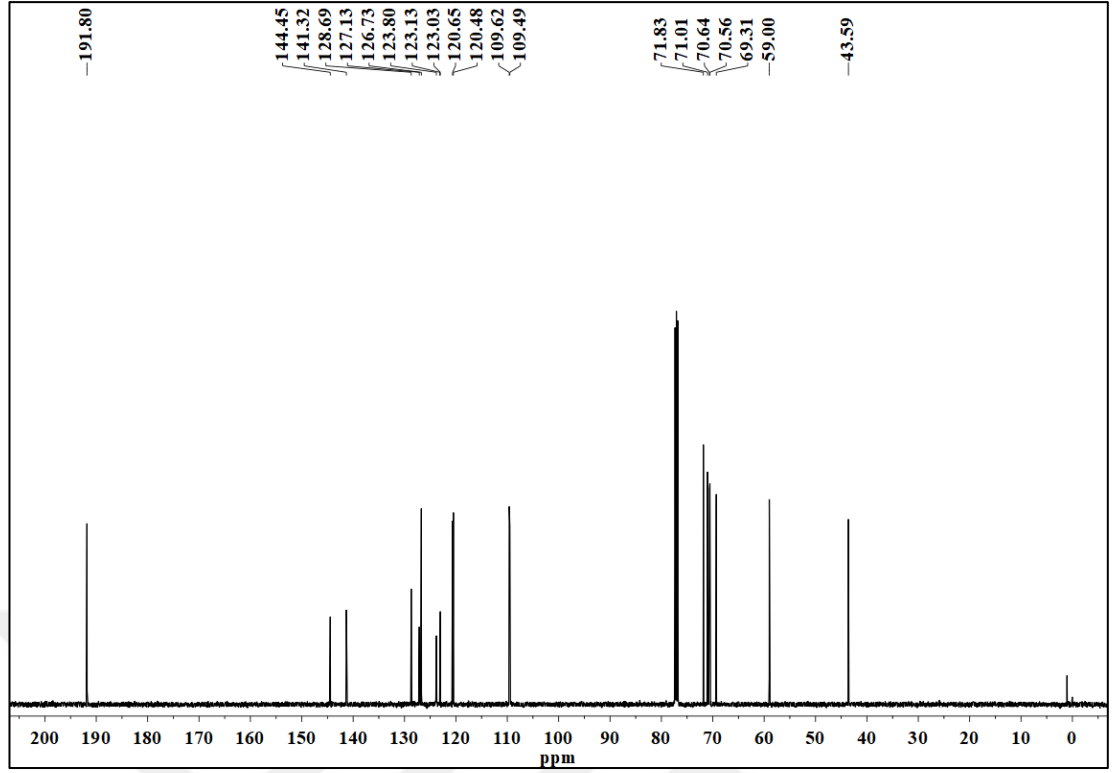
^1H NMR (500 MHz, $CDCl_3$, 298 K): δ = 9,86 (s, 1H, -CHO), 8,35 (s, 1H, Ar-CH), 7,91 (d, J = 7,77 Hz, 1H, Ar-CH), 7,76 (d, J = 8,53 Hz, 1H, Ar-CH), 7,33-7,28 (m, 3H, Ar-CH), 7,11-7,08 (m, 1H, Ar-CH), 4,29 (t, J = 5,74 Hz, 2H, -OCH₂), 3,66 (t, J = 5,76

Hz, 2H, -OCH₂), 3,31-3,29 (m, 2H, -OCH₂), 3,27-3,25 (m, 2H, -OCH₂), 3,24-3,22 (m, 2H, -OCH₂), 3,18-3,16 (m, 2H, -OCH₂), 3,09 (s, 3H, -OCH₃) (Şekil 5.23).



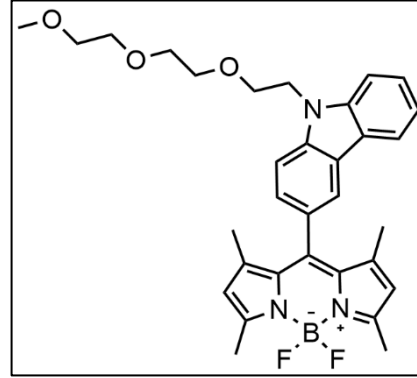
Şekil 5.23: Bileşik 6'nın ¹H-NMR spektrumu.

¹³C NMR (126 MHz, CDCl₃, 298 K, ppm): δ= 191,80, 144,45, 141,32, 128.69, 127,13, 126,73, 123,80, 123,13, 123,03, 120,65, 120,48, 109,62, 109,49, 71,83, 71,01, 70,64, 70,56, 69,31, 59,00, 43,59 (Şekil 5.24).



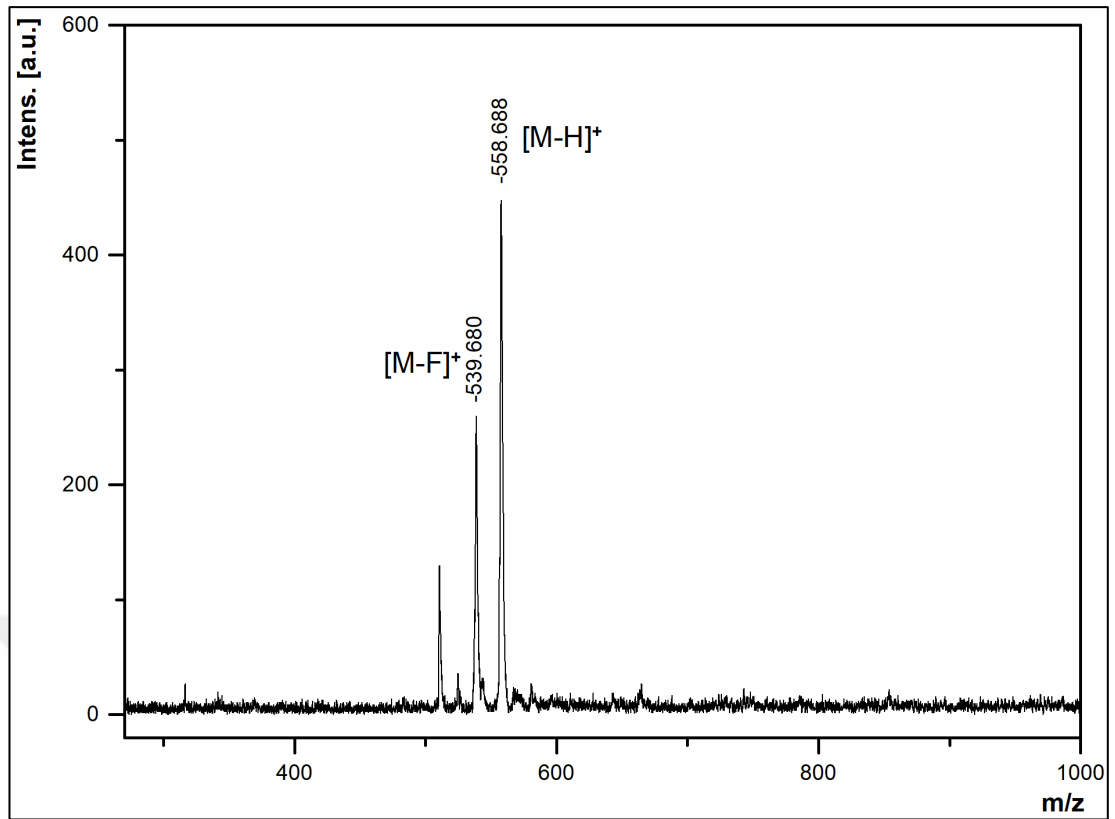
Şekil 5.24: Bileşik 6'nın ^{13}C -NMR spektrumu.

5.1.1.7. Bileşik 7'nin Yapı Analizi



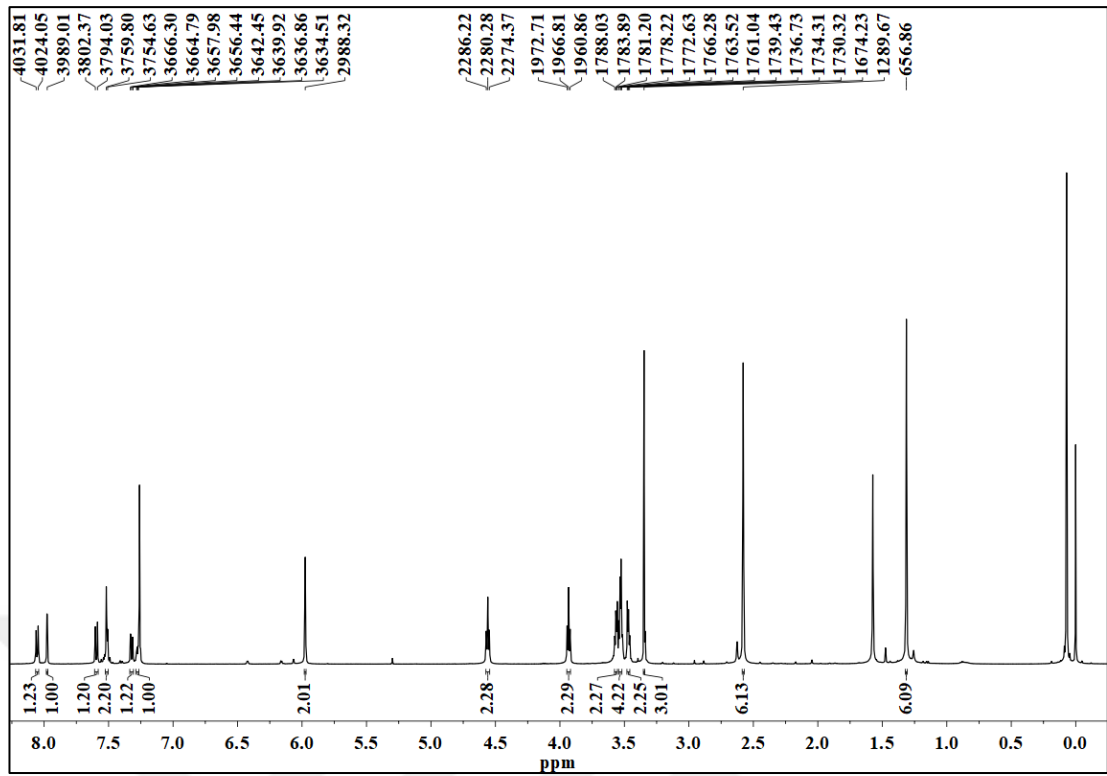
Şekil 5.25: Bileşik 7'nin molekül yapısı.

MALDI-TOF MS: CHCA, hesaplanan ($\text{C}_{32}\text{H}_{36}\text{BF}_2\text{N}_3\text{O}_3$): 559,46, bulunan: 558,688 $[\text{M}-\text{H}]^+$, 539,680 $[\text{M}-\text{F}]^+$ (Şekil 5.26).



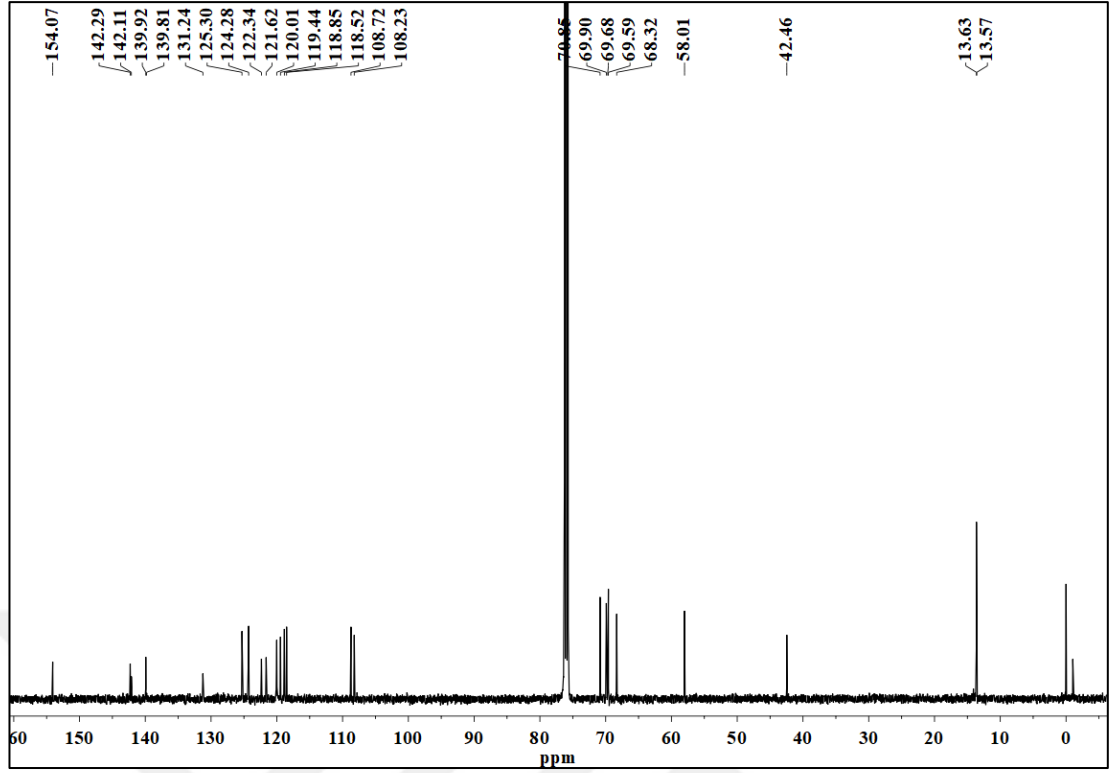
Şekil 5.26: Bileşik 7'nin kütle spektrumu.

¹H NMR (500 MHz, CDCl₃, 298 K): δ = 8,05 (d, J = 7,76 Hz, 1H, Ar-CH), 7,98 (s, 1H, Ar-CH), 7,59 (d, J = 8,34 Hz, 1H, Ar-CH), 7,52-7,50 (m, 2H, Ar-CH), 7,32 (dd, J_1 = 8,33 Hz, J_2 = 1,52 Hz, 1H, Ar-CH), 7,28-7,26 (m, 1H, Ar-CH), 5,98 (s, 2H, pirol-CH), 4,56 (t, J = 5,92 Hz, 2H, -OCH₂), 3,93 (t, J = 5,92 Hz, 2H, -OCH₂), 3,58-3,56 (m, 2H, -OCH₂), 3,54-3,52 (m, 4H, -OCH₂), 3,48-3,46 (m, 2H, -OCH₂), 3,35 (s, 3H, -OCH₃), 2,58 (s, 6H, -CH₃), 1,31 (s, 6H, -CH₃) (Şekil 5.27).



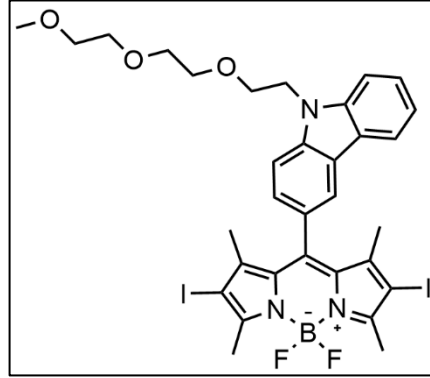
Şekil 5.27: Bileşik 7'nin ^1H -NMR spektrumu.

^{13}C NMR (126 MHz, CDCl_3 , 298 K): δ = 154,07, 142,29, 142,11, 139,92, 139,81, 131,24, 125,30, 124,28, 122,34, 121,62, 120,01, 119,44, 118,85, 118,52, 108,72, 108,23, 70,85, 69,90, 69,68, 69,59, 68,32, 58,01, 42,46, 13,63, 13,57 (Şekil 5.28).



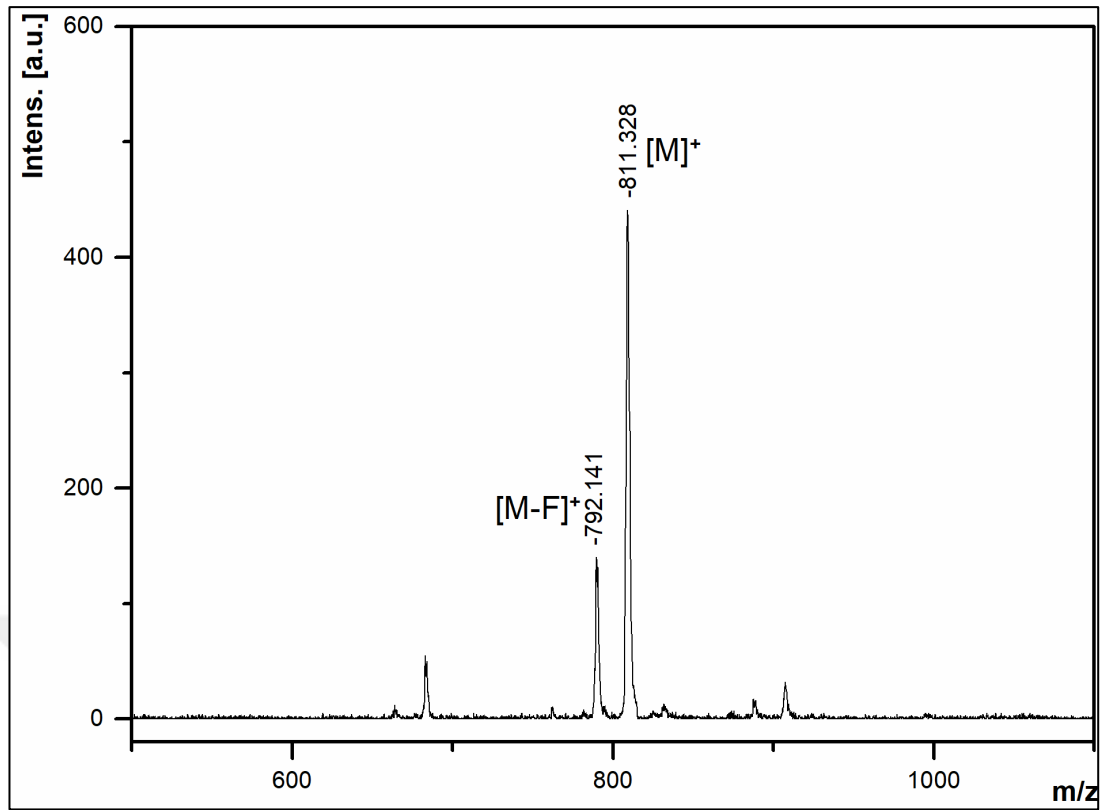
Şekil 5.28: Bileşik 7'nin ^{13}C -NMR spektrumu.

5.1.1.8. Bileşik 8'in Yapı Analizi



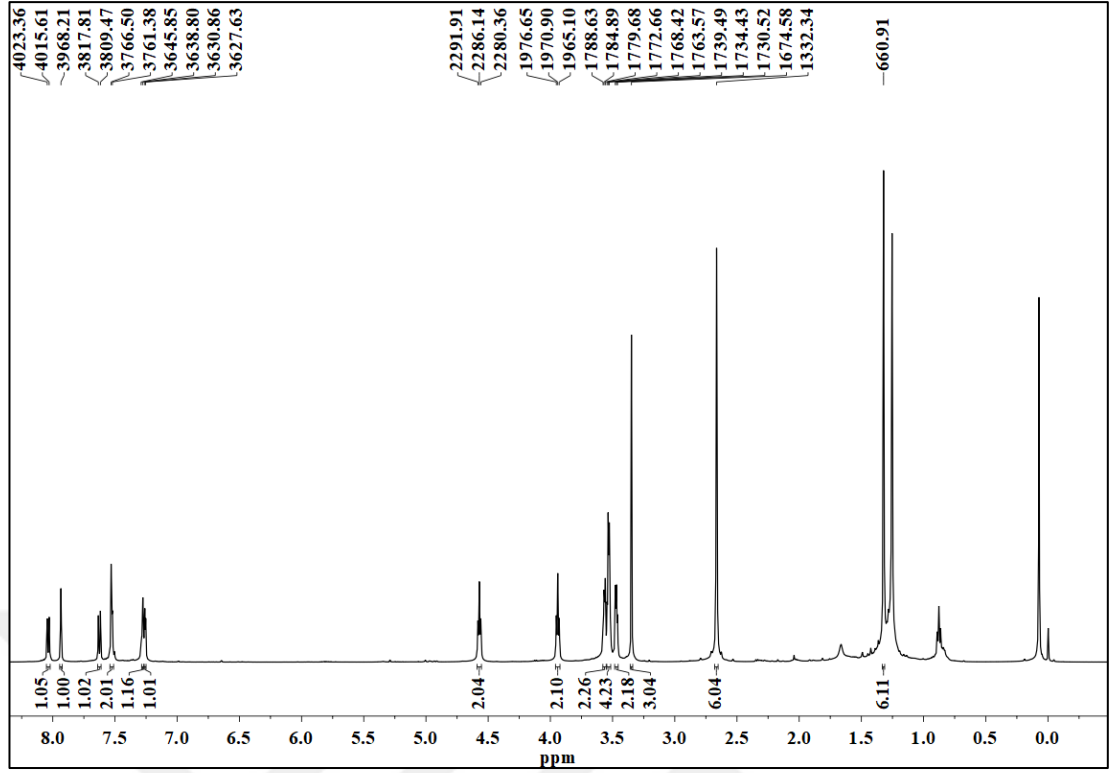
Şekil 5.29: Bileşik 8'in molekül yapısı.

MALDI-TOF MS: DIT, hesaplanan ($\text{C}_{32}\text{H}_{34}\text{BF}_2\text{I}_2\text{N}_3\text{O}_3$): 811,26, bulunan: 811,33 $[\text{M}]^+$, 792,141 $[\text{M}-\text{F}]^+$ (Şekil 5.30).



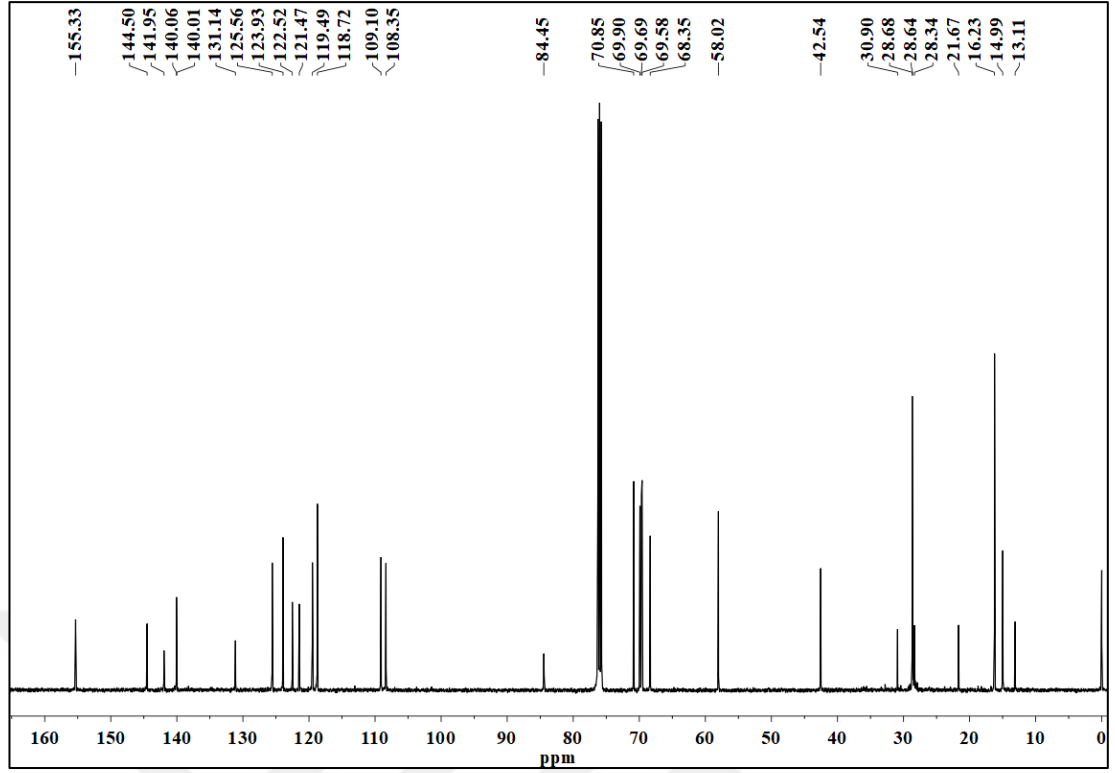
Şekil 5.30: Bileşik 8'in kütle spektrumu.

¹H NMR (500 MHz, CDCl₃, 298 K): δ = 8,04 (d, J = 7,75 Hz, 1H, Ar-CH), 7,93 (s, 1H, Ar-CH), 7,63 (d, J = 8,34 Hz, 1H, Ar-CH), 7,53-7,52 (m, 2H, Ar-CH), 7,29-7,27 (m, 1H, Ar-CH), 7,26-7,25 (m, 1H, Ar-CH), 4,57 (t, J = 5,78 Hz, 2H, -OCH₂), 3,94 (t, J = 5,78 Hz, 2H, -OCH₂), 3,58–3,56 (m, 2H, -OCH₂), 3,54-3,52 (m, 4H, -OCH₂), 3,48-3,46 (m, 2H, -OCH₂), 3,35 (s, 3H, -OCH₃), 2,65 (s, 6H, -CH₃), 1,32 (s, 6H, -CH₃) (Şekil 5.31).



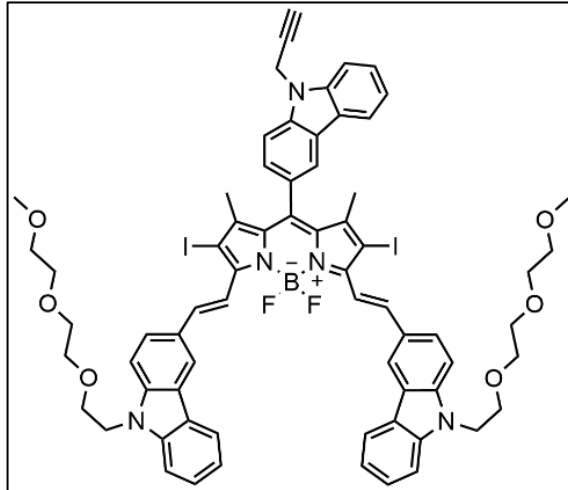
Şekil 5.31: Bileşik 8'in ^1H -NMR spektrumu.

^{13}C NMR (126 MHz, CDCl_3 , 298 K): δ = 155,33, 144,50, 141,95, 140,06, 140,01, 131,14, 125,56, 123,93, 122,52, 121,47, 119,49, 118,72, 109,10, 108,35, 84,45, 70,85, 69,90, 69,69, 69,58, 68,35, 58,02, 42,54, 30,90, 28,68, 28,64, 28,34, 21,67, 16,23, 14,99, 13,11 (Şekil 5.32).



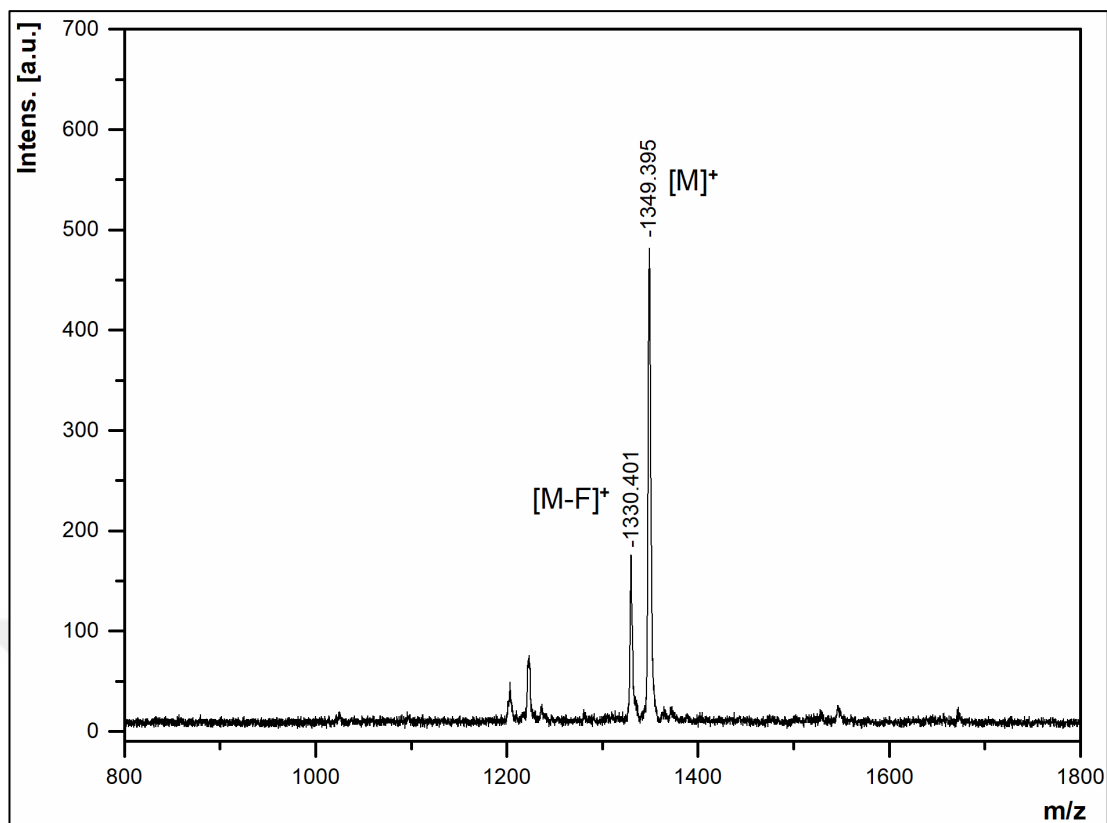
Şekil 5.32: Bileşik 8'in ^{13}C -NMR spektrumu.

5.1.1.9. Bileşik 9'un Yapı Analizi



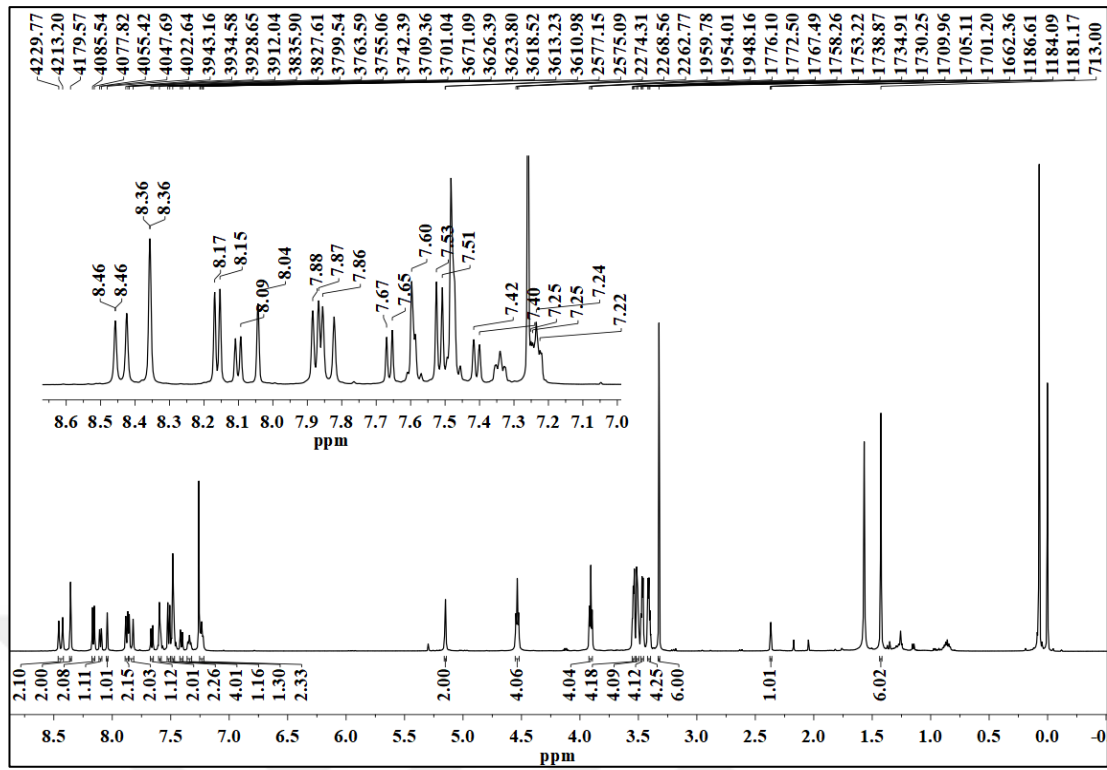
Şekil 5.33: Bileşik 9'un molekül yapısı.

MALDI-TOF MS: DHB, hesaplanan ($\text{C}_{68}\text{H}_{64}\text{BF}_2\text{I}_2\text{N}_5\text{O}_6$): 1349,90, bulunan: 1349,39 $[\text{M}]^+$, 1330,40 $[\text{M}-\text{F}]^+$ (Şekil 5.34).



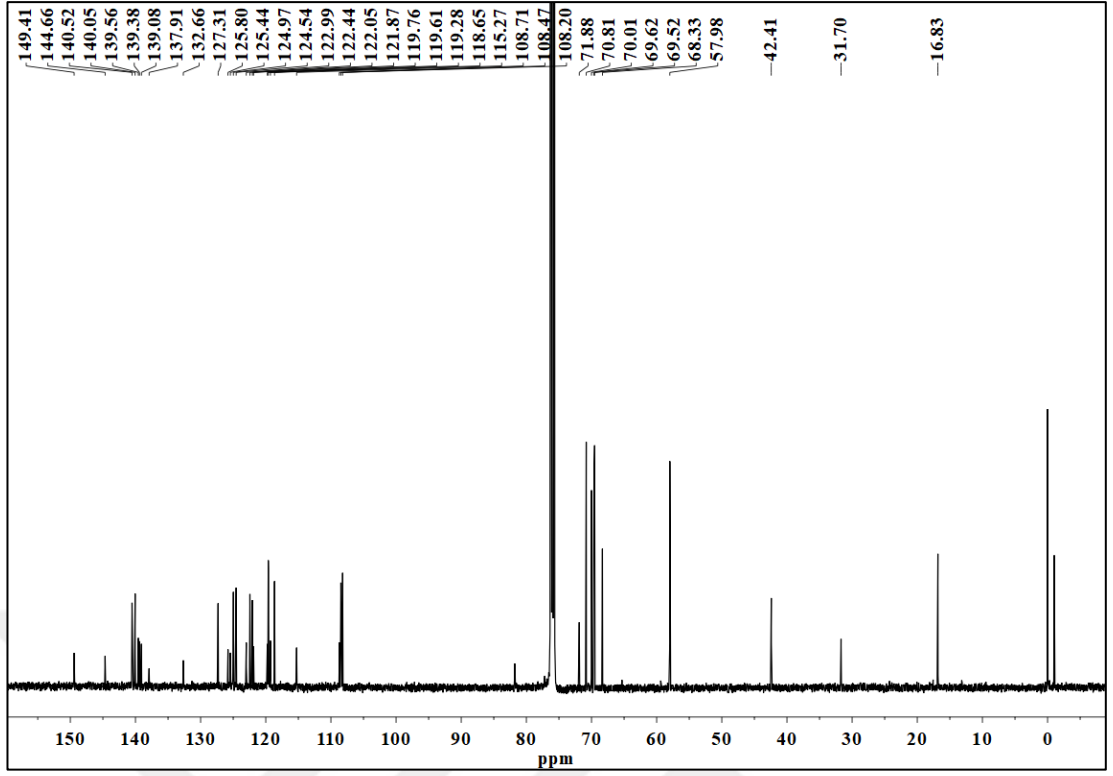
Şekil 5.34: Bileşik 9'un kütle spektrumu.

^1H NMR (500 MHz, CDCl_3 , 298 K): δ = 8,44 (d, J = 16,57 Hz, 2H, *trans*-CH), 8,36 (s, 2H, Ar-CH), 8,16 (d, J = 7,72 Hz, 2H, Ar-CH), 8,10 (d, J = 7,73 Hz, 1H, Ar-CH), 8,04 (s, 1H, Ar-CH), 7,88 (d, J = 8,58 Hz, 2H, Ar-CH), 7,84 (d, J = 16,61 Hz, 2H, *trans*-CH), 7,66 (d, J = 8,29 Hz, 1H, Ar-CH), 7,60 (s, 2H, Ar-CH), 7,52 (d, J = 8,53 Hz, 2H, Ar-CH), 7,48 (s, 4H, Ar-CH), 7,41 (d, J = 8,32 Hz, 1H, Ar-CH), 7,35-7,32 (m, 1H, Ar-CH), 7,25-7,22 (m, 2H, Ar-CH), 5,15 (d, J = 2,06 Hz, 2H, $-\text{CH}_2$), 4,54 (t, J = 5,77 Hz, 4H, $-\text{OCH}_2$), 3,91 (t, J = 5,81 Hz, 4H, $-\text{NCH}_2$), 3,55-3,53 (m, 4H, $-\text{OCH}_2$), 3,52-3,50 (m, 4H, $-\text{OCH}_2$), 3,48-3,46 (m, 4H, $-\text{OCH}_2$), 3,42-3,40 (m, 4H, $-\text{OCH}_2$), 3,32 (s, 6H, $-\text{OCH}_3$), 2,37 (t, J = 2,72 Hz, 1H, $\equiv\text{CH}$), 1,43 (s, 6H, $-\text{CH}_3$) (Şekil 5.35).



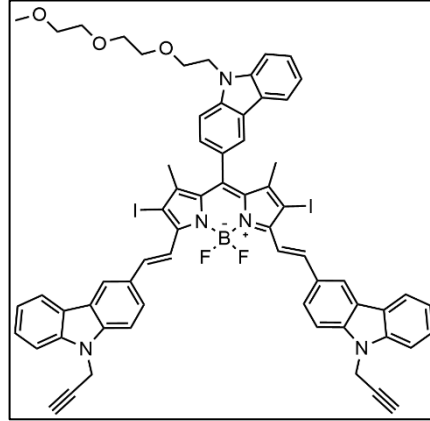
Şekil 5.35: Bileşik 9'un ^1H -NMR spektrumu.

^{13}C NMR (126 MHz, CDCl_3 , 298 K): δ = 149,41, 144,66, 140,52, 140,05, 139,56, 139,38, 139,08, 137,91, 132,66, 127,31, 125,80, 125,44, 124,97, 124,54, 122,99, 122,44, 122,05, 121,87, 119,76, 119,61, 119,28, 118,65, 115,27, 108,71, 108,47, 108,20, 71,88, 70,81, 70,01, 69,62, 69,52, 68,33, 57,98, 42,41, 31,70, 16,83 (Şekil 5.36).



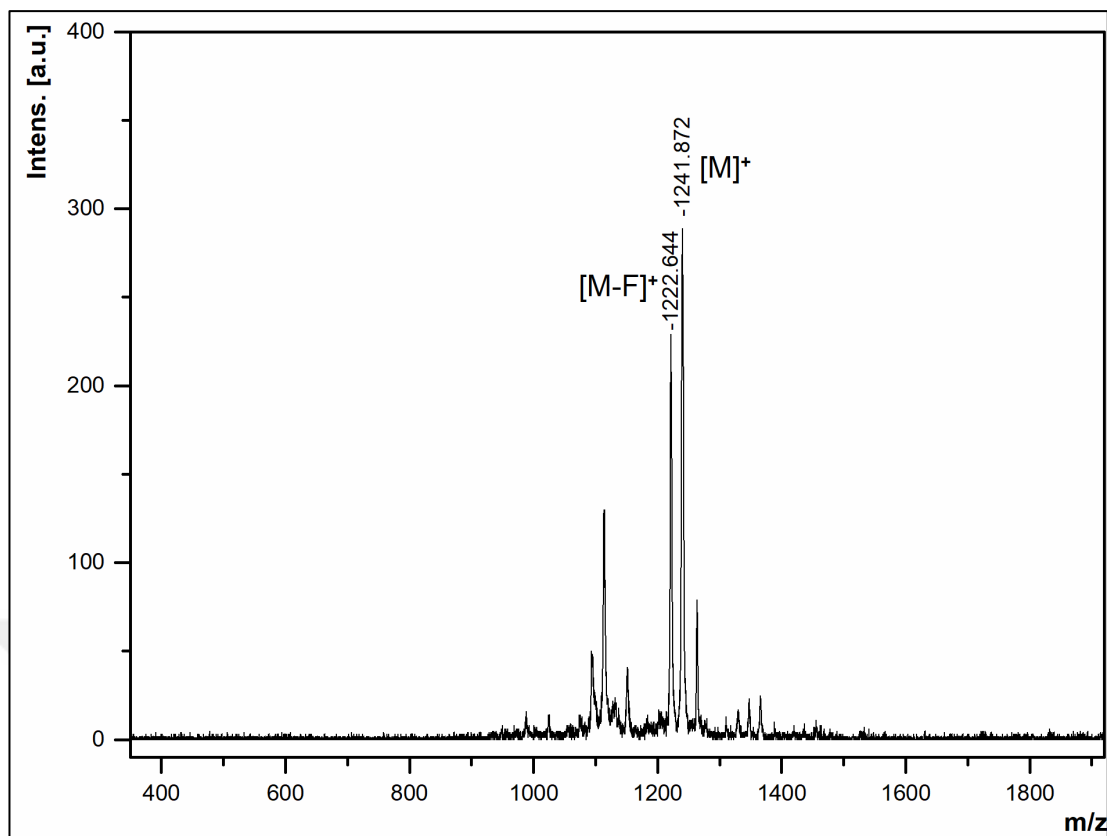
Şekil 5.36: Bileşik 9'un ^{13}C -NMR spektrumu.

5.1.1.10. Bileşik 10'un Yapı Analizi



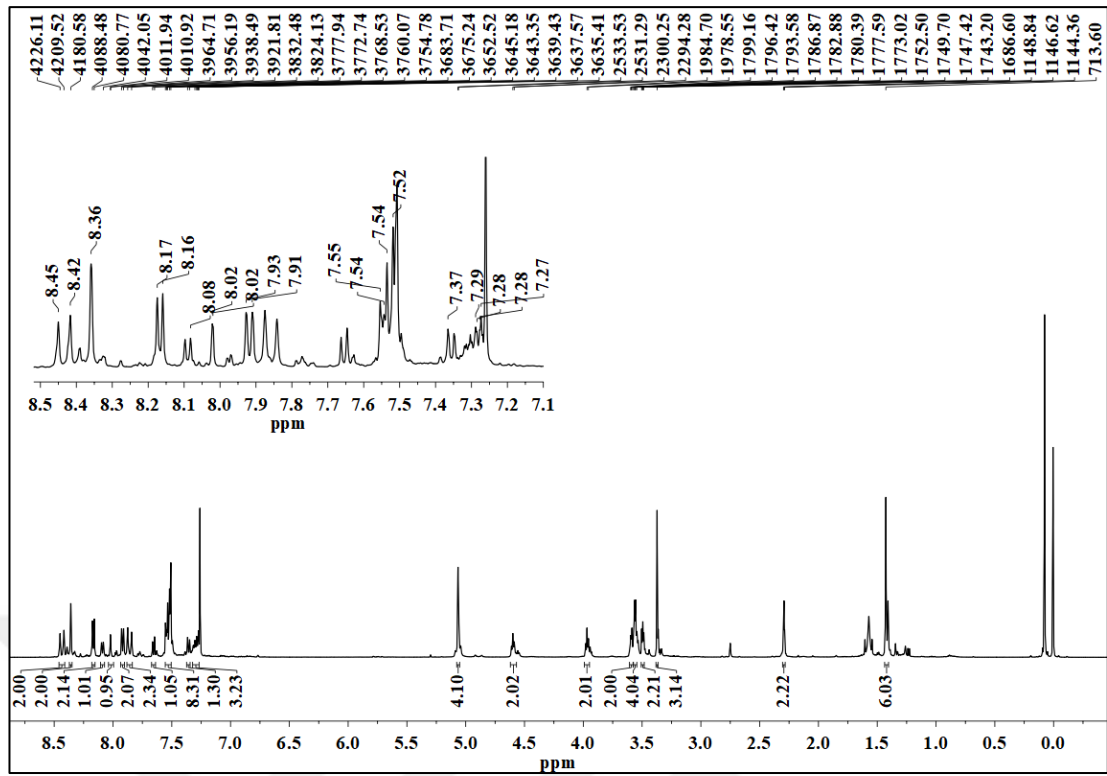
Şekil 5.37: Bileşik 10'un molekül yapısı.

MALDI-TOF MS: DHB, hesaplanan ($\text{C}_{64}\text{H}_{52}\text{BF}_2\text{I}_2\text{N}_5\text{O}_3$): 1241,77, bulunan: 1241,87 $[\text{M}]^+$, 1222,64 $[\text{M}-\text{F}]^+$ (Şekil 5.38).



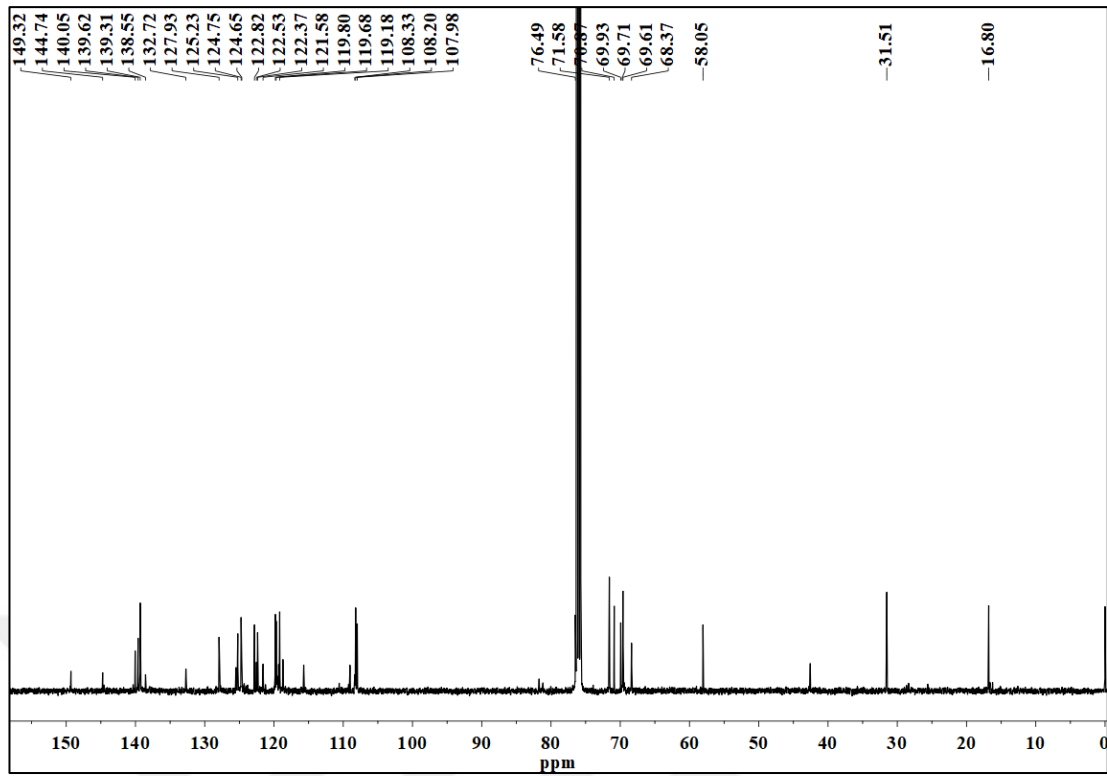
Şekil 5.38: Bileşik 10'un kütle spektrumu.

^1H NMR (500 MHz, CDCl_3 , 298 K): δ = 8,43 (d, J = 16,59 Hz, 2H, *trans*-CH), 8,36 (s, 2H, Ar-CH), 8,16 (d, J = 7,71 Hz, 2H, Ar-CH), 8,09 (d, J = 7,73 Hz, 1H, Ar-CH), 8,02 (s, 1H, Ar-CH), 7,92 (d, J = 8,52 Hz, 2H, Ar-CH), 7,86 (d, J = 16,68 Hz, 2H, *trans*-CH), 7,65 (d, J = 8,35 Hz, 1H, Ar-CH), 7,55-7,51 (m, 8H, Ar-CH), 7,36 (d, J = 8,47 Hz, 1H, Ar-CH), 7,32-7,28 (m, 3H, Ar-CH), 5,06 (d, J = 2,2 Hz, 4H, -CH₂), 4,60 (t, J = 5,90 Hz, 2H, -OCH₂), 3,97 (t, J = 5,97 Hz, 2H, -NCH₂), 3,60-3,58 (m, 2H, -OCH₂), 3,57-3,53 (m, 4H, -OCH₂), 3,50-3,48 (m, 2H, -OCH₂), 3,37 (s, 3H, -OCH₃), 2,29 (t, J = 2,24 Hz, 2H, $\equiv\text{CH}$), 1,43 (s, 6H, -CH₃) (Şekil 5.39).



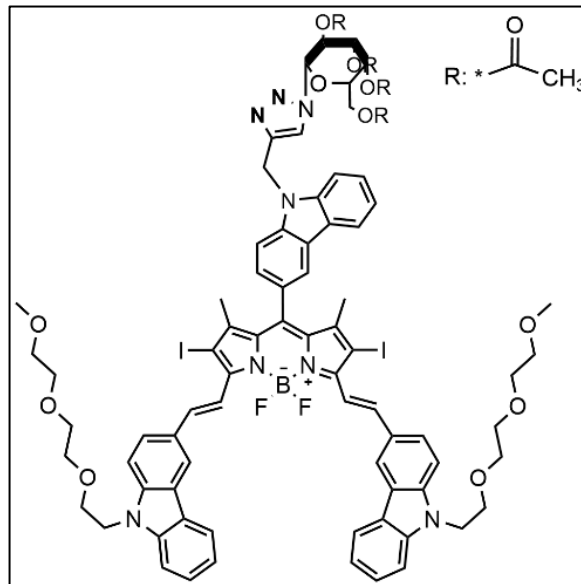
Şekil 5.39: Bileşik 10'un ^1H -NMR spektrumu.

^{13}C NMR (126 MHz, CDCl_3 , 298 K): δ = 149,32, 144,74, 140,05, 139,62, 139,31, 138,55, 132,72, 127,93, 125,23, 124,75, 124,65, 122,82, 122,53, 122,37, 121,58, 119,80, 119,68, 119,18, 108,33, 108,20, 107,98, 76,49, 71,58, 70,87, 69,93, 69,71, 69,61, 68,37, 58,05, 31,51, 16,80 (Şekil 5.40).



Şekil 5.40: Bileşik 10'un ^{13}C -NMR spektrumu.

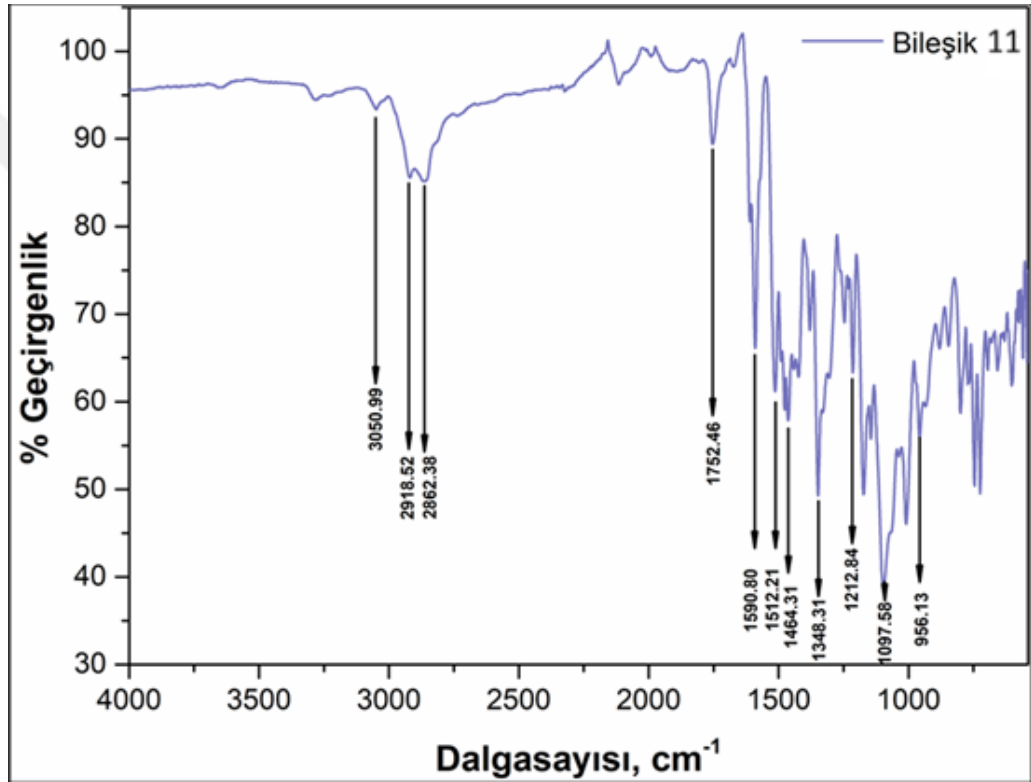
5.1.1.11. Bileşik 11'in Yapı Analizi



Şekil 5.41: Bileşik 11'in yapısı.

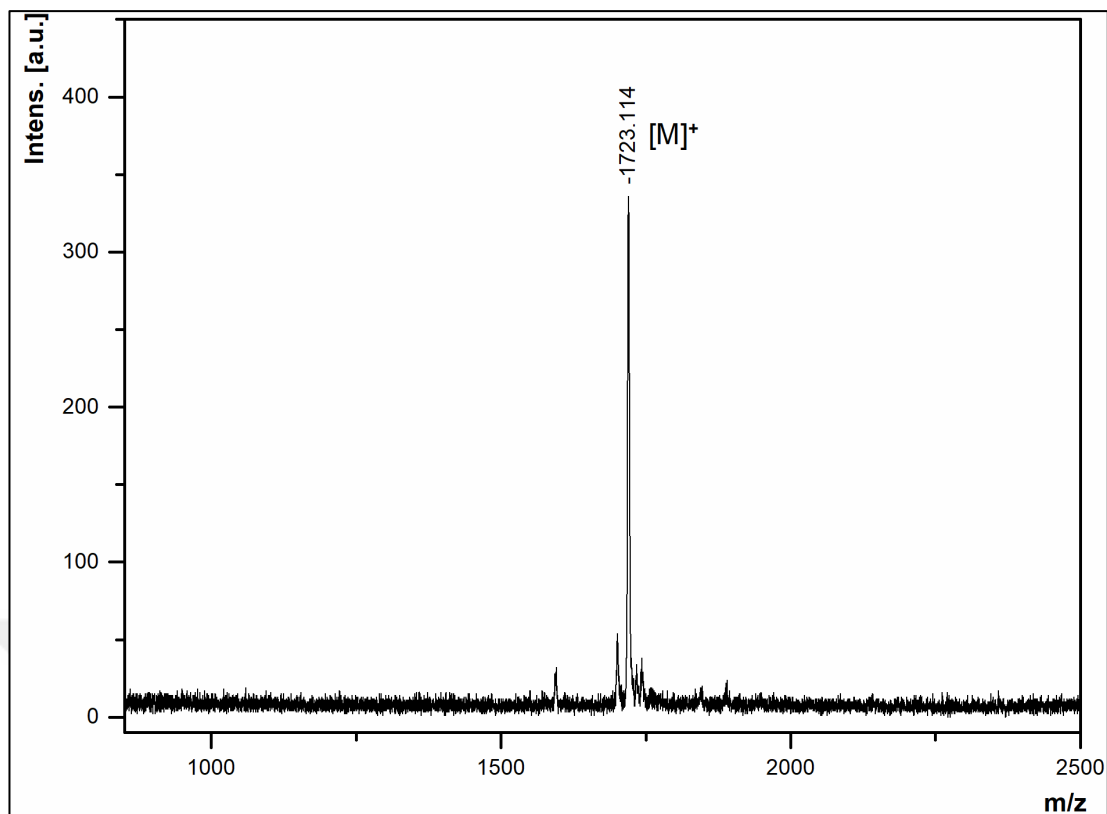
Bileşik 11'e ait FT-IR spektrumu Şekil 5.42'de verilmiştir. 11'nolu bileşiğe ait spektrum incelendiğinde; 3050,99, 2918,52 ve 2862,38 cm^{-1} 'de molekül üzerinde

bulunan C-H bağlarına ait gerilme titreşimleri görülmektedir. 1752,46 cm^{-1} 'de bileşik **11** üzerinde bulunan C=O gerilme titreşimleri; 1590,80 cm^{-1} ve 1512,21 cm^{-1} 'de ise C=C gerilme titreşimlerine ait pikler gözlenmektedir. 1464,31 cm^{-1} 'de bileşik üzerindeki B-N gruplarına ait gerilme titreşimleri, 1348,31 cm^{-1} 'de ise C-H eğilme titreşimlerine ait pik bulunmaktadır. Bileşik **11** üzerinde bulunan C-N gerilme titreşimleri 1212,84 cm^{-1} 'de, C-O gerilme titreşimleri 1097,58 cm^{-1} 'de ve *trans*-CH=CH düzlem dışı eğilmesi 956,13 cm^{-1} 'de görülmüştür. Bileşik **11**'in FT-IR spektrumu önerilen yapıyı desteklemektedir (Şekil 5.42).



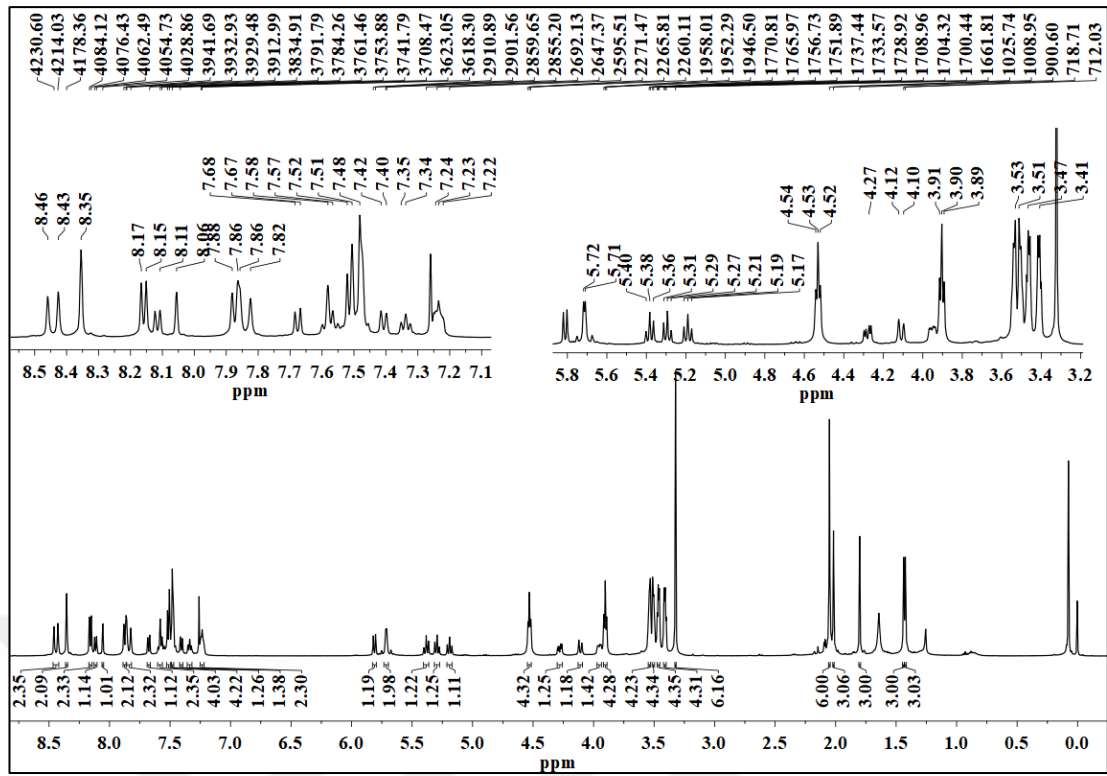
Şekil 5.42: Bileşik 11'in FT-IR spektrumu

MALDI-TOF MS: CHCA, hesaplanan ($\text{C}_{82}\text{H}_{83}\text{BF}_2\text{I}_2\text{N}_8\text{O}_{15}$): 1723,22, bulunan: 1723,114 $[\text{M}]^+$ (Şekil 5.43).



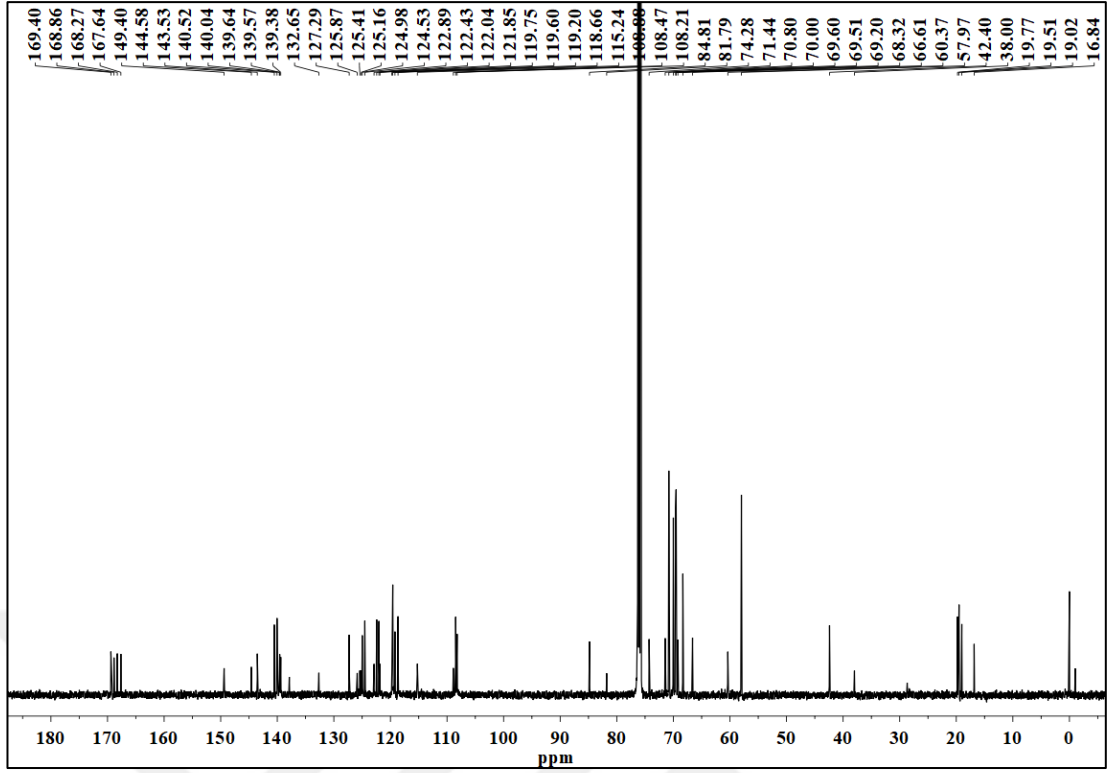
Şekil 5.43: Bileşik 11'in kütle spektrumu.

¹H NMR (500 MHz, CDCl₃, 298 K): δ= 8,44 (d, *J* = 16,57 Hz, 2H, *trans*-CH), 8,35 (s, 2H, =CH-N), 8,16 (d, *J* = 7,69 Hz, 2H, Ar-CH), 8,12 (d, *J* = 7,76 Hz, 1H, Ar-CH), 8,06 (s, 1H, Ar-CH), 7,87 (d, *J* = 8,76 Hz, 2H, Ar-CH), 7,84 (d, *J* = 16,49 Hz, 2H, *trans*-CH), 7,68 (d, *J* = 8,29 Hz, 1H), 7,58 (t, *J* = 8,06 Hz, 2H, Ar-CH), 7,51 (d, *J* = 7,58 Hz, 4H, Ar-CH), 7,48 (s, 4H, Ar-CH), 7,41 (d, *J* = 8,27 Hz, 1H, Ar-CH), 7,34 (t, *J* = 7,04 Hz, 1H, Ar-CH), 7,25-7,22 (m, 2H, Ar-CH), 5,81 (d, *J* = 9,33 Hz, 1H, Gly N-CH), 5,71 (d, *J* = 4,45 Hz, 2H, N-CH₂), 5,38 (t, *J* = 9,16 Hz, 1H, Gly-CH), 5,29 (t, *J* = 9,43 Hz, 1H, Gly-CH), 5,19 (t, *J* = 9,72 Hz, 1H, Gly-CH), 4,53 (t, *J* = 5,68 Hz, 4H, -OCH₂), 4,28 (dd, *J*₁ = 12,6 Hz, *J*₂ = 4,9 Hz, 1H, Gly-diastereotopik-CH₂), 4,11 (d, *J* = 12,29 Hz, 1H, Gly-diastereotopik-CH₂), 3,97-3,94 (m, 1H, Gly-CH), 3,90 (t, *J* = 5,76 Hz, 4H, -NCH₂), 3,55-3,53 (m, 4H, -OCH₂), 3,51-3,49 (m, 4H, -OCH₂), 3,47-3,46 (m, 4H, -OCH₂), 3,42-3,40 (m, 4H, -OCH₂), 3,32 (s, 6H, -OCH₃), 2,05 (s, 6H, Gly-CH₃), 2,02 (s, 3H, Gly-CH₃), 1,80 (s, 3H, Gly-CH₃), 1,44 (s, 3H, -CH₃), 1,42 (s, 3H, -CH₃) (Şekil 5.44).



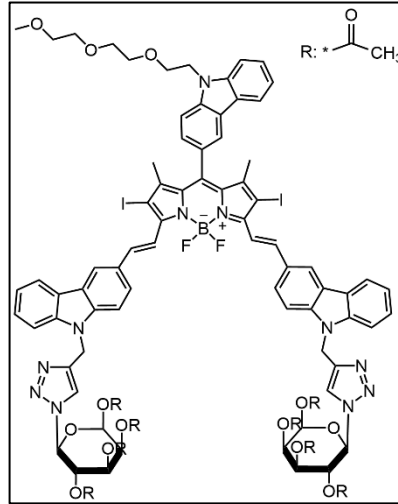
Şekil 5.44: Bileşik 11'in ^1H -NMR spektrumu.

^{13}C NMR (126 MHz, CDCl_3 , 298 K): δ = 169,40, 168,86, 168,27, 167,64, 149,40, 144,58, 143,53, 140,52, 140,04, 139,64, 139,57, 139,38, 137,87, 132,65, 127,29, 125,87, 125,41, 125,16, 124,98, 124,53, 122,89, 122,43, 122,04, 121,85, 119,75, 119,60, 119,20, 118,66, 115,24, 108,88, 108,47, 108,21, 84,81, 81,79, 74,28, 71,44, 70,80, 70,00, 69,60, 69,51, 69,20, 68,32, 66,61, 60,37, 57,97, 42,40, 38,00, 19,77, 19,51, 19,02, 16,84 (Şekil 5.45).



Şekil 5.45: Bileşik 11'in ^{13}C -NMR spektrumu.

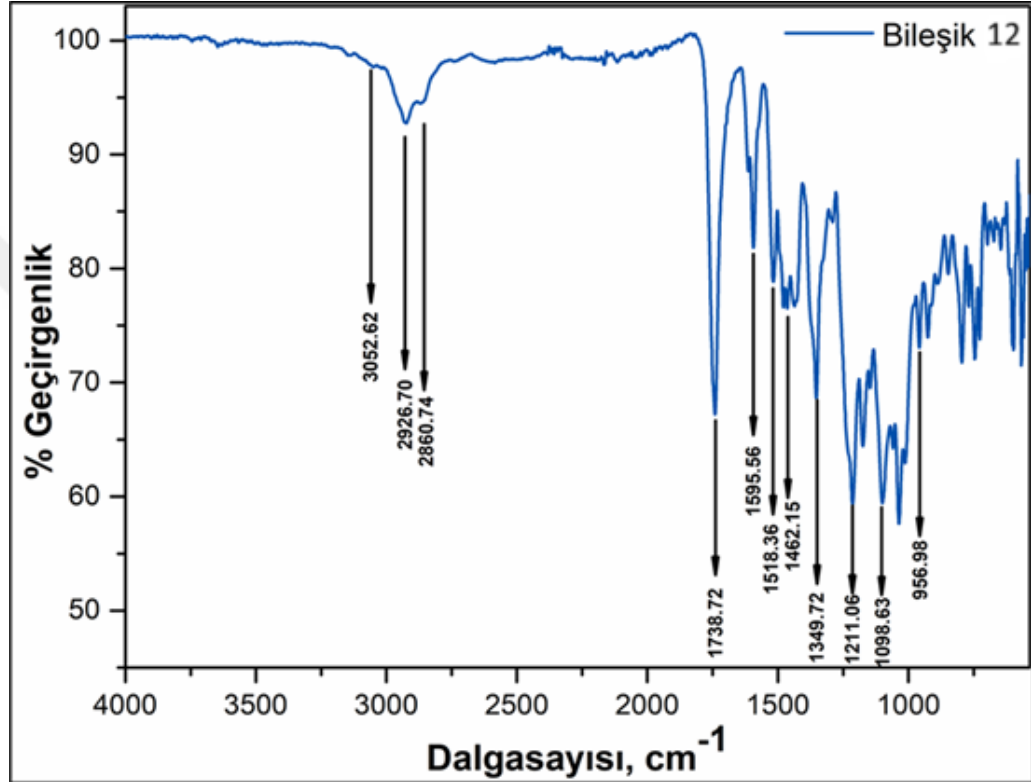
5.1.1.12. Bileşik 12'nin Yapı Analizi



Şekil 5.46: Bileşik 12'nin molekül yapısı.

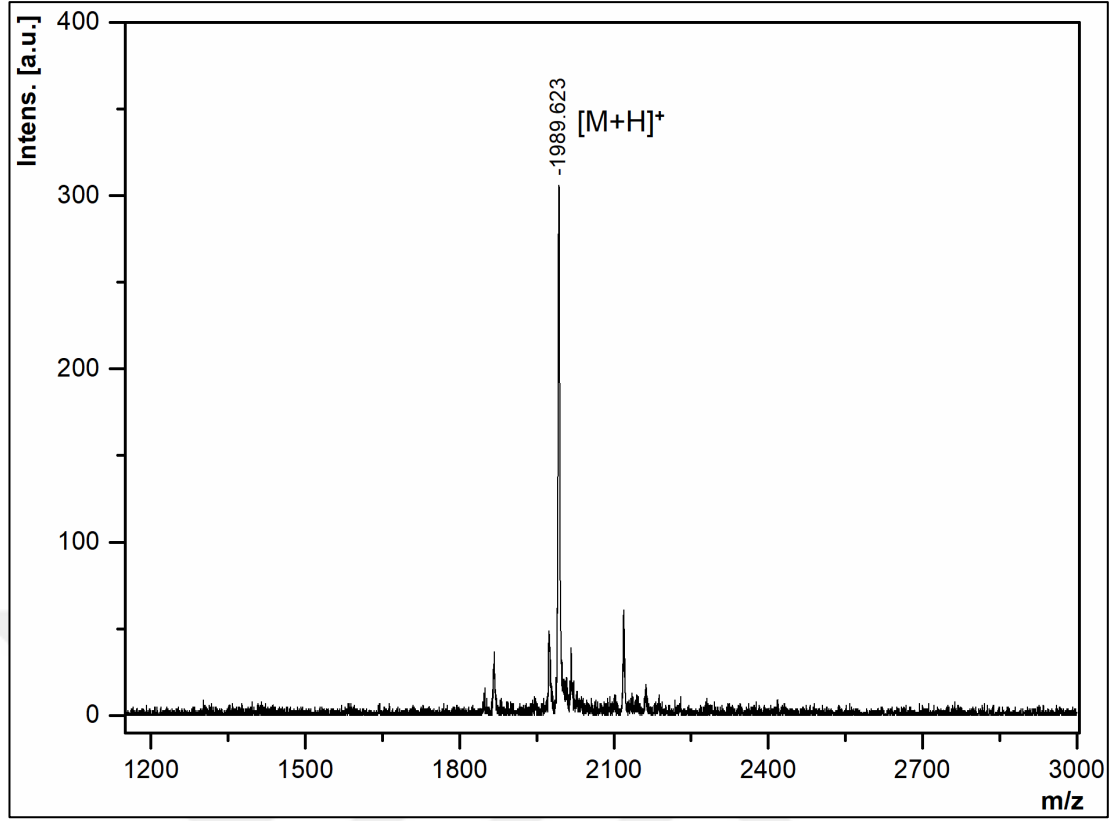
Bileşik **12**'ye ait FT-IR spektrumu Şekil 5.48'de verilmiştir. **12**'nolu bileşiğe ait spektrum incelendiğinde; 3052,62, 2926,70 ve 2860,74 cm^{-1} 'de molekül üzerinde bulunan C-H bağlarına ait gerilme titreşimleri görülmektedir. 1738,72 cm^{-1} 'de bileşik **12** üzerinde bulunan C=O gerilme titreşimleri; 1595,56 cm^{-1} ve 1518,36 cm^{-1} 'de ise

C=C gerilme titreşimlerine ait pikler gözlenmektedir. 1462,15 cm^{-1} 'de bileşik üzerindeki B-N gruplarına ait gerilme titreşimleri, 1349,72 cm^{-1} 'de ise C-H eğilme titreşimlerine ait pik bulunmaktadır. Bileşik **12** üzerinde bulunan C-N gerilme titreşimleri 1211,06 cm^{-1} 'de, C-O gerilme titreşimleri 1098,63 cm^{-1} 'de ve *trans*-CH=CH düzlem dışı eğilmesi 956,98 cm^{-1} 'de görülmüştür. Bileşik **12**'nin FT-IR spektrumu önerilen yapıyı desteklemektedir (Şekil 5.47).



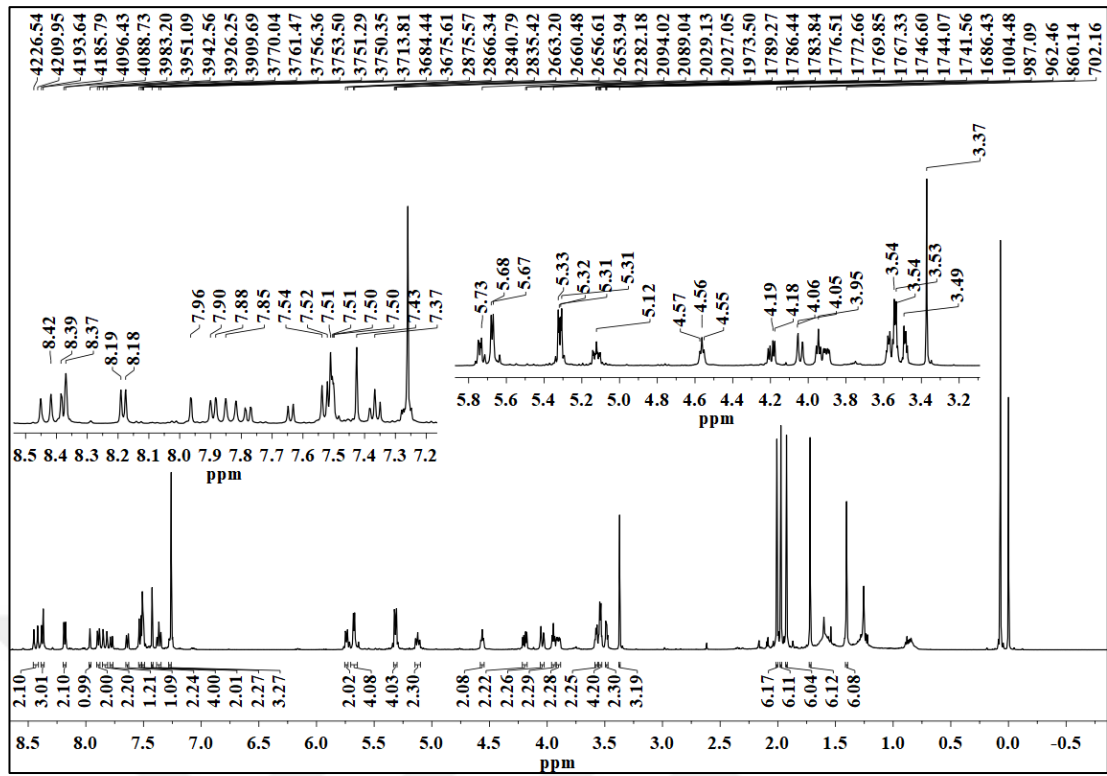
Şekil 5.47: Bileşik 12'nin FT-IR spektrumu

MALDI-TOF MS: CHCA, hesaplanan ($\text{C}_{92}\text{H}_{90}\text{BF}_2\text{I}_2\text{N}_{11}\text{O}_{21}$): 1988,40, bulunan: 1989,62 $[\text{M}+\text{H}]^+$ (Şekil 5.48).



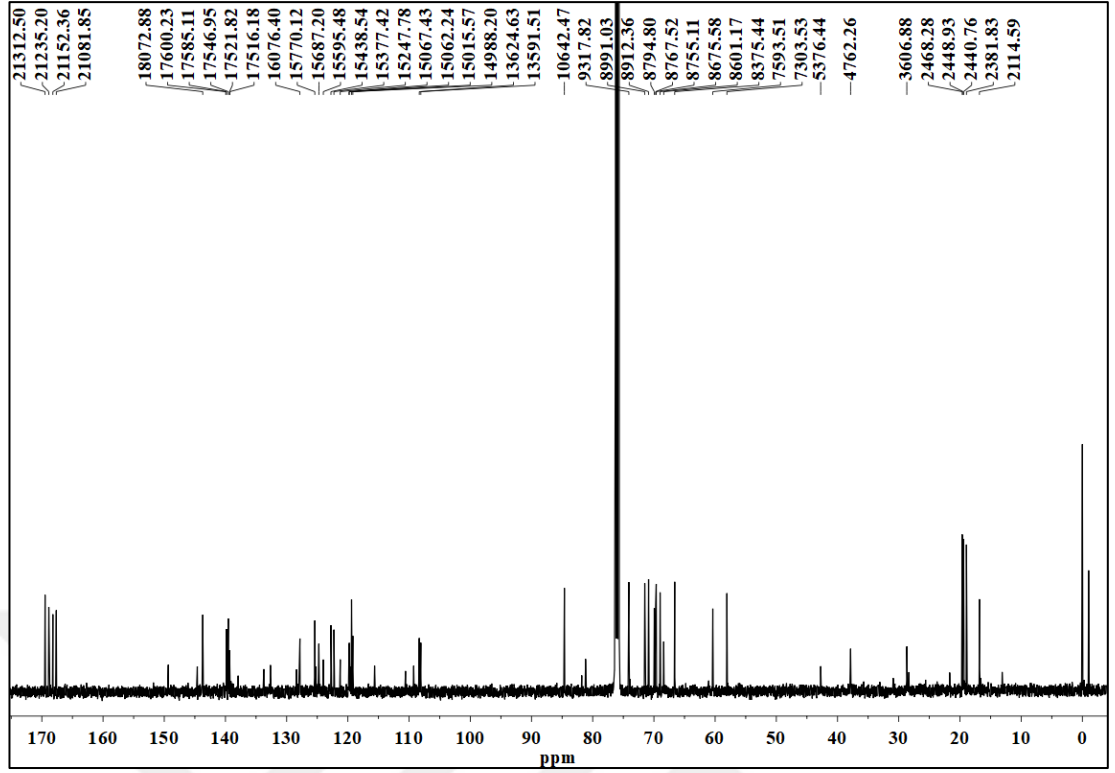
Şekil 5.48: Bileşik 12'nin kütle spektrumu.

¹H NMR (500 MHz, CDCl₃, 298 K): δ = 8,43 (d, J = 16,60 Hz, 2H, *trans*-CH), 8,39-8,37 (m, 3H, Ar-CH + =CH-N), 8,18 (d, J = 7,70 Hz, 2H, Ar-CH), 7,96 (s, 1H, Ar-CH), 7,89 (d, J = 8,53 Hz, 2H, Ar-CH), 7,83 (d, J = 16,56 Hz, 2H, *trans*-CH), 7,78 (dd, J_1 = 8,70 Hz, J_2 = 1,68 Hz, 1H, Ar-CH), 7,64 (d, J = 8,37 Hz, 1H, Ar-CH), 7,53 (d, J = 8,57 Hz, 2H, Ar-CH), 7,51-7,50 (m, 4H, Ar-CH), 7,43 (s, 2H, Ar-CH), 7,37 (t, J = 8,70 Hz, 2H, Ar-CH), 7,28-7,25 (m, 3H, Ar-CH), 5,74 (d, J = 9,23 Hz, 2H, Gly N-CH), 5,67 (d, J = 5,4 Hz, 4H, -CH₂), 5,32-5,30 (m, 4H, Gly-CH), 5,14-5,10 (m, 2H, Gly-CH), 4,56 (t, J = 5,65 Hz, 2H, -OCH₂), 4,19 (dd, J_1 = 12,54 Hz, J_2 = 5,00 Hz, 2H, Gly-diastereotopik-CH₂), 4,04 (dd, J = 12,52, J_2 = 2,06 Hz, 2H, Gly-diastereotopik-CH₂), 3,95 (t, J = 5,60 Hz, 2H, -NCH₂), 3,90 (ddd, J_1 = 10,2 Hz, J_2 = 5,0 Hz, J_3 = 2,1 Hz, 2H, Gly-CH), 3,58-3,57 (m, 2H, -OCH₂), 3,55-3,52 (m, 4H, -OCH₂), 3,49-3,47 (m, 2H, -OCH₂), 3,37 (s, 3H, -OCH₃), 2,01 (s, 6H, Gly-CH₃), 1,97 (s, 6H, Gly-CH₃), 1,92 (s, 6H, Gly-CH₃), 1,72 (s, 6H, Gly-CH₃), 1,40 (s, 6H, -CH₃) (Şekil 5.49).



Şekil 5.49: Bileşik 12'nin ^1H -NMR spektrumu.

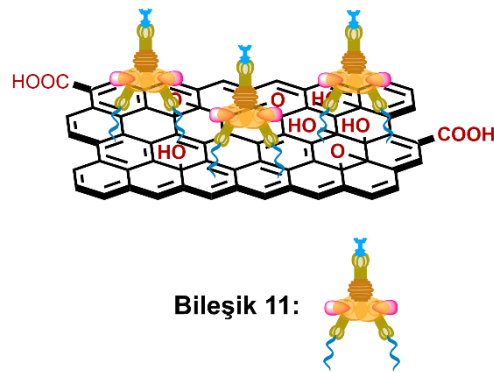
^{13}C NMR (126 MHz, CDCl_3 , 298 K): δ = 169,47, 168,86, 168,20, 167,64, 143,71, 139,95, 139,83, 139,53, 139,33, 139,28, 127,84, 125,40, 124,74, 124,01, 122,76, 122,28, 121,25, 119,81, 119,77, 119,40, 119,18, 108,34, 108,08, 84,63, 74,09, 71,49, 70,87, 69,93, 69,72, 69,62, 68,99, 68,39, 66,60, 60,38, 58,08, 42,75, 37,87, 28,68, 19,63, 19,47, 19,41, 18,94, 16,81 (Şekil 5.50).



Şekil 5.50: Bileşik 12'nin ^{13}C -NMR spektrumu.

5.1.2. Karbazol-BODIPY-GO Nanokompozitlerinin (GO-11 ve GO-12) Yapı Analizleri

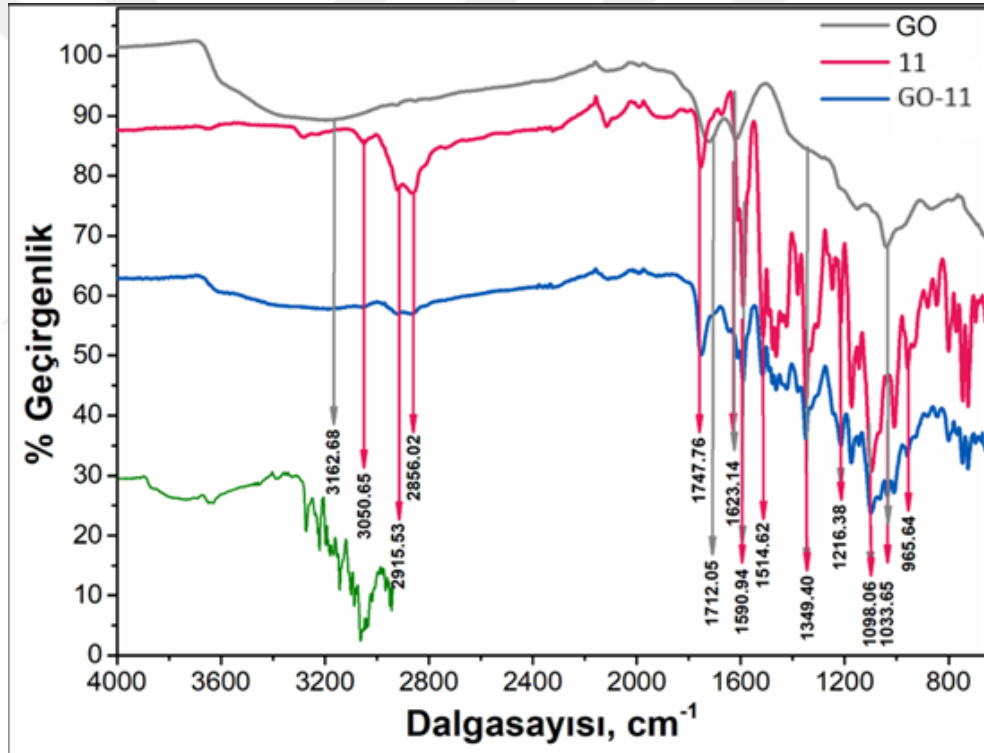
5.1.2.1 GO-11 Kompozitinin Yapı Analizi



Şekil 5.51: GO-11 kompozitinin şematik gösterimi

GO-11 nanokompozitine ait FT-IR spektrumu, bileşik 11 ve GO'ya ait FT-IR spektrumları ile karşılaştırmalı olarak Şekil 5.51'de verilmiştir. GO-11 nanokompozitine ait spektrum incelendiğinde; $3162,68\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenen yayvan pik

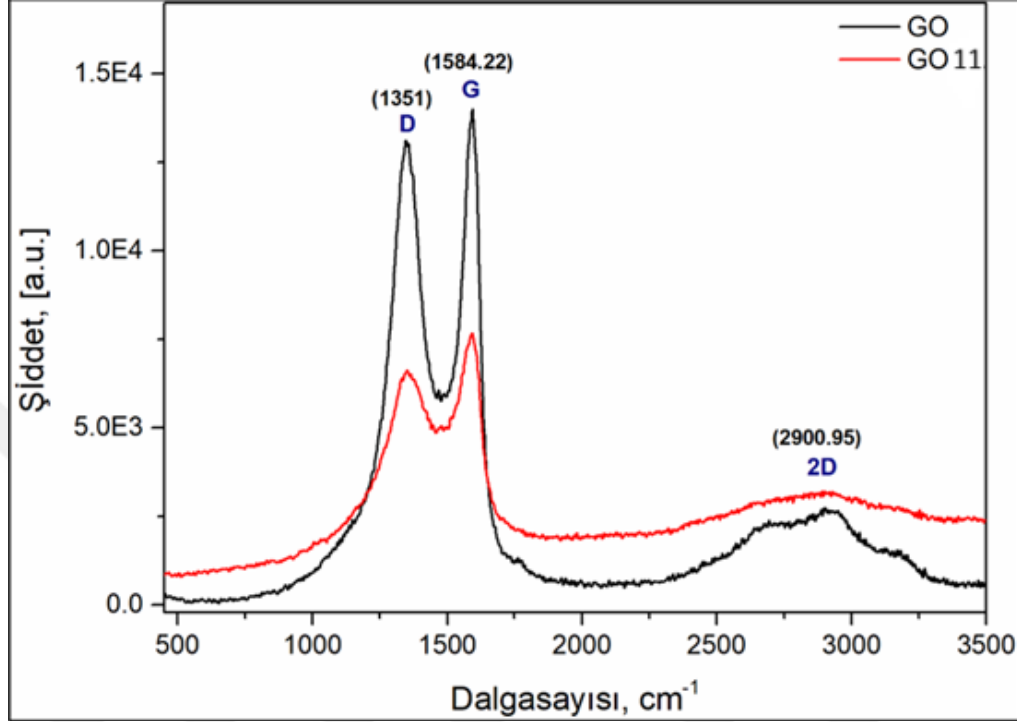
GO üzerinde bulunan –OH gerilim titreşimlerine aittir. 3050,65, 2915,53 ve 2856,02 cm^{-1} 'de bileşik **11** üzerinde bulunan C-H bağlarına ait gerilme titreşimleri görülmektedir. 1747,76 ve 1712,05 cm^{-1} 'de **GO** ve bileşik **11** üzerinde bulunan C=O gerilme titreşimlerine ait pik; 1623,14 cm^{-1} ve 1590,94 cm^{-1} 'de ise bileşik **11** ve **GO** üzerinde bulunan C=C gerilme titreşimlerine ait pikler gözlenmektedir. 1514,62 cm^{-1} 'de bileşik üzerindeki B-N gruplarına ait gerilme titreşimleri, 1349,40 cm^{-1} 'de ise C-H eğilme titreşimlerine ait pik bulunmaktadır. Bileşik **11** üzerinde bulunan C-N gerilme titreşimleri 1216,38 cm^{-1} 'de, bileşik **11** ve **GO** üzerinde bulunan C-O gerilme titreşimleri 1098,06-1033,65 cm^{-1} 'de aralığında ve *trans*-CH=CH düzlem dışı eğilmesi 965,64 cm^{-1} 'de görülmüştür. **GO-11** nanokompozitin FT-IR spektrumu önerilen yapıyı desteklemektedir (Şekil 5.52).



Şekil 5.52: Bileşik **11**, **GO** ve **GO-11** nanokompozitine ait karşılaştırmalı FT-IR spektrumları

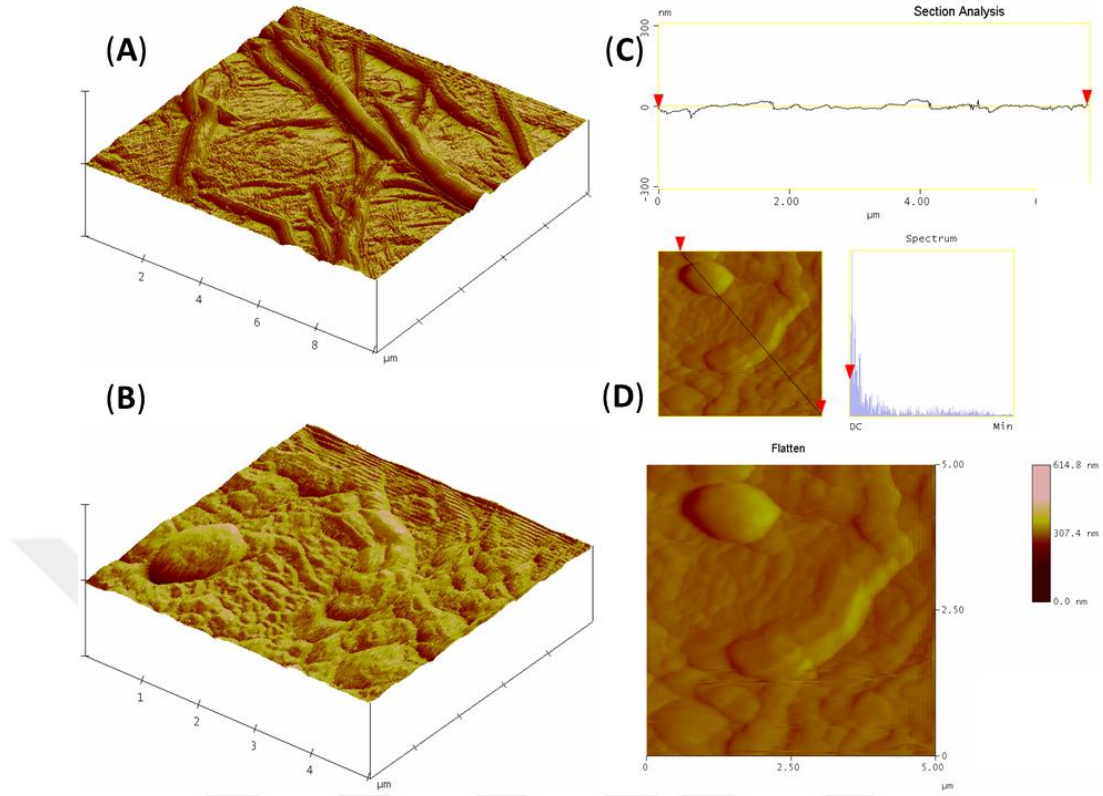
GO-11 nanokompozitin Raman Spektrumu (532 nm) incelendiğinde; 1351,00 1584,22 ve 2900,95 cm^{-1} de üç pik görülmektedir. 1351,00 cm^{-1} de görülen pik **GO**'in karakteristik D bandına aittir ve **GO** tabakalarında bulunan kısmi bozukluklar ve deforme olmuş yapılardan kaynaklanmaktadır. Düzenli yapılardan kaynaklanan, birincil düzlem içi titreşim moduna ait G bandı 1584,22 cm^{-1} 'de gözlenmektedir. 2900,95 cm^{-1} ' de gözlenen yayvan pik ise düzlem içi titreşimin ikincil dereceden

overtonu olan 2D (D, 1351,00) bandına aittir. **GO** ile karşılaştırıldığında **GO-11**'in I_D/I_G şiddetinde belirgin bir şekilde değişikliğin olmaması kovalent olmayan fonksiyonlandırma sonucunda **GO** yapısının korunduğu anlaşılmaktadır (**Şekil 5.53**).



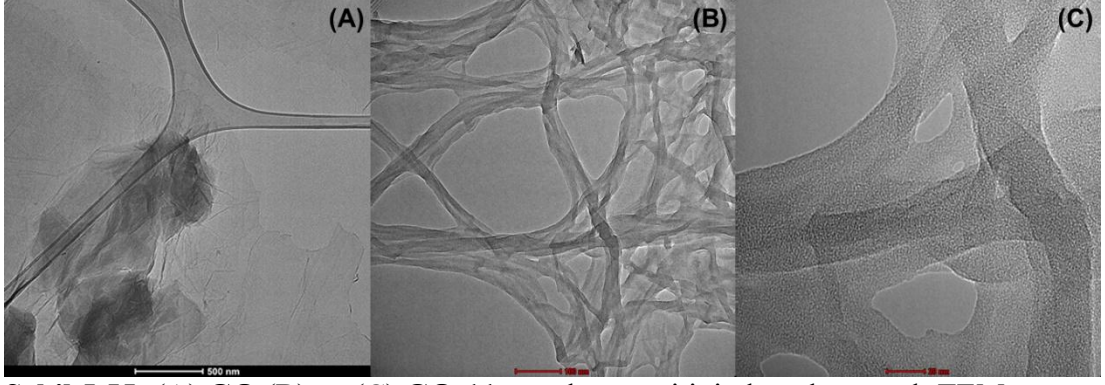
Şekil 5.53: **GO** ve **GO-11** nanokompozitinin karşılaştırmalı Raman spektrumları

GO-11 nanokompozitine ait AFM görüntüleri, **GO**' in AFM görüntüsüyle karşılaştırmalı olarak verilmiştir ve elde edilen nanokompozit filmlerin küçük bir alanının yüzey morfolojisi, ortam koşullarında görüntülenmiştir. **GO**'ya ait 2D AFM görüntüsü incelendiğinde tabakamsı, yığın halinde, pürüzsüz yüzeye sahip bir yapı görülmektedir ve karşılaştırma amacıyla verilmiştir [(**Şekil 5.54 (A)**]. **GO**'ya bileşik **11** ilavesi ile elde edilen **GO-11** nanokompozitinin 2D ve 3D analizini içeren AFM görüntüleri incelendiğinde, **GO** yüzeylerinin glükol süstitüe karbazol-BODIPY-glukoz bileşiği (**11**) ile fonksiyonlandırılması sonucunda, yüzeyde oluşan değişiklik açıkça görülmektedir. Fonksiyonlandırma sonrasında pürüzlü yüzeylere sahip olduğu ve topografik yapıda değişim olduğu gözlenmiştir [(**Şekil 5.54 (B), (D)**]. **GO-11** modifiye grafen oksit filmi, bileşik **11** eklenmesinden sonra pürüzlü bir yüzeye sahiptir. **Şekil 5.54C**'de **GO-11** nanokompozitine ait yüzey morfolojisine karşılık gelen yükseklik profili grafiğinde düzensiz kalınlıkta nano tabaka varlığı ortaya konulmaktadır.

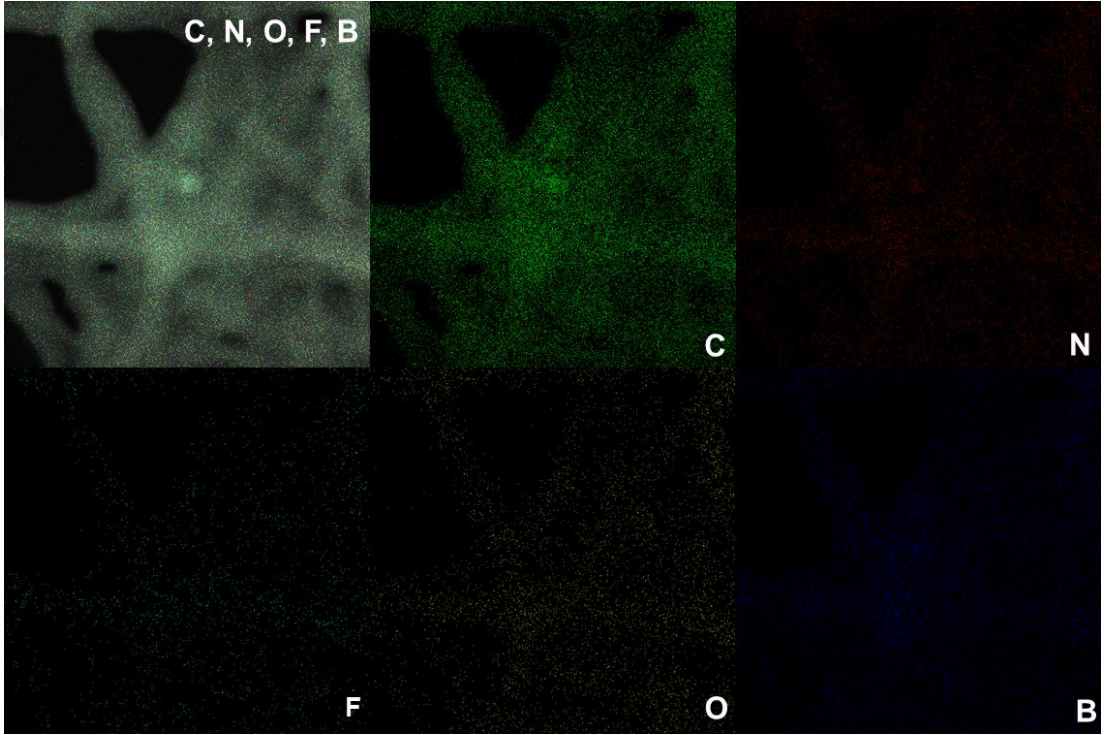


Şekil 5.54:GO (A) ve GO-11 nanokompozitinin (B) 3D, (C) kesit analizi ve (D) 2D AFM görüntüleri

GO-11 nanokompozitine ait TEM görüntüleri, **GO**'nun TEM görüntüsüyle karşılaştırmalı olarak verilmiştir. **GO**'ya ait 500 nm' den alınan TEM görüntüsü incelendiğinde tabakamsı, geçirgen bir morfolojiye ve yığın halinde az tabakalı bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca nanoyapının oldukça transparan bir yapıya sahip olmasından, bu örneğin yüksek miktarlarda oksijenlenmiş fonksiyonel gruplara sahip olduğu söylenebilir [(Şekil 5.55 (A)]. **GO-11**'e ait 100 nm' den ve 20 nm'den alınan TEM mikrografları incelendiğinde, GO yüzeylerinin karbazol-BODIPY-glukoz bileşiği (**11**) ile kaplanmış olduğu mikrogramdaki değişiklikten anlaşılmaktadır. Ayrıca bu görüntülerden, kovalent olmayan fonksiyonlandırma sonrasında **GO** tabakalarının kimyasal yapılarının bozulmadığı, **GO-11** nanokompozit yapısının ise başarıyla oluştuğunu desteklenmektedir [Şekil 5.55 (B ve C)]. Şekil 5.56'da **GO-11** nanokompozitine ait EDX verileri görülmektedir. EDX analizinde nanokompozitin yapısında bulunması beklenen C, O, N, B ve F elementleri belirlenmiştir.

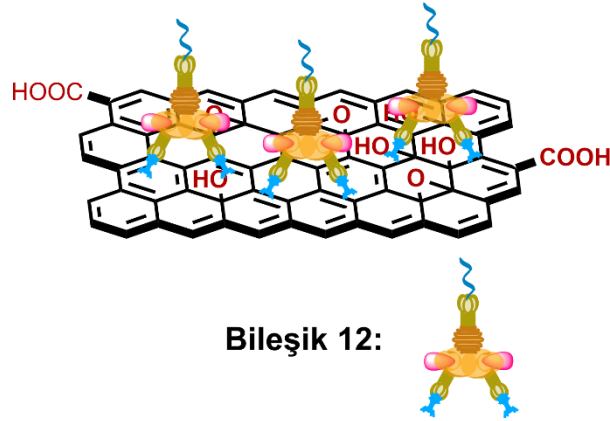


Şekil 5.55: (A) GO (B) ve (C) GO-11 nanokompozitinin karşılaştırmalı TEM görüntüleri.



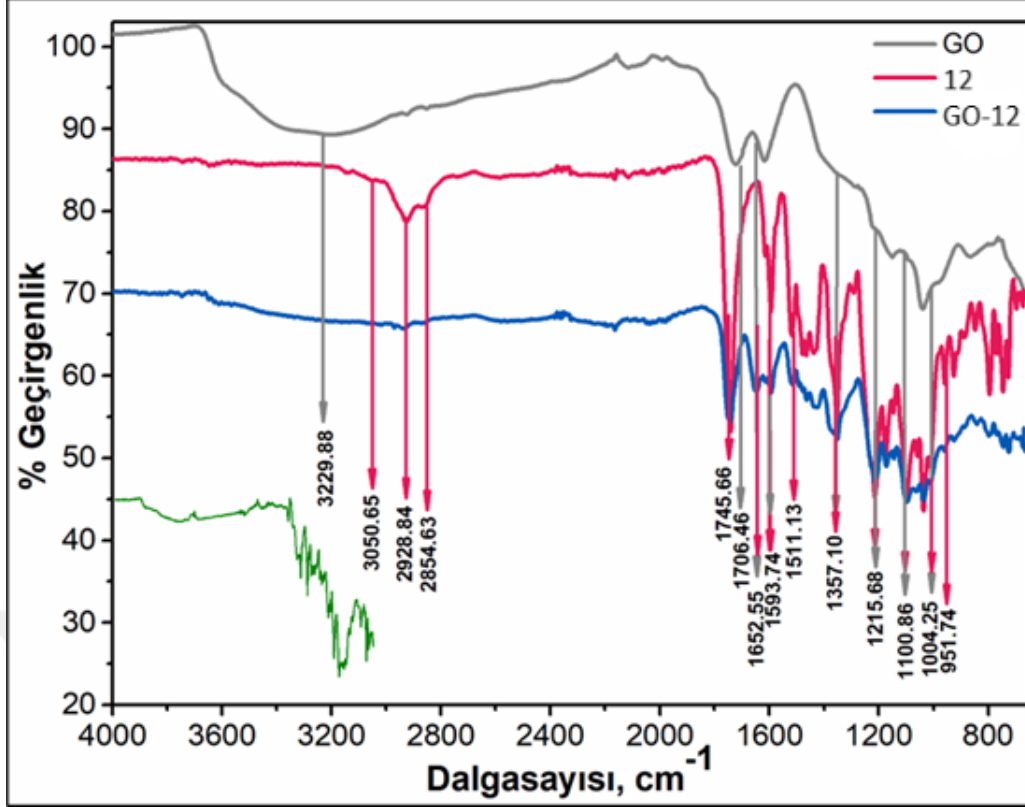
Şekil 5.56: GO-11 nanokompozitinin EDX analizleri

5.1.2.2 GO-12 Kompozitinin Yapı Analizi



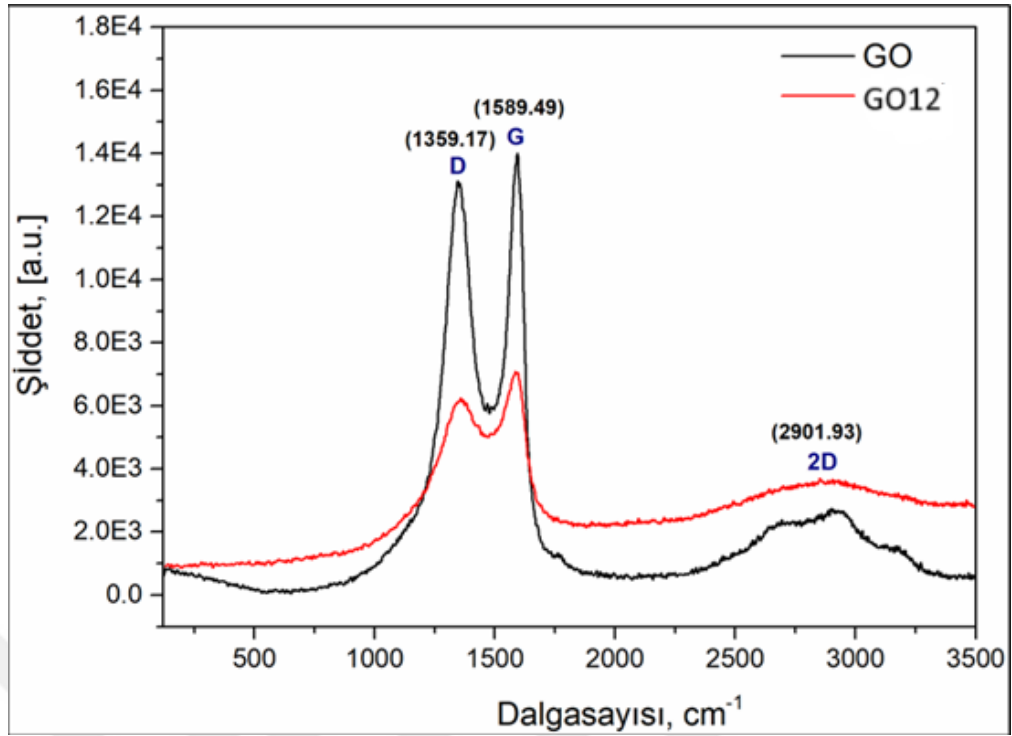
Şekil 5.57: GO-12 kompozitinin şematik gösterimi.

GO-12 nanokompozitine ait FT-IR spektrumu, bileşik **12** ve **GO**'ya ait FT-IR spektrumları ile karşılaştırmalı olarak Şekil 5.57'de verilmiştir. **GO-12** nanokompozitine ait spektrum incelendiğinde; $3229,88\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenen yayvan pik **GO** üzerinde bulunan -OH gerilme titreşimlerine aittir. $3050,65$, $2928,84$ ve $2854,63\text{ cm}^{-1}$ 'de bileşik **12** üzerinde bulunan C-H bağlarına ait gerilme titreşimleri görülmektedir. $1745,66$ ve $1706,46\text{ cm}^{-1}$ 'de **GO** ve bileşik **12** üzerinde bulunan C=O gerilme titreşimlerine ait pik; $1652,55\text{ cm}^{-1}$ ve $1593,74\text{ cm}^{-1}$ 'de ise bileşik **12** ve **GO** üzerinde bulunan C=C gerilme titreşimlerine ait pikler gözlenmektedir. $1511,13\text{ cm}^{-1}$ 'de bileşik üzerindeki B-N gruplarına ait gerilme titreşimleri, $1357,10\text{ cm}^{-1}$ 'de ise C-H eğilme titreşimlerine ait pik bulunmaktadır. Bileşik **12** üzerinde bulunan C-N gerilme titreşimleri $1215,68\text{ cm}^{-1}$ 'de, bileşik **12** ve **GO** üzerinde bulunan C-O gerilme titreşimleri $1100,86$ - $1004,25\text{ cm}^{-1}$ 'de aralığında ve *trans*- CH=CH düzlem dışı eğilmesi $951,74\text{ cm}^{-1}$ 'de görülmüştür. **GO-12** nanokompozitin FT-IR spektrumu önerilen yapıyı desteklemektedir (Şekil 5.58).



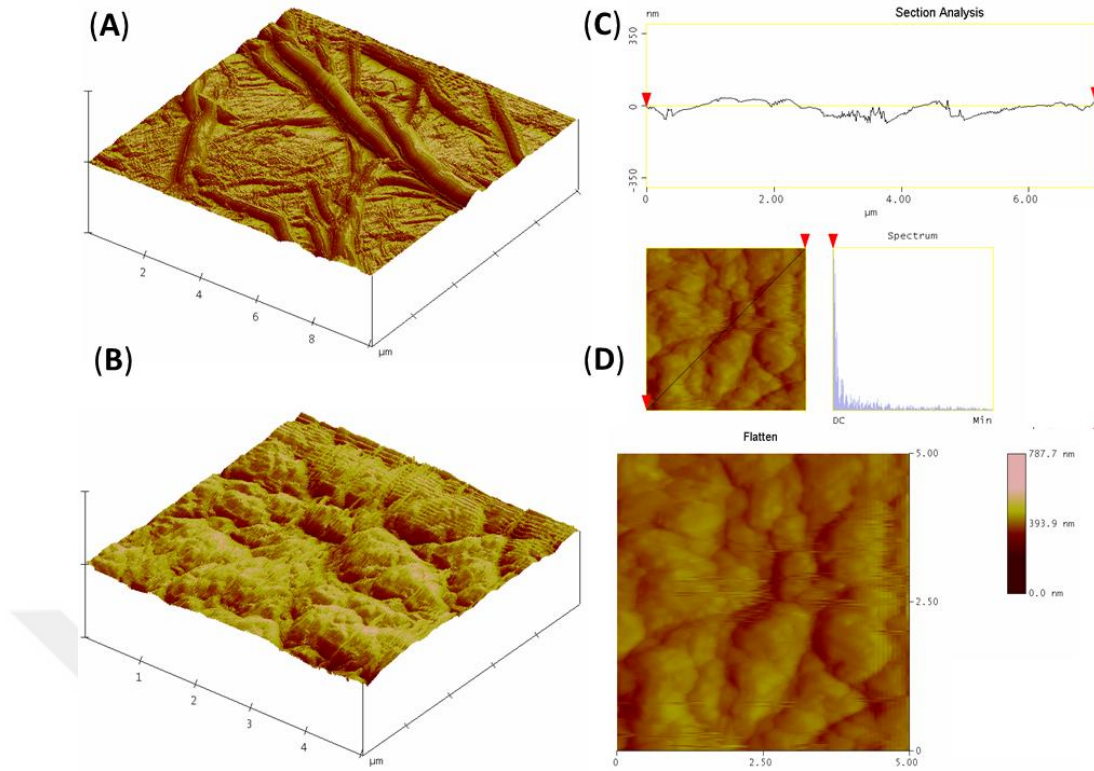
Şekil 5.58: Bileşik 12, GO ve GO-12 nanokompozitine ait karşılaştırmalı FT-IR spektrumları.

GO-12 nanokompozitinin Raman Spektrumu (532 nm) incelendiğinde; 1359,17 1589,49 ve 2901,93 cm^{-1} de üç pik görülmektedir. 1359,17 cm^{-1} de görülen pik **GO**'in karakteristik D bandına aittir ve **GO** tabakalarında bulunan kısmi bozukluklar ve deforme olmuş yapılardan kaynaklanmaktadır. Düzenli yapılardan kaynaklanan, birincil düzlem içi titreşim moduna ait G bandı 1589,49 cm^{-1} 'de gözlenmektedir. 2901,93 cm^{-1} ' de gözlenen yayvan pik ise düzlem içi titreşimin ikincil dereceden overtonu olan 2D (D, 1359,17) bandına aittir. **GO** ile karşılaştırıldığında **GO-12**'nin I_D/I_G şiddetinde belirgin bir şekilde değişikliğin olmaması kovalent olmayan fonksiyonlandırma sonucunda **GO** yapısının korunduğu anlaşılmaktadır (Şekil 5.59).



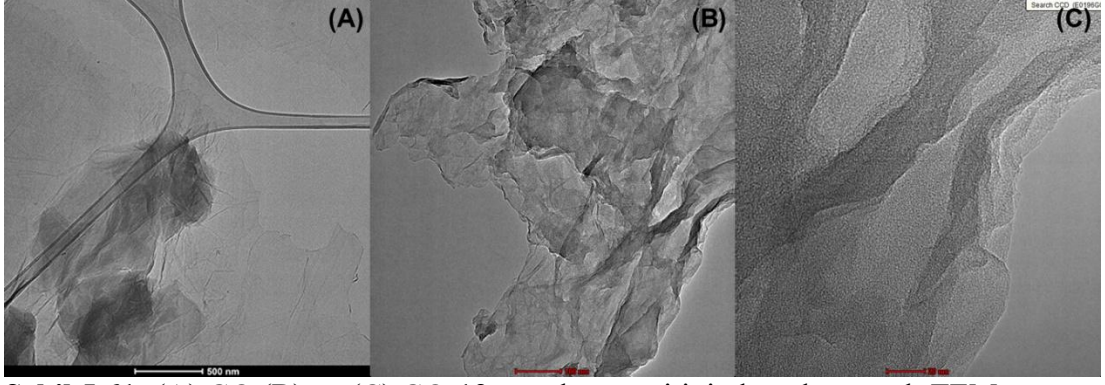
Şekil 5.59: GO ve GO-12 nanokompozitinin karşılaştırmalı Raman spektrumları

GO-12 nanokompozitine ait AFM görüntüleri, **GO**' in AFM görüntüsüyle karşılaştırmalı olarak verilmiştir ve elde edilen nanokompozit filmlerin küçük bir alanının yüzey morfolojisi, ortam koşullarında görüntülenmiştir. **GO**'ya ait 2D AFM görüntüsü incelendiğinde tabakamsı, yığın halinde, pürüzsüz yüzeye sahip bir yapı görülmektedir ve karşılaştırma amacıyla verilmiştir [(Şekil 5.60(A)]. **GO**'ya bileşik **12** ilavesi ile elde edilen **GO-12** nanokompozitinin 2D ve 3D analizini içeren AFM görüntüleri incelendiğinde, **GO** yüzeylerinin glükol sübstitüe karbazol-BODIPY-glukoz bileşiği (**12**) ile fonksiyonlandırılması sonucunda, yüzeyde oluşan değişiklik açıkça görülmektedir. Fonksiyonlandırma sonrasında pürüzlü yüzeylere sahip olduğu ve topografik yapıda değişim olduğu gözlenmiştir [(Şekil 5.60(B), (D)]. **GO-12** modifiye grafen oksit filmi, bileşik **12** eklenmesinden sonra pürüzlü bir yüzeye sahiptir. Şekil 4C'de **GO-12** nanokompozitine ait yüzey morfolojisine karşılık gelen yükseklik profili grafiğinde düzensiz kalınlıkta nano tabaka varlığı ortaya konulmaktadır

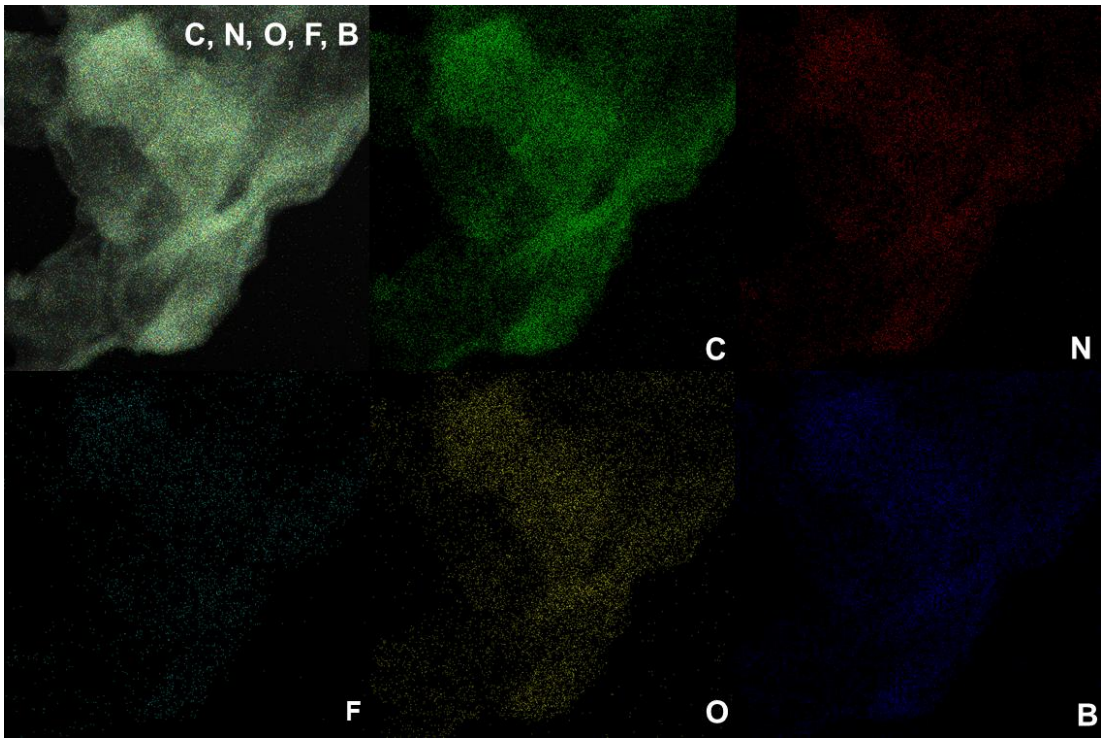


Şekil 5.60: GO (A) ve GO-12 nanokompozitinin (B) 3D, (C) kesit analizi ve (D) 2D AFM görüntüleri

GO-12 nanokompozitine ait TEM görüntüleri, **GO**'nun TEM görüntüsüyle karşılaştırmalı olarak verilmiştir. **GO**'ya ait 500 nm' den alınan TEM görüntüsü incelendiğinde tabakamsı, geçirgen bir morfolojiye ve yığın halinde az tabakalı bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca nanoyapının oldukça transparan bir yapıya sahip olmasından, bu örneğin yüksek miktarlarda oksijenlenmiş fonksiyonel gruplara sahip olduğu söylenebilir [(Şekil 5.61 (A)]. **GO-12**'e ait 100 nm' den ve 20 nm'den alınan TEM mikrografları incelendiğinde, GO yüzeylerinin karbazol-BODIPY-glukoz bileşiği (12) ile kaplanmış olduğu mikrogramdaki değişiklikten anlaşılmaktadır. Ayrıca bu görüntülerden, kovalent olmayan fonksiyonlandırma sonrasında **GO** tabakalarının kimyasal yapılarının bozulmadığı, **GO-12** nanokompozit yapısının ise başarıyla oluştuğunu desteklenmektedir [Şekil 5.61 (B ve C)]. Şekil 5.62'de **GO-12** nanokompozitine ait EDX verileri görülmektedir. EDX analizinde nanokompozitin yapısında bulunması beklenen C, O, N, B ve F elementleri belirlenmiştir.



Şekil 5.61: (A) GO (B) ve (C) GO-12 nanokompozitinin karşılaştırmalı TEM görüntüleri.



Şekil 5.62: GO-12 nanokompozitinin EDX analizleri.

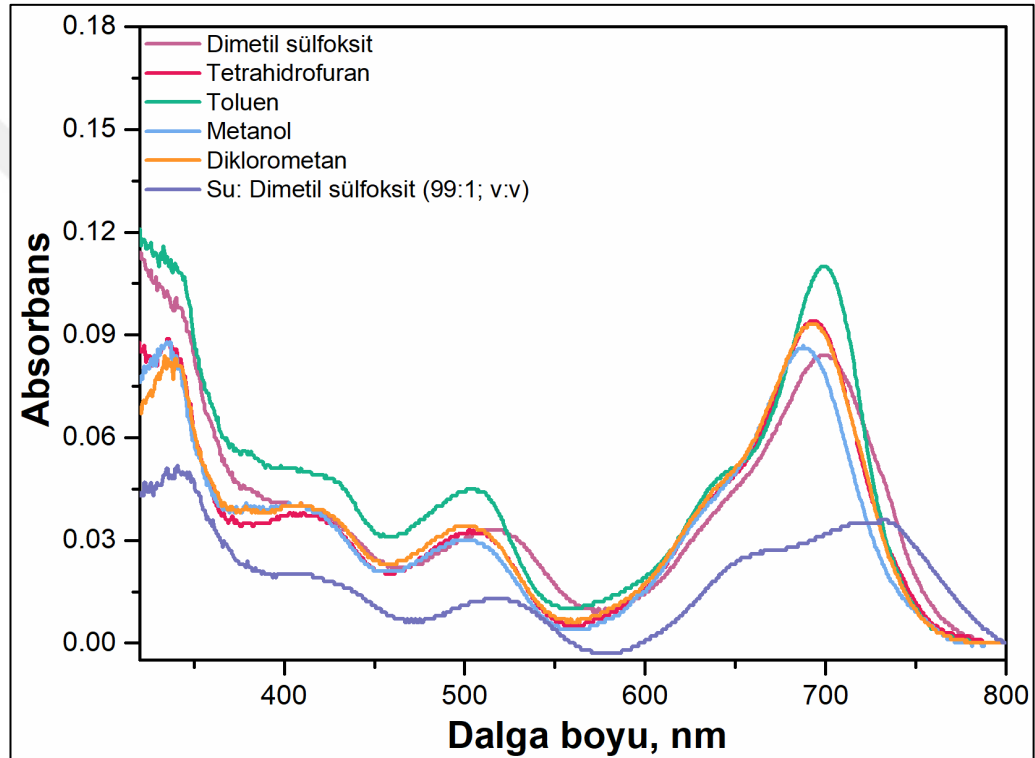
5.2. Fotofiziksel Özelliklerin İncelenmesi

5.2.1. Bileşik 11'in Fotofiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

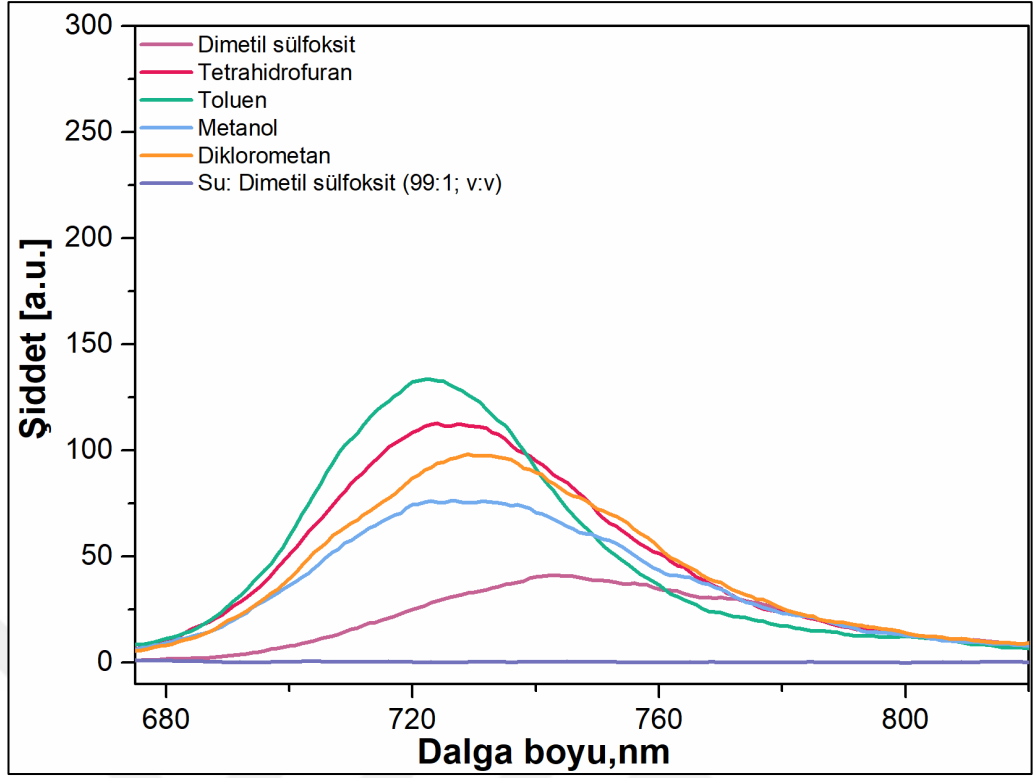
Bileşik 11'in fotofiziksel özelliklerinin incelenmesinde UV-Vis absorpsiyon ve floresans emisyon spektroskopilerinden yararlanıldı. İlk olarak farklı çözücülerde [dimetil sülfoksit, tetrahidrofuran, toluen, metanol, diklorometan ve su: dimetil sülfoksit (99:1; v:v)] 1 µM konsantrasyonda UV-Vis absorpsiyon spektrumları alındı. Bileşik 11'in tüm çözücülerde 300-500 ve 630-730 nm aralığında absorpsiyon bantlarına sahip olduğu gözlemlendi. Bileşik 11'in, metanol içerisinde 337, 420, 504 ve 687 nm de, tetrahidrofuran ve diklorometan içerisinde 337, 412, 501 nm ve 694 nm' de, toluen ve dimetilsülfoksit içerisinde ise 339, 421, 507 nm ve 699 nm' de, su: dimetil sülfoksit (99:1; v:v) içerisinde ise 343, 416, 521 nm ve 727 nm' de absorpsiyon verdiği gözlemlendi. Ayrıca bileşiğin diklorometan, tetrahidrofuran, aseton, dimetil sülfoksit, metanol ve toluen içerisindeki absorpsiyonunun daha yüksek olduğu, Su: Dimetil sülfoksit (99:1; v:v) içerisinde ise düşük olduğu belirlendi. Buna ek olarak, tüm çözücülerde ~642 nm'de ana absorpsiyon bandına eşlik eden titreşim seviyelerinden kaynaklı boyun bandı ($S_0-S_{1,1}$ veya $S_0-S_{1,2}$) gözlenmektedir. ~700 nm'de gözlenen pik, hafif yük transfer karakterine sahip S_0-S_1 ($\pi-\pi^*$) geçişine karşılık gelmektedir. Bileşik 11'e ait absorbans spektrumlarıyla ~505 nm de ek olarak gözlenen pik, π -konjugasyonunun arttırılması ve yük transferinin gerçekleşmesi nedeniyle molekül yapısı ile ve literatürde benzer yapılardan elde edilen sonuçlarla uyumludur (Şekil 5.63).

Bileşik 11'in farklı çözücülerde [dimetil sülfoksit, tetrahidrofuran, toluen, metanol, diklorometan ve su: dimetil sülfoksit (99:1; v:v)] 0.5 µM konsantrasyonda 660 nm' den uyarılarak floresans emisyon spektrumları alındı. Bileşik 11'in 660 nm' den uyarılan emisyon spektrumları incelendiğinde tetrahidrofuran içerisinde 725 nm' de, toluen içerisinde 722 nm' de, diklorometan ve metanol içerisinde 731 nm'de dimetil sülfoksit içerisinde ise 745 nm' de molekülün emisyonunun olduğu gözlemlendi. Buna ek olarak Su: Dimetil sülfoksit (99:1; v:v) içerisinde molekülün floresans emisyonunun sönümlendiği gözlemlendi (Şekil 5.64). Bileşik 11'in diklorometan içerisindeki floresans kuantum verimi 0,063 olarak hesaplandı.

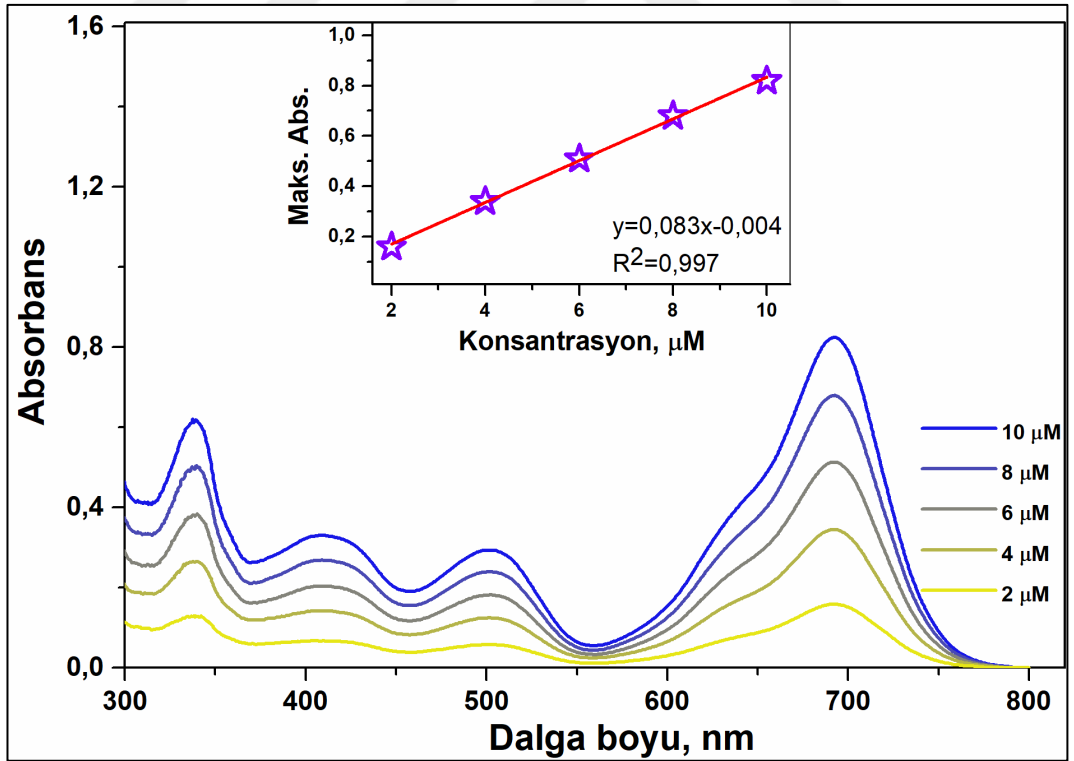
Bileşik **11**'in molar absorpsiyon katsayısının (ϵ) belirlenmesi için diklorometan çözücüsü içerisinde 10, 8, 6, 4 ve 2 μM konsantrasyonlarda çözeltileri hazırlanarak UV-Vis absorbans spektrumları alındı. Absorbans grafiklerinden okunan maksimum absorbans değerlerine karşı konsantrasyon grafiği çizilerek elde edilen doğrusal grafiğin eğiminden, bileşik **11**'e ait molar absorpsiyon katsayısı $8,3 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Bileşik **11**'in absorpsiyon profili Lambert-Beer yasasına uymaktadır (**Şekil 5.65**). Ayrıca bileşik **11**'e ait floresans yarı ömrü 1,73 ns bulunmuştur ve grafiği de aşağıda verilmiştir (**Şekil 5.66**).



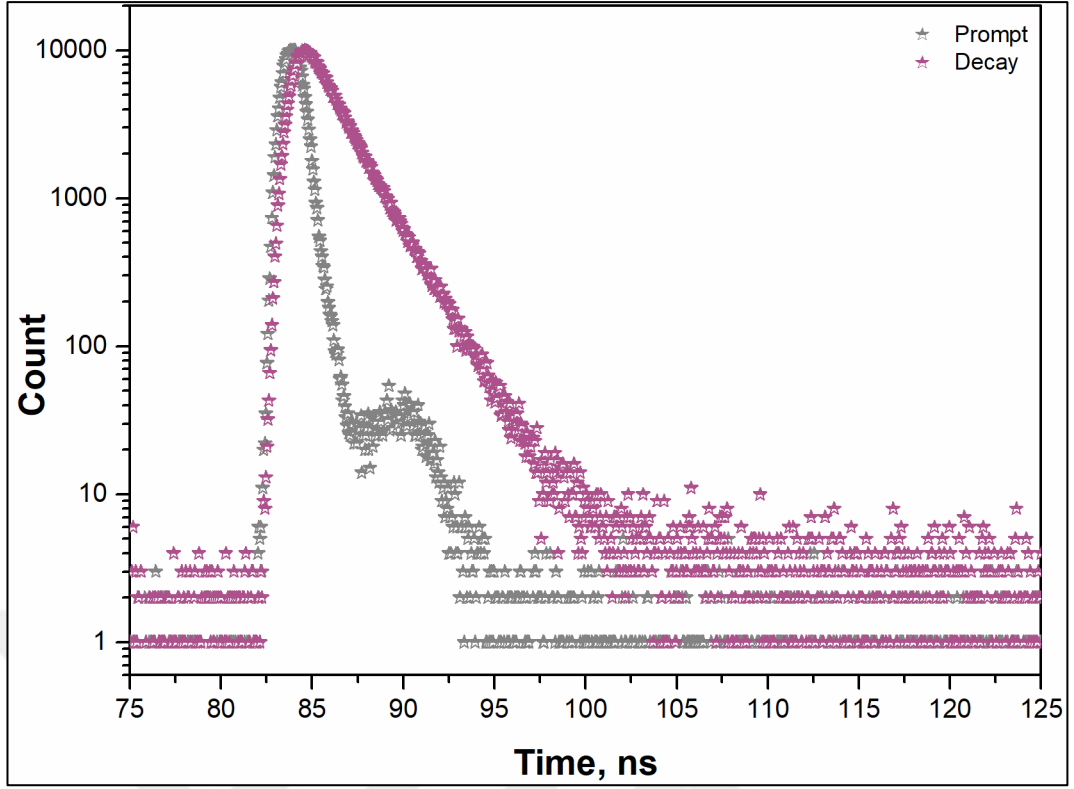
Şekil 5.63: Bileşik **11**' in farklı çözücülerde alınan absorpsiyon spektrumları (1 μM).



Şekil 5.64: Bileşik 11'in farklı çözücülerde alınan emisyon spektrumları ($\lambda_{ex}=660$ nm, $0,5 \mu\text{M}$).



Şekil 5.65: Bileşik 11'in DCM içerisinde farklı konsantrasyonlarda alınan absorpsiyon spektrumları.



Şekil 5.66: Bileşik 11'in floresans yarı ömür profili.

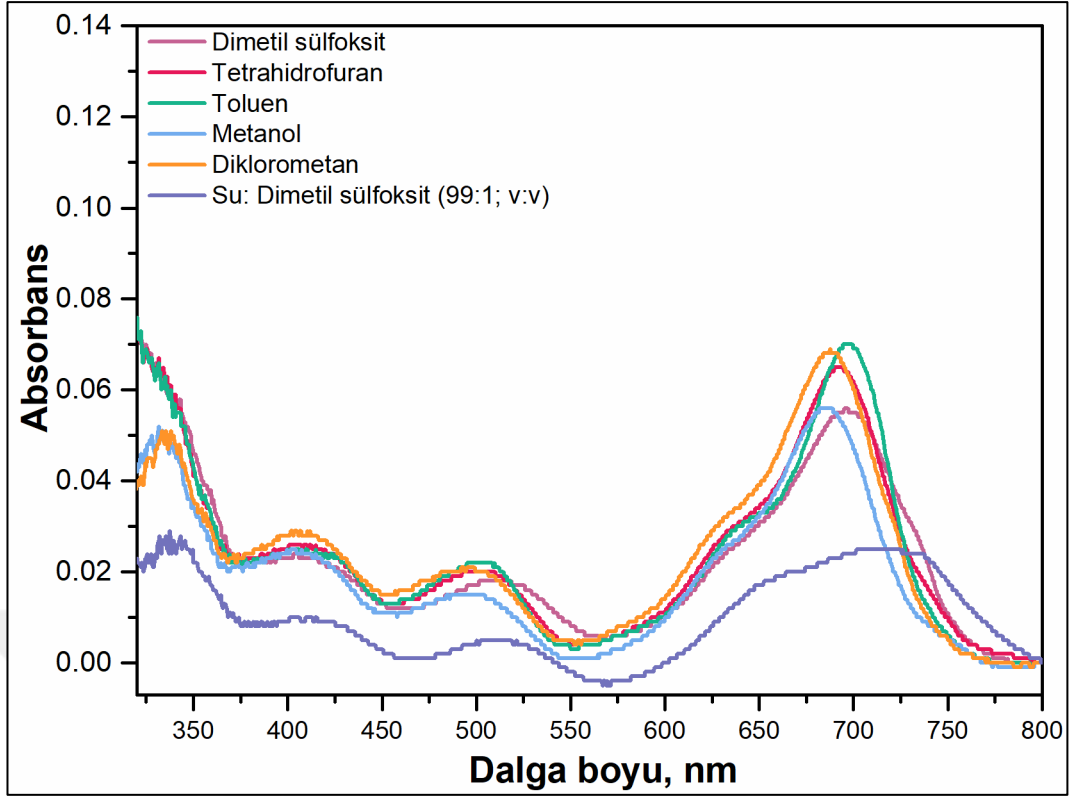
5.2.2. Bileşik 12'nin Fotofiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Bileşik 12'nin fotofiziksel özelliklerinin incelenmesinde UV-Vis absorpsiyon ve floresans emisyon spektroskopilerinden yararlanıldı. İlk olarak farklı çözücülerde [dimetil sülfoksit, tetrahidrofuran, toluen, metanol, diklorometan ve su: dimetil sülfoksit (99:1; v:v)] 1 μ M konsantrasyonda UV-Vis absorpsiyon spektrumları alındı. Bileşik 12'nin tüm çözücülerde 300-500 ve 600-750 nm aralığında absorpsiyon bantlarına sahip olduğu gözlemlendi. Bileşik 12'nin, diklorometan ve metanol içerisinde 337, 405, 496 ve 687 nm de, tetrahidrofuran içerisinde 336, 408, 501 nm ve 692 nm' de, toluen ve dimetilsülfoksit içerisinde ise 338, 408, 501 nm ve 696 nm' de, su: dimetil sülfoksit (99: 1; v:v) içerisinde ise 340, 413, 511 nm ve 718 nm' de absorpsiyon verdiği gözlemlendi. Ayrıca bileşiğin diklorometan, tetrahidrofuran, aseton, dimetil sülfoksit, metanol ve toluen içerisindeki absorpsiyonunun daha yüksek olduğu, Su: Dimetil sülfoksit (99:1; v:v) içerisinde ise düşük olduğu belirlendi. Buna ek olarak, tüm çözücülerde ~630 nm' de ana absorpsiyon bandına eşlik eden titreşim seviyelerinden kaynaklı boyun bandı ($S_0-S_{1,1}$ veya $S_0-S_{1,2}$) gözlenmektedir. ~700 nm' de gözlenen pik, hafif yük transfer karakterine sahip S_0-S_1 ($\pi-\pi^*$) geçişine karşılık

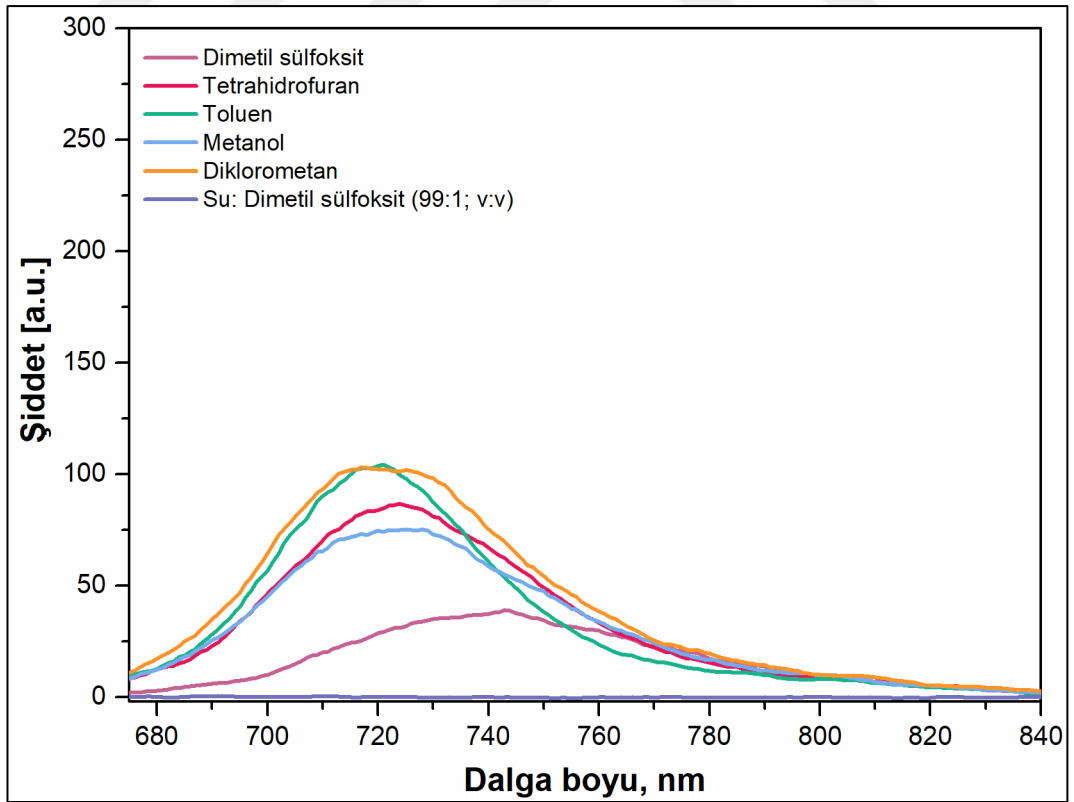
gelmektedir. Bileşik **12**'ye ait absorbands spektrumlarınla ~500-510 nm de ek olarak gözlenen pik, π -konjugasyonunun artırılması ve yük transferinin gerçekleşmesi nedeniyle molekül yapısı ile ve literatürde benzer yapılardan elde edilen sonuçlarla uyumludur (**Şekil 5.67**).

Bileşik **12**'nin farklı çözücülerde [dimetil sülfoksit, tetrahidrofuran, toluen, metanol, diklorometan ve su: dimetil sülfoksit (99:1; v:v)] 0,5 μ M konsantrasyonda 660 nm' den uyarılarak floresans emisyon spektrumları alındı. Bileşik **12**'nin 660 nm' den uyarılan emisyon spektrumları incelendiğinde tetrahidrofuran ve metanol içerisinde 723 nm' de, diklorometan ve toluen içerisinde 720 nm' de, dimetil sülfoksit içerisinde ise 743 nm' de molekülün emisyonunun olduğu gözlemlendi. Buna ek olarak Su: Dimetil sülfoksit (99:1; v:v)] içerisinde molekülün floresans emisyonunun sönümlendiği gözlemlendi (**Şekil 5.68**). Bileşik **12**'nin diklorometan içerisindeki floresans kuantum verimi 0,078 olarak hesaplandı.

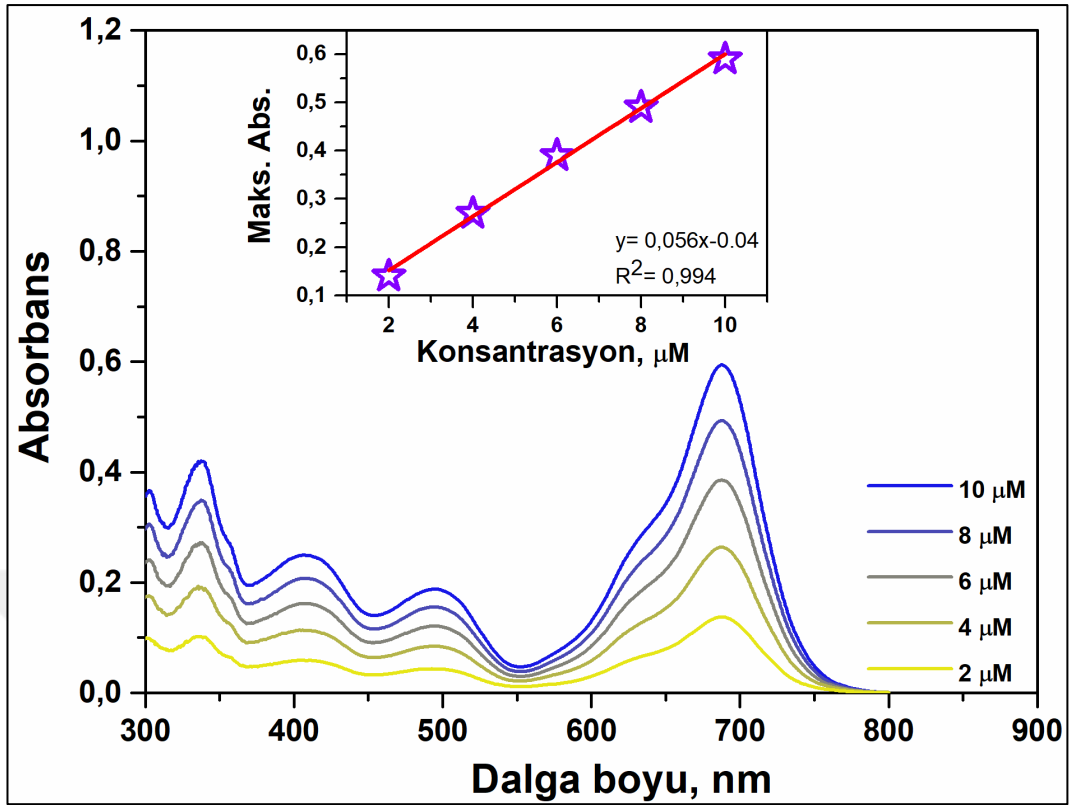
Bileşik **12**'nin molar absorpsiyon katsayısının (ϵ) belirlenmesi için diklorometan çözücüsü içerisinde 10, 8, 6, 4 ve 2 μ M konsantrasyonlarda çözeltileri hazırlanarak UV-Vis absorbands spektrumları alındı. Absorbans grafiklerinden okunan maksimum absorbands değerlerine karşı konsantrasyon grafiği çizilerek elde edilen doğrusal grafiğin eğiminden, bileşik **12**'ye ait molar absorpsiyon katsayısı $5,6 \times 10^4 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Bileşik **12**'nin absorpsiyon profili Lambert-Beer yasasına uymaktadır (**Şekil 5.69**). Ayrıca bileşik **12**'ye ait floresans yarı ömürü 1,80 ns bulunmuştur ve grafiği de aşağıda verilmiştir (**Şekil 5.70**).



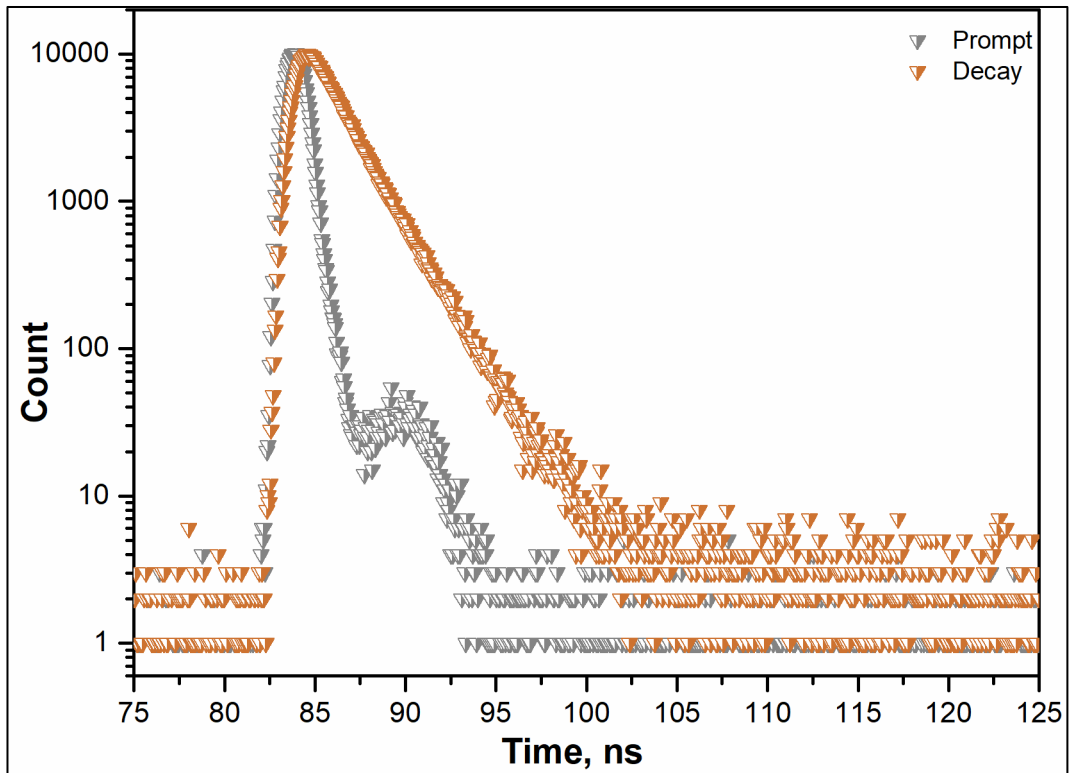
Şekil 5.67: Bileşik 12'nin farklı çözücülerde alınan absorpsiyon spektrumları (1 μM).



Şekil 5.68: Bileşik 12'nin farklı çözücülerde alınan emisyon spektrumları ($\lambda_{\text{ex}} = 660$ nm, 0,5 μM).



Şekil 5.69: Bileşik 12'nin DCM içerisinde farklı konsantrasyonlarda alınan absorpsiyon spektrumları.

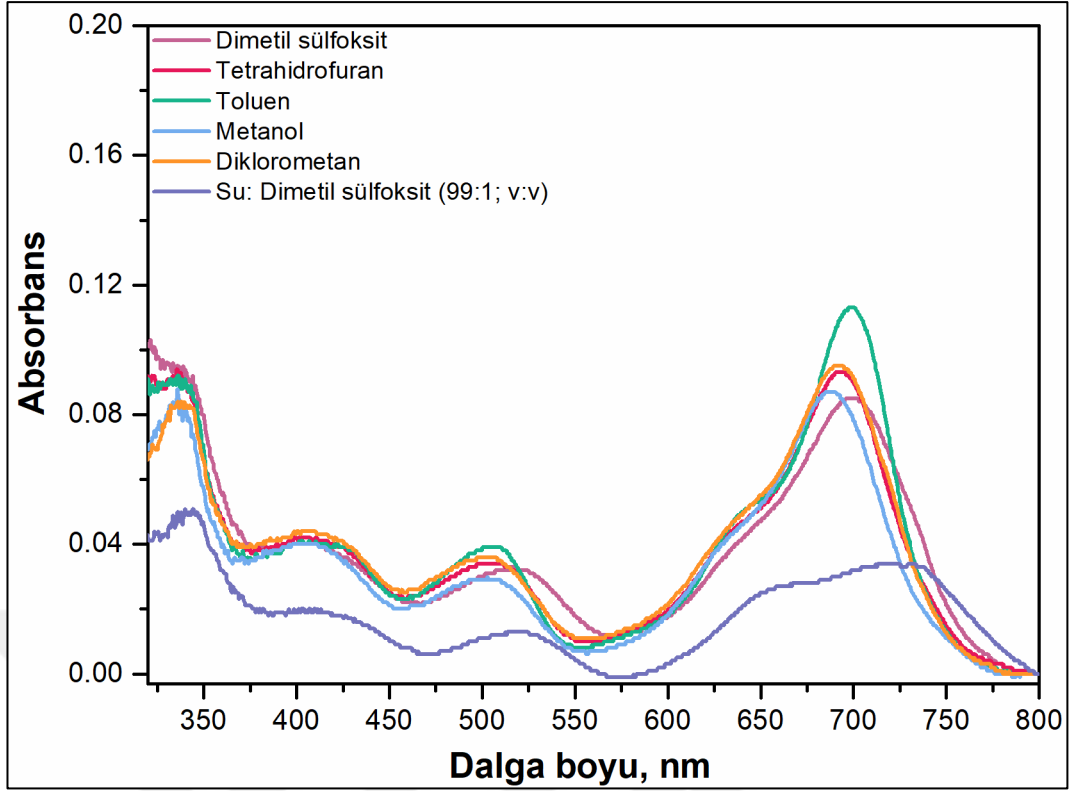


Şekil 5.70: Bileşik 12'nin floresans yarı ömür profili

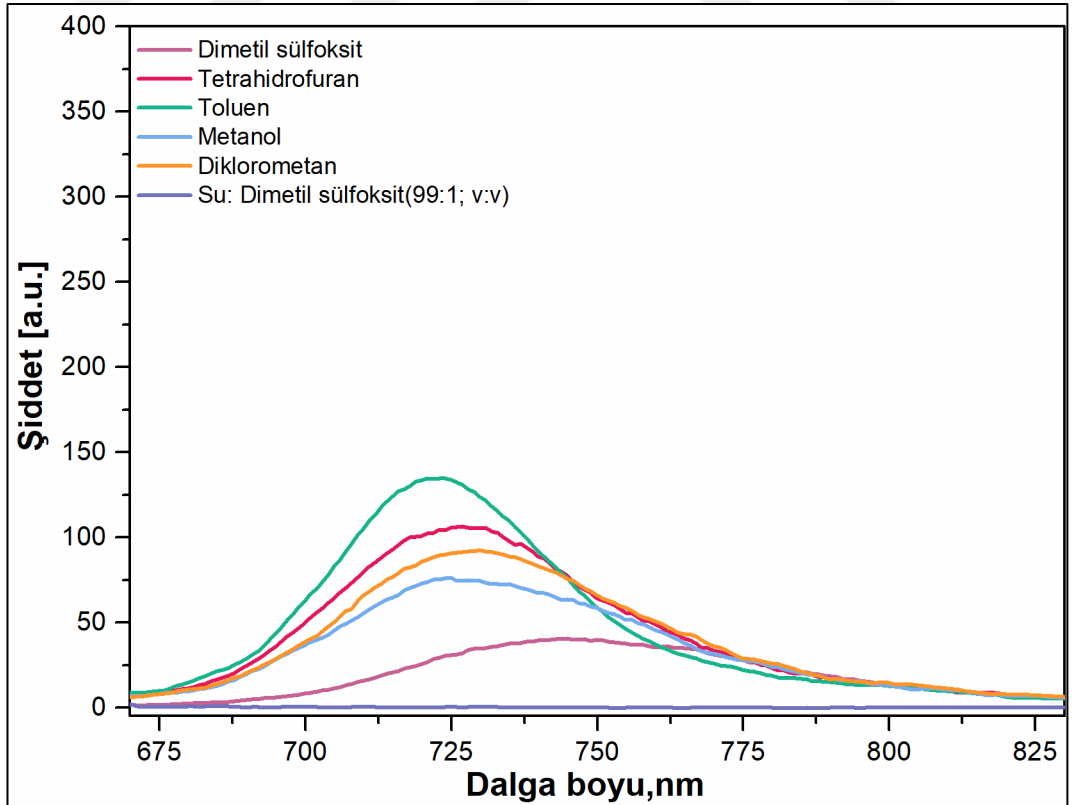
5.2.3. GO-11'in Fotofiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

GO-11'in fotofiziksel özelliklerinin incelenmesinde UV-Vis absorpsiyon ve floresans emisyon spektroskopilerinden yararlanıldı. İlk olarak farklı çözücülerde [dimetil sülfoksit, tetrahidrofuran, toluen, metanol, diklorometan ve su: dimetil sülfoksit (99:1; v:v)] 1 μ M konsantrasyonda UV-Vis absorpsiyon spektrumları alındı. Konsantrasyonların belirlenmesinde bileşik 23'e ait molar absorpsiyon katsayılarından yararlanıldı. GO-11'in tüm çözücülerde 300-500 ve 630-730 nm aralığında absorpsiyon bantlarına sahip olduğu gözlemlendi. GO-11'in, metanol içerisinde 336, 406, 502 ve 688 nm de, tetrahidrofuran ve diklorometan içerisinde 337, 407, 504 nm ve 692 nm' de, toluen içerisinde 337, 407, 506 ve 698 nm'de dimetil sülfoksit içerisinde ise 339, 421, 507 nm ve 698 nm' de, su: dimetil sülfoksit (99: 1; v:v) içerisinde ise 343, 416, 521 nm ve 727 nm' de absorpsiyon verdiği gözlemlendi. Ayrıca bileşiğin diklorometan, tetrahidrofuran, aseton, dimetil sülfoksit, metanol ve toluen içerisindeki absorpsiyonunun daha yüksek olduğu, su: dimetil sülfoksit (99:1; v:v) içerisinde ise düşük olduğu belirlendi. Buna ek olarak, tüm çözücülerde ~643 nm' de ana absorpsiyon bandına eşlik eden titreşim seviyelerinden kaynaklı boyun bandı ($S_0-S_{1,1}$ veya $S_0-S_{1,2}$) gözlenmektedir. ~700 nm'de gözlenen pik, hafif yük transfer karakterine sahip S_0-S_1 ($\pi-\pi^*$) geçişine karşılık gelmektedir. GO-11'e ait absorbans spektrumlarıyla ~505 nm de ek olarak gözlenen pik, π -konjugasyonunun arttırılması ve yük transferinin gerçekleşmesi nedeniyle molekül yapısı ile ve literatürde benzer yapılardan elde edilen sonuçlarla uyumludur (Şekil 5.71).

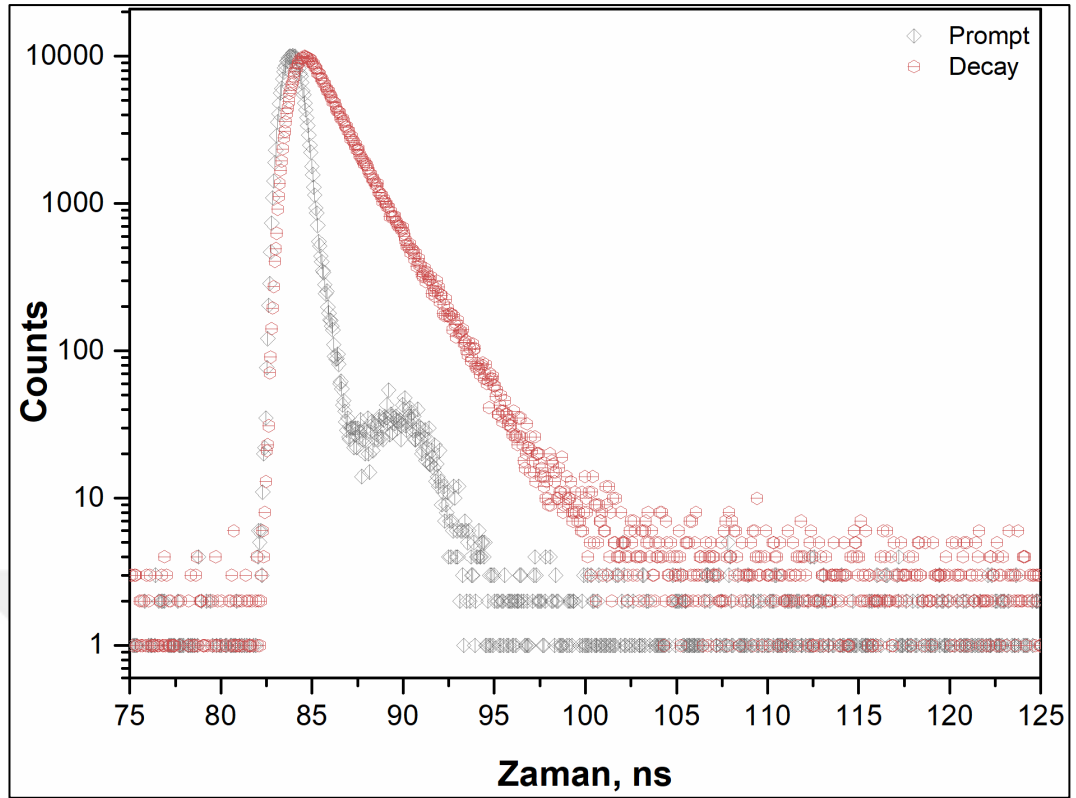
GO-11'in farklı çözücülerde [dimetil sülfoksit, tetrahidrofuran, toluen, metanol, diklorometan ve su: dimetil sülfoksit (99:1; v:v)] 0,5 μ M konsantrasyonda 660 nm' den uyarılarak floresans emisyon spektrumları alındı. GO-11'in 660 nm' den uyarılan emisyon spektrumları incelendiğinde tetrahidrofuran, metanol ve diklorometan içerisinde 726 nm' de, toluen içerisinde 721 nm' de, dimetil sülfoksit içerisinde ise 745 nm' de molekülün emisyonunun olduğu gözlemlendi. Buna ek olarak su: dimetil sülfoksit (99:1; v:v)] içerisinde molekülün floresans emisyonunun sönümlendiği gözlemlendi (Şekil 5.72). GO-11 nanokompozitinin diklorometan içerisindeki floresans kuantum verimi 0,058 olarak hesaplandı. Ayrıca bileşik GO-11' e ait floresans yarı ömrü 1,73 ns bulunmuştur ve grafiği de aşağıda verilmiştir (Şekil 5.73).



Şekil 5.71:GO-11 nanokompozitinin farklı çözücülerde alınan absorpsiyon spektrumları.



Şekil 5.72: GO-11 nanokompozitinin farklı çözücülerde alınan emisyon spektrumları ($\lambda_{ex}=660$ nm).



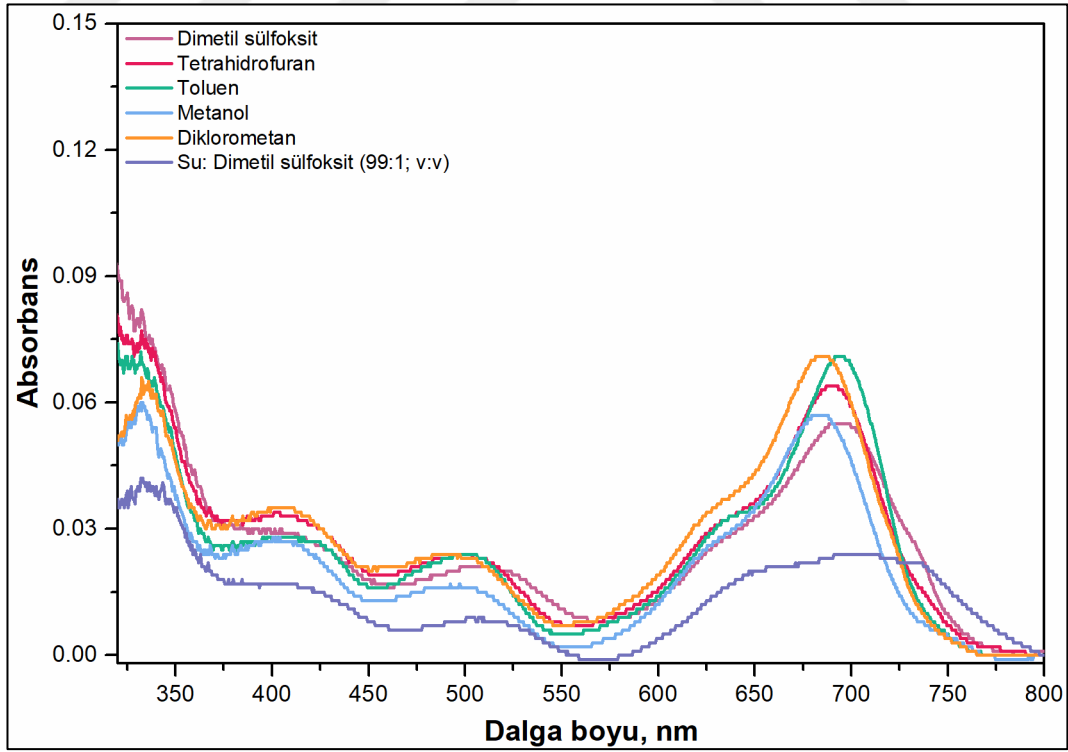
Şekil 5.73: GO-11 nanokompozitinin floresans yarı ömür profili.

5.2.4. GO-12'nin Fotofiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

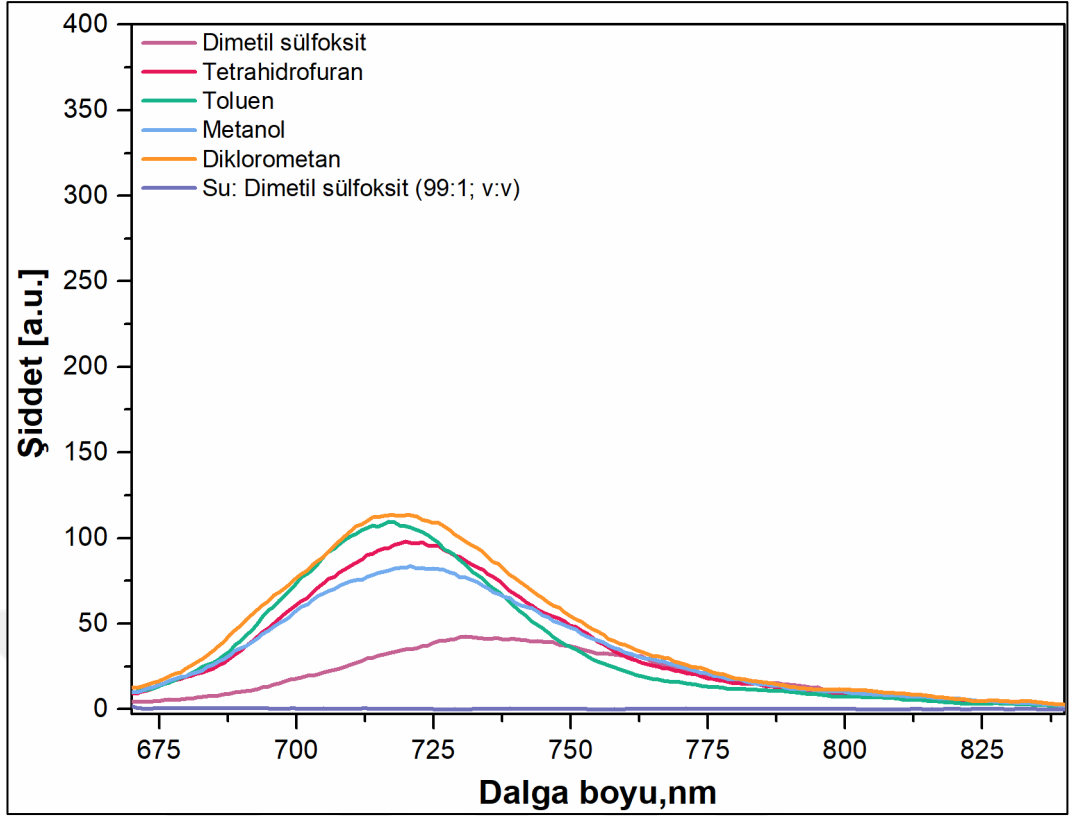
GO-12'nin fotofiziksel özelliklerinin incelenmesinde UV-Vis absorpsiyon ve floresans emisyon spektroskopilerinden yararlanıldı. İlk olarak farklı çözücülerde [dimetil sülfoksit, tetrahidrofuran, toluen, metanol, diklorometan ve su: dimetil sülfoksit (99:1; v:v)] 1 μ M konsantrasyonda UV-Vis absorpsiyon spektrumları alındı. Konsantrasyonların belirlenmesinde bileşik **12**'ye ait molar absorpsiyon katsayılarından yararlanıldı. **GO-12'nin** tüm çözücülerde 300-500 ve 630-730 nm aralığında absorpsiyon bantlarına sahip olduğu gözlemlendi. **GO-12'nin**, metanol içerisinde 332, 406, 496 ve 682 nm'de, diklorometan içerisinde 386, 406, 494 nm ve 685 nm'de, tetrahidrofuran içerisinde 333, 407, 498 ve 691 nm'de ve toluen ve dimetil sülfoksit içerisinde ise 335, 405, 500 ve 695 nm'de, su: dimetil sülfoksit (99: 1; v:v) içerisinde ise 338, 408, 506 nm ve 702 nm'de absorpsiyon verdiği gözlemlendi. Ayrıca bileşiğin diklorometan, tetrahidrofuran, aseton, dimetil sülfoksit, metanol ve toluen içerisindeki absorpsiyonunun daha yüksek olduğu, su: dimetil sülfoksit (99:1; v:v) içerisinde ise düşük olduğu belirlendi. Buna ek olarak, tüm çözücülerde ~630 nm'de

ana absorpsiyon bandına eşlik eden titreşim seviyelerinden kaynaklı boyun bandı ($S_0-S_{1,1}$ veya $S_0-S_{1,2}$) gözlenmektedir. ~700 nm’de gözlenen pik, hafif yük transfer karakterine sahip S_0-S_1 ($\pi-\pi^*$) geçişine karşılık gelmektedir. **GO-12**’ye ait absorbans spektrumlarıyla ~500 nm de ek olarak gözlenen pik, π -konjugasyonunun arttırılması ve yük transferinin gerçekleşmesi nedeniyle molekül yapısı ile ve literatürde benzer yapılardan elde edilen sonuçlarla uyumludur (**Şekil 5.74**).

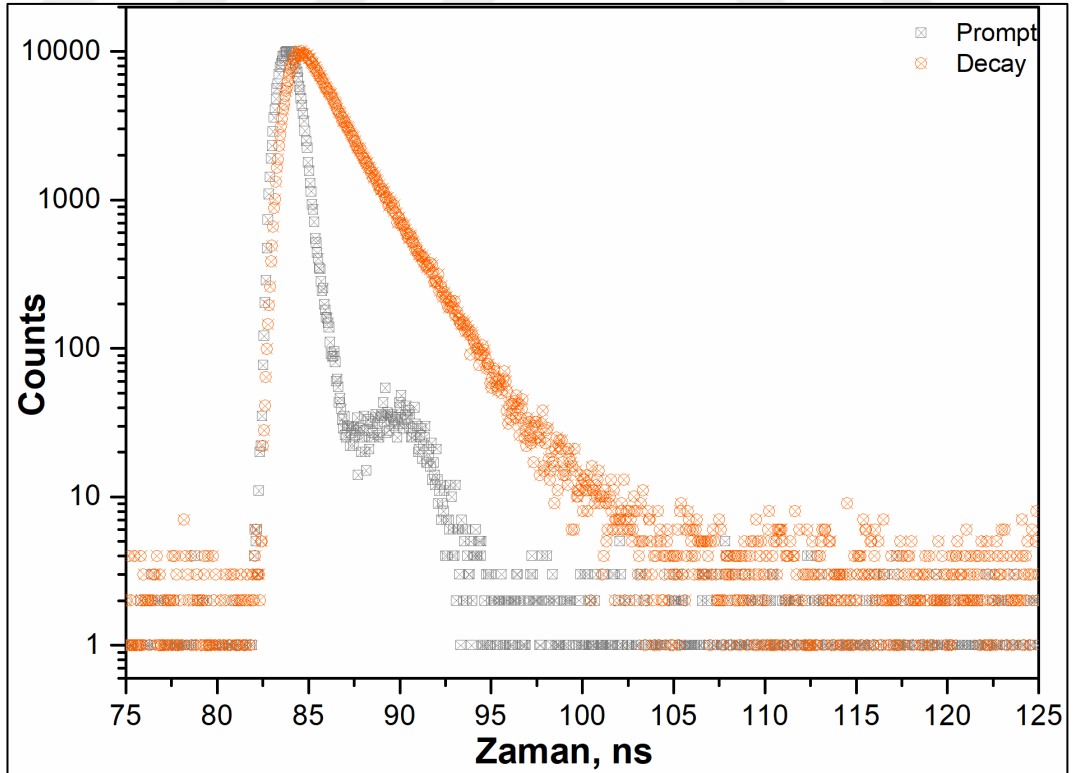
GO-12’nin farklı çözücülerde [dimetil sülfoksit, tetrahidrofuran, toluen, metanol, diklorometan ve su: dimetil sülfoksit (99:1; v:v)] 0,5 μ M konsantrasyonda 660 nm’ den uyarılarak floresans spektrumları alındı. **GO-12**’nin 660 nm’ den uyarılan emisyon spektrumları incelendiğinde toluen ve diklorometan içerisinde 718nm’ de, tetrahidrofuran ve metanol içerisinde 721 nm’de, dimetil sülfoksit içerisinde ise 734 nm’ de molekülün emisyonunun olduğu gözlemlendi. Buna ek olarak su: dimetil sülfoksit (99:1; v:v) içerisinde molekülün floresans emisyonunun sönümlendiği gözlemlendi (**Şekil 5.75**). **GO-12** nanokompozitinin diklorometan içerisindeki floresans kuantum verimi 0,081 olarak hesaplandı. Ayrıca bileşik **GO-12**’ ye ait floresans yarı ömrü 1,86 ns bulunmuştur ve grafiği de aşağıda verilmiştir (**Şekil 5.76**).



Şekil 5.74:GO-12 nanokompozitinin farklı çözücülerde alınan absorpsiyon spektrumları.



Şekil 5.75: GO-12 nanokompozitinin farklı çözücülerde alınan emisyon spektrumları ($\lambda_{ex}=660$ nm).



Şekil 5.76: GO-12 nanokompozitinin floresans yarı ömür profili.

5.2.5. Floresans Kuantum Verimleri

Floresans kuantum verimlerinin hesaplanması için standart olarak kullanılan maddeye ait [Bileşik 11 ve 12 için çinko ftalosiyanın (DMSO içerisinde $\Phi_F=0,20$) ve bileşiklerden elde edilen spektrumlar kullanılarak sentezlenen bileşiklerin floresans kuantum verimleri aşağıdaki eşitliğe göre hesaplandı ve sırasıyla 0,063 ve 0,078 olarak bulundu.

$$\Phi_F = \Phi_F(\text{Std}) \frac{F_{\text{Std}} \cdot A_{\text{Std}} \cdot \eta^2}{F_{\text{Std}} \cdot A_{\text{Std}} \cdot \eta_{\text{Std}}^2} \quad (5.1)$$

Φ_F = Numunenin floresans kuantum verimi.

F_{Std} = Standart bileşiğin floresans kuantum verimi.

F = Numunenin floresans emisyon eğrisinin altındaki alan.

F_{Std} = Standart bileşiğin floresans emisyon eğrisinin altındaki alan.

A = Numunenin absorbansı.

A_{Std} = Standart bileşiğin absorbansı.

η = Numunenin çözöldüğü çözücünün refraktif indisi.

η_{Std} = Standart bileşiğin çözöldüğü çözücünün refraktif indisi.

5.3. Fotokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi

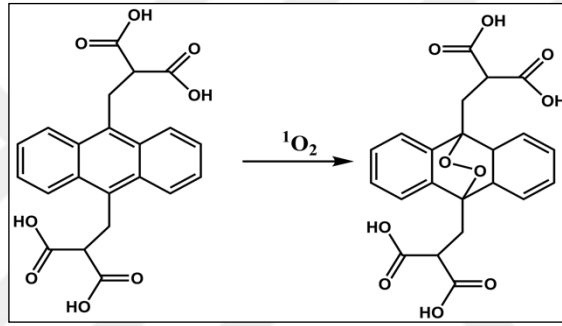
5.3.1. Organik Çözücü İçerisindeki Singlet Oksijen Ölçümü

Bir molekülün singlet oksijen üretebilme yeteneği tuzak molekül 1,3-difenilisobenzofuran (DPBF) ile takip edilebilmektedir. DPBF'nin yapısı singlet oksijen varlığında bozulmaktadır ve DPBF'in 414 nm' deki karakteristik absorbans piklerinde sistematik değişiklikler gözlenmektedir (**Şekil 5.76**). Bu tez kapsamında hazırlanan bileşiklerin ve nanokompozitlerin singlet oksijen ölçüm deneyleri oda sıcaklığında gerçekleştirildi. DPBF'nin absorbansında gözlenen düşüşe dayanarak, ortamda oluşan singlet oksijenin varlığı en direk yöntemle belirlenmiş; singlet oksijen kuantum verimleri, singlet oksijen verimi bilinen bir referans molekül ile karşılaştırılarak nicel olarak hesaplanmıştır.

PF= ışık kaynağının cm^2 ye gönderdiği güç miktarı

5.3.2 PBS Tampon İçerisindeki Singlet Oksijen Ölçümü

Bir molekülün sulu ortamda singlet oksijen üretebilme yeteneği tuzak molekül 9,10-antrasendiyl-bis(metilen)dimalonik asit (ADBA) ile takip edilebilmektedir. ADBA'nın yapısı tıpkı DPBF gibi singlet oksijen varlığında bozulmaktadır [55], (Şekil 5.78). Bu bozunma, ADBA'nın 360, 380 ve 400 nm'deki karakteristik absorbands piklerinde gözlenen düşüşlerle takip edilebilmektedir. Ölçümler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş olup, ADBA'nın absorbands spektrumundaki bu değişimler aracılığıyla sulu ortamda singlet oksijenin varlığı doğrulanabilmektedir.



Şekil 5.79: Singlet oksijen varlığında ADBA molekülünün yapısındaki bozulma

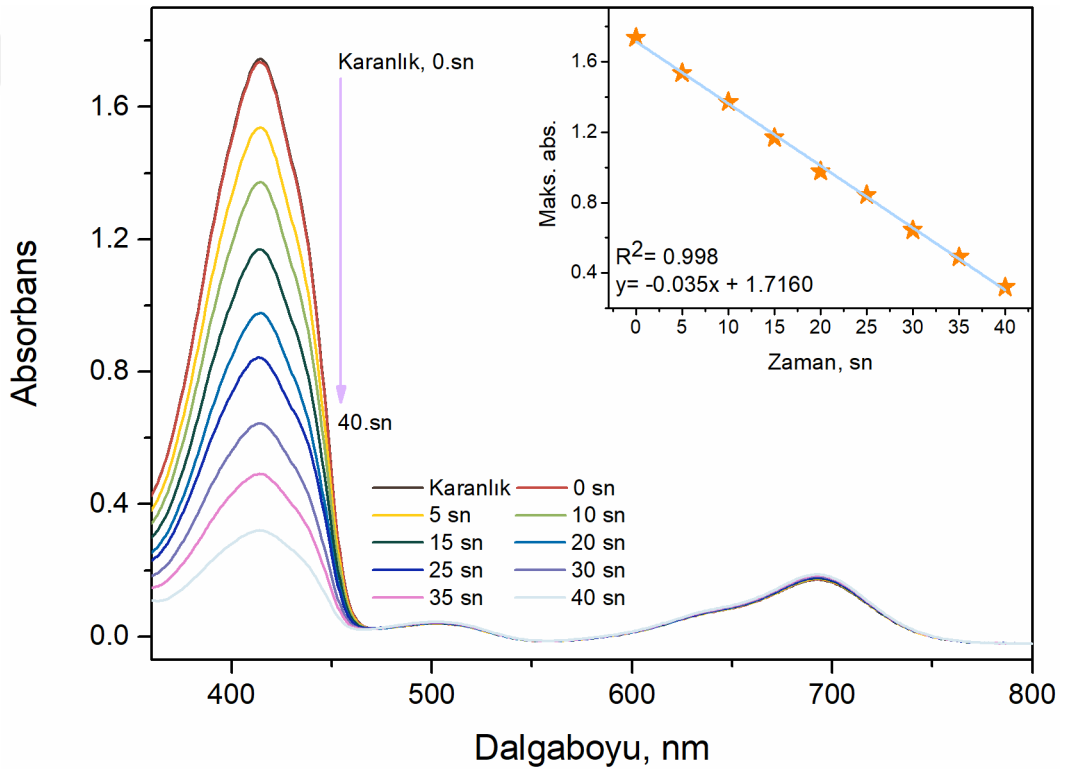
Bu tez kapsamında organik çözücü içerisinde singlet oksijen ürettiği belirlenmiş bileşiklerin (11 ve 12) ve nanokompozitlerin [GO-(11-12)] PBS tampon içerisindeki singlet oksijen üretme kapasiteleri tuzak molekül olarak ADBA kullanılarak yapıldı. PBS: DMSO (3 mL, 99:1; v:v) içerisindeki trap molekül (ADBA) ve PS'ler 640 (20 mW/cm^2) nm' lik LED ışık kaynağı ile uyarılarak, tuzak molekül absorbandsındaki düşüş gözlenerek bileşiklerin sulu ortamda da singlet oksijen ürettikleri belirlendi.

5.3.2.1 Bileşik 11'in Singlet Oksijen Ölçüm Deneyi

Bileşik 11' in singlet oksijen ölçüm deneyi diklorometan içerisinde ve DPBF varlığında gerçekleştirildi. Maksimum absorbands değeri 692 nm olarak bulunan bileşik 11'in 2,0 μM konsantrasyonda absorbands değeri yaklaşık 0,17'dir. Ölçüm kuvetine absorbands değeri yaklaşık 1,7 olacak şekilde tuzak molekül DPBF ilave edildi. Ölçüm kuveti 20 dakika boyunca ışıksız ortamda bekletildi ve tekrar absorbands ölçümü alındığında DPBF' ye ait 414 nm' deki absorbands değerinde bir değişiklik olmadığı

görüldü. Bu ölçüm ile bileşik **11**'in karanlık ortamda singlet oksijen üretmediği belirlendi. Daha sonra 625 nm' lik kırmızı led ışık ile uyarılarak her 5 saniyede bir absorbans ölçümü alındı ve her ölçümde tuzak molekülün absorbansının sistematik olarak belirgin şekilde azaldığı gözlemlendi (**Şekil 5.80**). Bu deneye 40. Saniyeye kadar devam edildi. Tüm bu deney süresince bileşik **11**'in 692 nm' deki absorbans değerinde bir değişiklik olmadığı yani bileşik **11**'in ışık varlığında bozulmadığı görüldü.

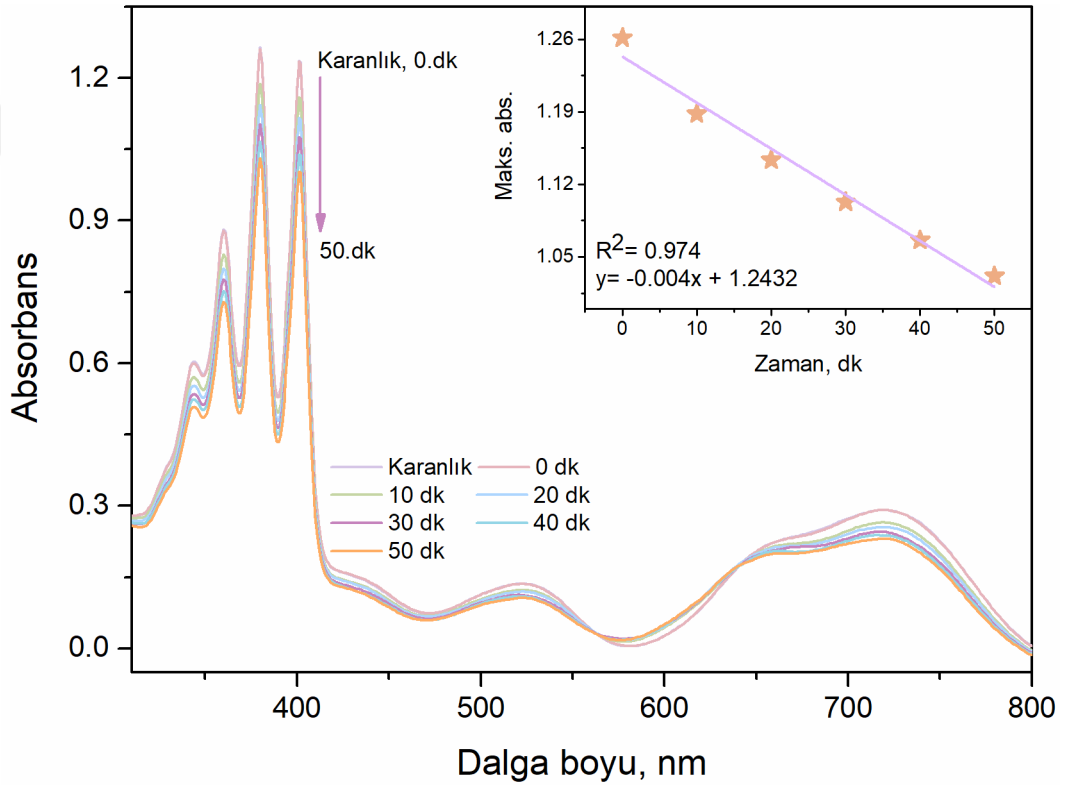
Tuzak molekülünün 414 nm' deki zamana bağlı absorbans değişim grafiği çizildi ve eğim -0,035 olarak hesaplandı. Bileşik **11**' in singlet oksijen kuantum verimi ilgili eşitliğe göre hesaplandı ve $\Phi_{\Delta} = 0,67$ olarak hesaplandı.



Şekil 5.80: DPBF'in 2 μ M bileşik 11 varlığında uyarılmasıyla absorbans değişim ve DPBF'nin 414 nm' de zamana karşı absorbans düşüş grafikleri

Bileşik **11**'in singlet oksijen ölçüm deneyi PBS:DMSO (99:1; v:v) içerisinde ve ADBA varlığında gerçekleştirildi. Maksimum absorbans dalga boyu 722 nm olarak bulunan bileşik **11**'in 10,0 μ M konsantrasyonda absorbans değeri yaklaşık 0,29'dur. Ölçüm kuvetine absorbans değeri yaklaşık 1.26 olacak şekilde tuzak molekül ADBA ilave edildi. Ölçüm kuveti 20 dakika boyunca ışısız ortamda bekletildi ve tekrar absorbans ölçümü alındığında ADBA'ya ait 401, 380 ve 360 nm' deki absorbans

değerinde bir değişiklik olmadığı görüldü. Bu ölçüm ile bileşik **11**'in karanlık ortamda singlet oksijen üretmediği ve istenmeyen yan reaksiyonların oluşmadığı belirlendi. Daha sonra 660 nm'lik kırmızı LED ile uyarılarak her 10 dakikada bir absorbans ölçümü alındı ve her ölçümde tuzak molekülün absorbansının sistematik olarak belirgin bir şekilde azaldığı gözlemlendi (**Şekil 5.81**). Bu deneye 50. Dakikaya kadar devam edildi. Gözlenen bu düşüş bileşik **11**'in sulu ortamda da singlet oksijen üretebildiğini göstermektedir. Tuzak molekülünün 380 nm' deki zamana bağlı absorbans değişim grafiği çizildi ve eğim -0,004 olarak hesaplandı.



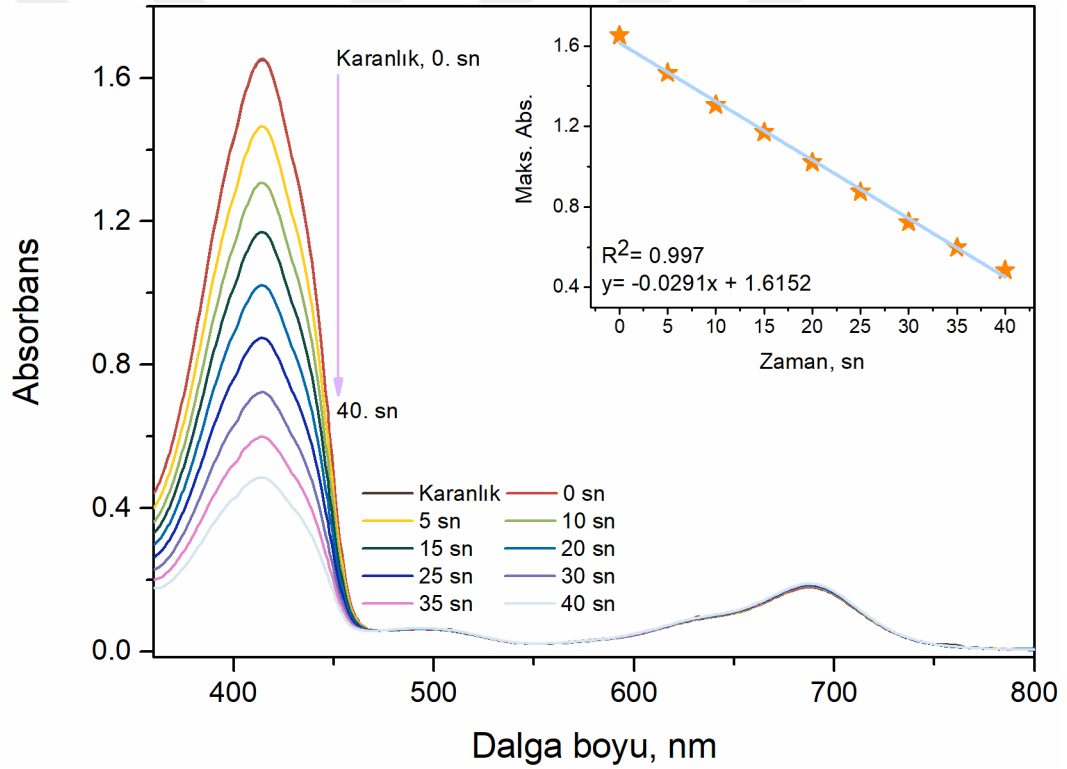
Şekil 5.81: ADBA'nın 10 μ M bileşik 11 varlığında uyarılmasıyla absorbans değişim ve ADBA'nın 380 nm' de zamana karşı absorbans düşüş grafikleri.

5.3.2.2 Bileşik 12'nin Singlet Oksijen Ölçüm Deneyi

Bileşik **12**'nin singlet oksijen ölçüm deneyi diklorometan içerisinde ve DPBF varlığında gerçekleştirildi. Maksimum absorbans değeri 688 nm olarak bulunan bileşik **12**'nin 2,0 μ M konsantrasyonda absorbans değeri yaklaşık 0,18'dir. Ölçüm kuvetine absorbans değeri yaklaşık 1,6 olacak şekilde tuzak molekül DPBF ilave edildi. Ölçüm kuveti 20 dakika boyunca ışıksız ortamda bekletildi ve tekrar absorbans ölçümü

alındığında DPBF' ye ait 414 nm' deki absorbands değeri bir değışiklik olmadığı görüldü. Bu ölçüm ile bileşik 12'nin karanlık ortamda singlet oksijen üretmediği belirlendi. Daha sonra 625 nm' lik kırmızı led ışık ile uyarılarak her 5 saniyede bir absorbands ölçümü alındı ve her ölçümde tuzak molekülün absorbandsının sistematik olarak belirgin şekilde azaldığı gözlemlendi (Şekil 5.82). Bu deneye 40. Saniyeye kadar devam edildi. Tüm bu deney süresince bileşik 12' nin 688 nm' deki absorbands değeri bir değışiklik olmadığı yani bileşik 12'nin ışık varlığında bozulmadığı görüldü.

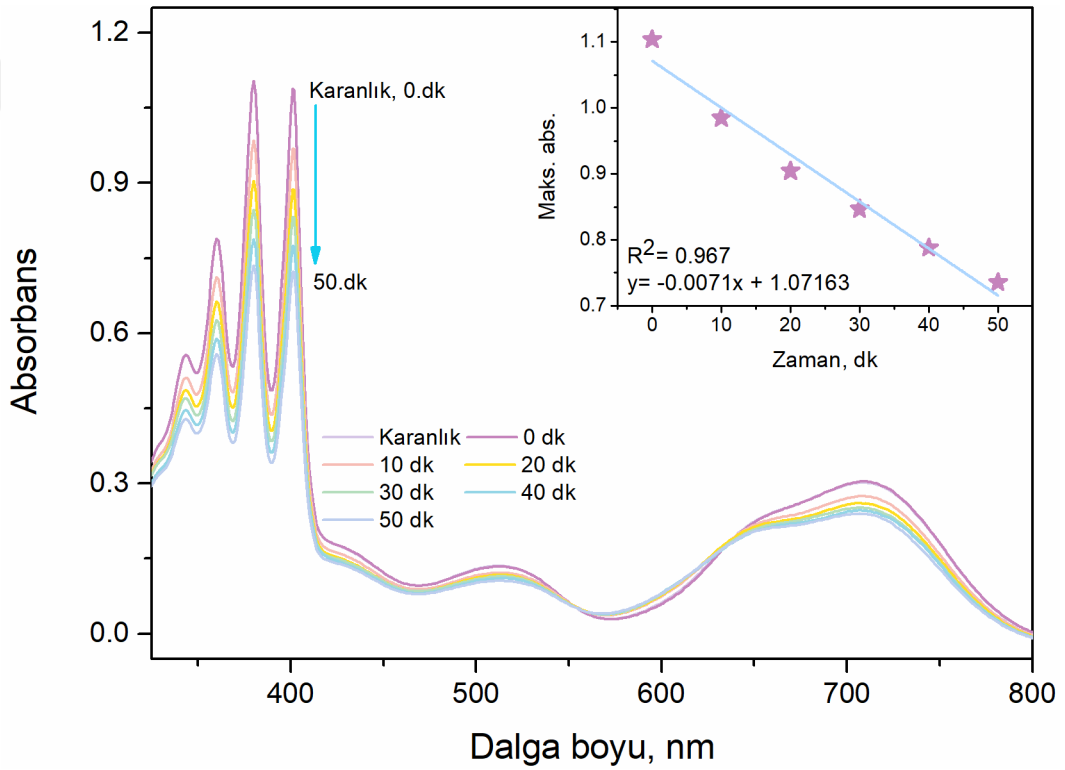
Tuzak molekülünün 414 nm' deki zamana bağı absorbands değışim grafiğı çizildi ve eğim -0,029 olarak hesaplandı. Bileşik 12'nin singlet oksijen kuantum verimi ilgili eşitliğe göre hesaplandı ve $\Phi_{\Delta} = 0,52$ olarak hesaplandı.



Şekil 5.82: DPBF'in 2 μ M bileşik 12 varlığında uyarılmasıyla absorbands değışim ve DPBF'nin 414 nm' de zamana karşı absorbands düşüş grafikleri.

Bileşik 12'nin singlet oksijen ölçüm deneyi PBS:DMSO (99:1; v:v) içerisinde ve ADBA varlığında gerçekleştirildi. Maksimum absorbands dalga boyu 710 nm olarak bulunan bileşik 12'nin 10,0 μ M konsantrasyonda absorbands değeri yaklaşık 0,30'dur. Ölçüm kuvetine absorbands değeri yaklaşık 1,1 olacak şekilde tuzak molekül ADBA ilave edildi. Ölçüm kuveti 20 dakika boyunca ışıksız ortamda bekletildi ve tekrar

absorbans ölçümü alındığında ADBA'ya ait 401, 380 ve 360 nm' deki absorbans değerinde bir değişiklik olmadığı görüldü. Bu ölçüm ile bileşik **12**'nin karanlık ortamda singlet oksijen üretmediği ve istenmeyen yan reaksiyonların oluşmadığı belirlendi. Daha sonra 660 nm'lik kırmızı LED ile uyarılarak her 10 dakikada bir absorbans ölçümü alındı ve her ölçümde tuzak molekülün absorbansının sistematik olarak azaldığı gözlemlendi (**Şekil 5.83**). Bu deneye 50. Dakikaya kadar devam edildi. Gözlenen bu düşüş bileşik **12**'nin sulu ortamda da singlet oksijen üretebildiğini göstermektedir. Tuzak molekülünün 380 nm' deki zamana bağlı absorbans değişim grafiği çizildi ve eğim -0,0071 olarak hesaplandı.



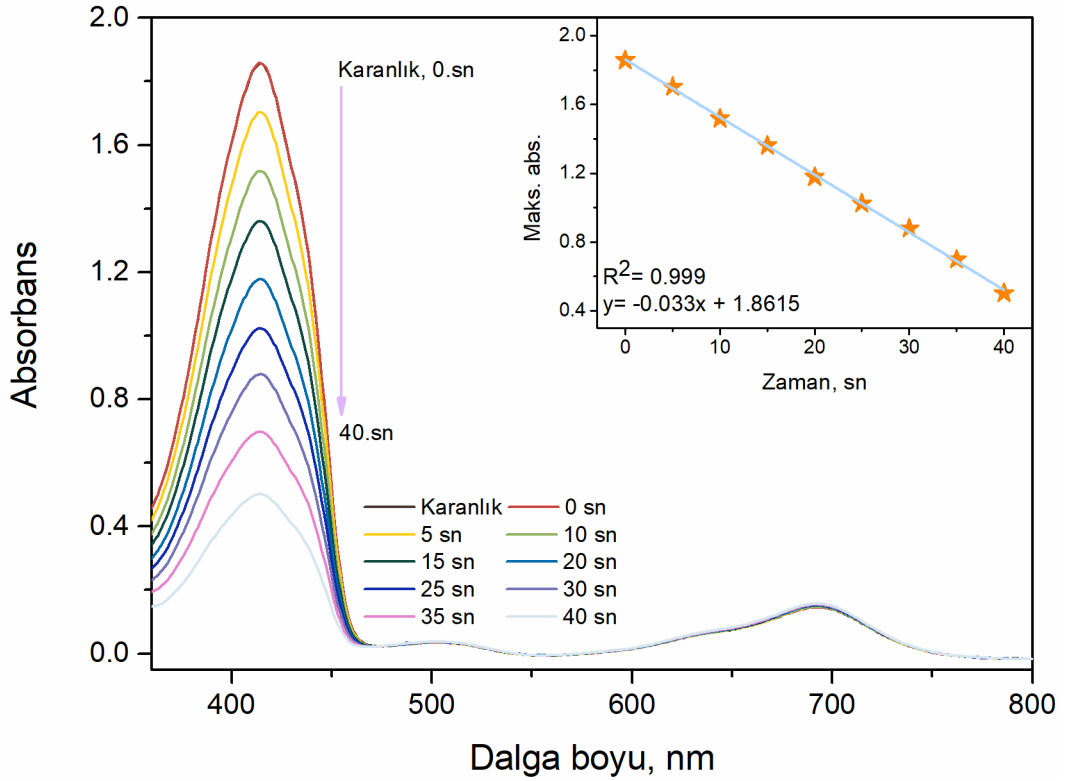
Şekil 5.83: ADBA'nın 10 μ M bileşik 12 varlığında absorbans değişim ve ADBA'nın 380 nm' de zamana karşı absorbans düşüş grafikleri.

5.3.2.3 GO-11'in Singlet Oksijen Ölçüm Deneyi

GO-11 nanokompozitinin singlet oksijen ölçüm deneyi diklorometan içerisinde ve DPBF varlığında gerçekleştirildi. Maksimum absorbans değeri 692 nm olarak bulunan **GO-11**'in 2,0 μ M konsantrasyonda absorbans değeri yaklaşık 0,15'tir. Ölçüm kuvetine absorbans değeri yaklaşık 1,8 olacak şekilde tuzak molekül DPBF ilave edildi. Ölçüm kuveti 20 dakika boyunca ışısız ortamda bekletildi ve tekrar absorbans

ölçümü alındığında DPBF' ye ait 414 nm' deki absorbans değerinde bir değişiklik olmadığı görüldü. Bu ölçüm ile **GO-11**'in karanlık ortamda singlet oksijen üretemediği belirlendi. Daha sonra 625 nm' lik kırmızı led ışık ile uyarılarak her 5 saniyede bir absorbans ölçümü alındı ve her ölçümde tuzak molekülün absorbansının sistematik olarak belirgin şekilde azaldığı gözlemlendi (**Şekil 5.84**). Bu deneye 40. Saniyeye kadar devam edildi. Tüm bu deney süresince **GO-11** nanokompozitinin 692 nm' deki absorbans değerinde bir değişiklik olmadığı yani **GO-11**'in ışık varlığında bozulmadığı görüldü.

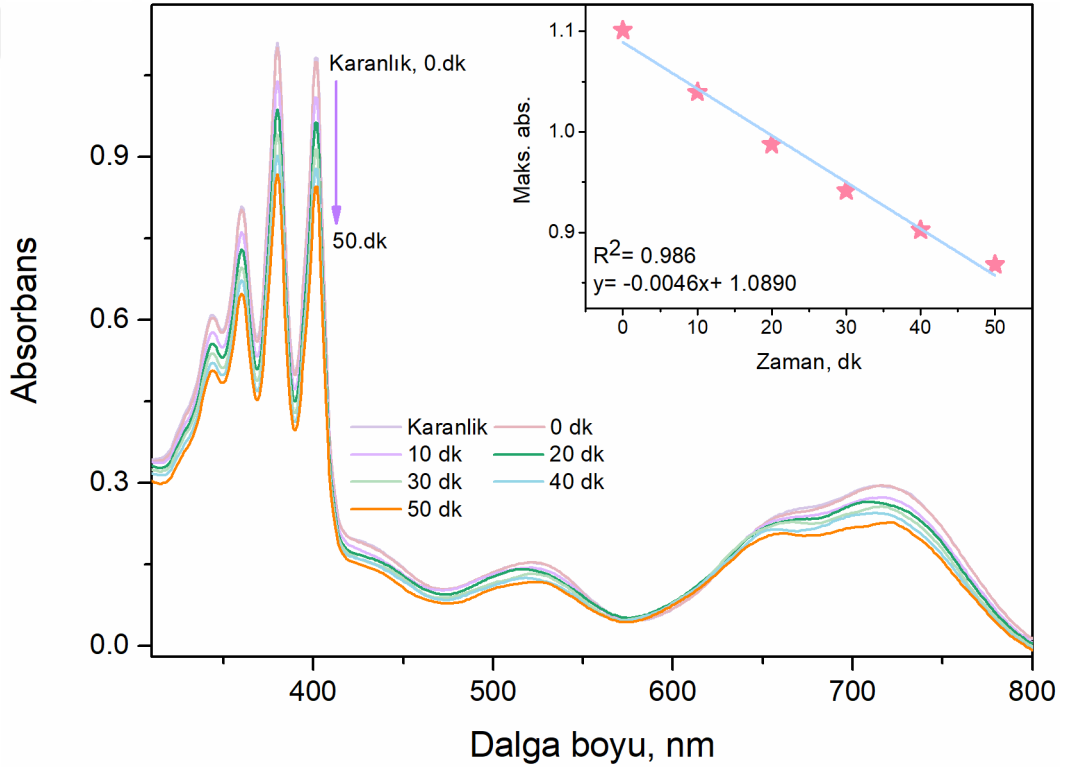
Tuzak molekülünün 414 nm' deki zamana bağlı absorbans değişim grafiği çizildi ve eğim -0,033 olarak hesaplandı. **GO-11**'in singlet oksijen kuantum verimi ilgili eşitliğe göre hesaplandı ve $\Phi_{\Delta}=0,69$ olarak hesaplandı.



Şekil 5.84: DPBF'in 2 µM GO-11 varlığında absorbans değişim ve DPBF'nin 414 nm'de zamana karşı absorbans düşüş grafikleri

GO-11 nanokompozitinin singlet oksijen ölçüm deneyi PBS:DMSO (99:1; v:v) içerisinde ve ADPA varlığında gerçekleştirildi. Maksimum absorbans dalga boyu 722 nm olarak bulunan **GO-11**'in 10,0 µM konsantrasyonda absorbans değeri yaklaşık 0,29'dur. Ölçüm kuvetine absorbans değeri yaklaşık 1,1 olacak şekilde tuzak molekül

ADBA ilave edildi. Ölçüm küveti 20 dakika boyunca ışıksız ortamda bekletildi ve tekrar absorbans ölçümü alındığında ADBA'ya ait 401, 380 ve 360 nm' deki absorbans değerinde bir değişiklik olmadığı görüldü. Bu ölçüm ile **GO-11** nanokompozitinin karanlık ortamda singlet oksijen üretmediği ve istenmeyen yan reaksiyonların oluşmadığı belirlendi. Daha sonra 660 nm'lik kırmızı LED ile uyarılarak her 10 dakikada bir absorbans ölçümü alındı ve her ölçümde tuzak molekülün absorbansının sistematik olarak azaldığı gözlemlendi (**Şekil 5.85**). Bu deneye 50. Dakikaya kadar devam edildi. Gözlenen bu düşüş **GO-11**'in sulu ortamda da singlet oksijen üretebildiğini göstermektedir. Tuzak molekülünün 380 nm' deki zamana bağlı absorbans değişim grafiği çizildi ve eğim -0,0046 olarak hesaplandı.



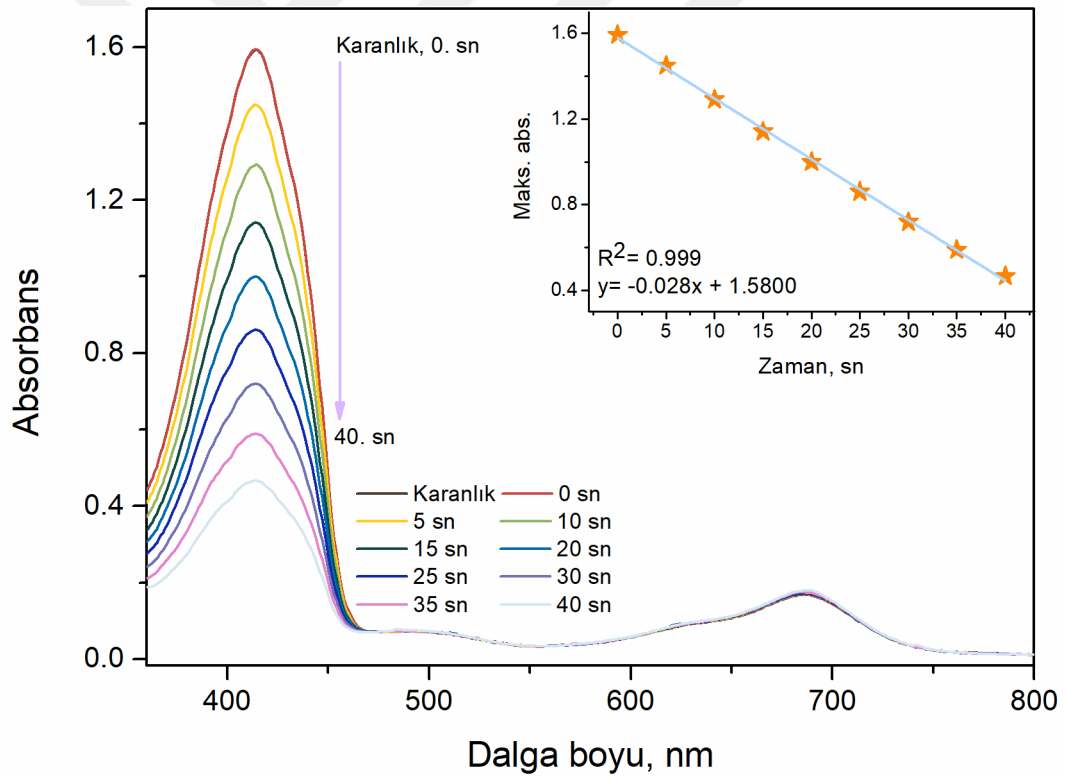
Şekil 5.85: ADBA'nın 10 µM GO-11 varlığında absorbans değişim ve ADBA'nın 380 nm' de zamana karşı absorbans düşüş grafikleri.

5.3.2.4 GO-12'nin Singlet Oksijen Ölçüm Deneyi

GO-12 nanokompozitinin singlet oksijen ölçüm deneyi diklorometan içerisinde ve DPBF varlığında gerçekleştirildi. Maksimum absorbans değeri 688 nm olarak bulunan **GO-12**'nin 2,0 µM konsantrasyonda absorbans değeri yaklaşık 0,17'dir. Ölçüm küvetine absorbans değeri yaklaşık 1,6 olacak şekilde tuzak molekül DPBF ilave

edildi. Ölçüm küveti 20 dakika boyunca ışıksız ortamda bekletildi ve tekrar absorbans ölçümü alındığında DPBF' ye ait 414 nm' deki absorbans değerinde bir değişiklik olmadığı görüldü. Bu ölçüm ile **GO-12**'nin karanlık ortamda singlet oksijen üretemediği belirlendi. Daha sonra 625 nm' lik kırmızı led ışık ile uyarılarak her 5 saniyede bir absorbans ölçümü alındı ve her ölçümde tuzak molekülün absorbansının sistematik olarak belirgin şekilde azaldığı gözlemlendi (**Şekil 5.86**) Bu deneye 40. Saniyeye kadar devam edildi. Tüm bu deney süresince **GO-12** nanokompozitinin 688 nm' deki absorbans değerinde bir değişiklik olmadığı yani **GO-12**'nin ışık varlığında bozulmadığı görüldü.

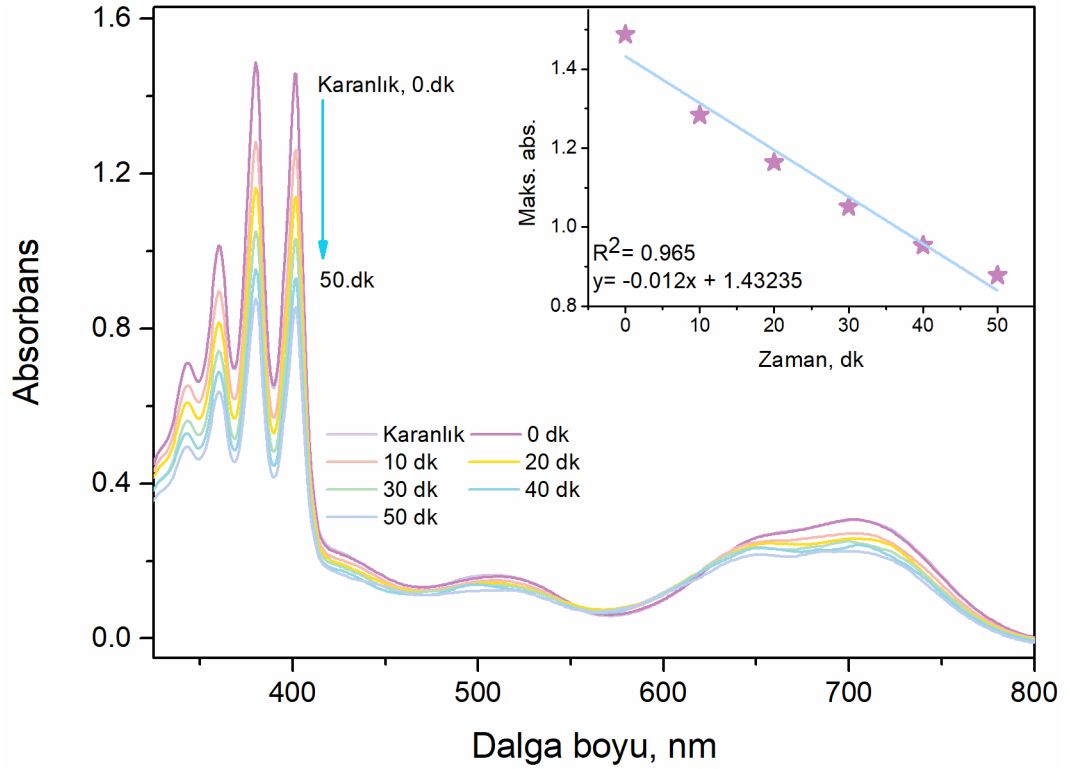
Tuzak molekülünün 414 nm' deki zamana bağlı absorbans değişim grafiği çizildi ve eğim -0,028 olarak hesaplandı. **GO-12** nanokompozitinin singlet oksijen kuantum verimi ilgili eşitliğe göre hesaplandı ve $\Phi_{\Delta} = 0,53$ olarak hesaplandı.



Şekil 5.86: DPBF'in 2 μ M bileşik GO-12 varlığında uyarılmasıyla absorbans değişim ve DPBF'nin 414 nm' de zamana karşı absorbans düşüş grafikleri

GO-12 nanokompozitinin singlet oksijen ölçüm deneyi PBS:DMSO (99:1; v:v) içerisinde ve ADPA varlığında gerçekleştirildi. Maksimum absorbans dalga boyu 710 nm olarak bulunan **GO-12**'nin 10,0 μ M konsantrasyonda absorbans değeri yaklaşık

0,30'dur. Ölçüm kuvetine absorbans değeri yaklaşık 1,5 olacak şekilde tuzak molekül ADBA ilave edildi. Ölçüm kuveti 20 dakika boyunca ışıksız ortamda bekletildi ve tekrar absorbans ölçümü alındığında ADBA'ya ait 401, 380 ve 360 nm'deki absorbans değerinde bir değişiklik olmadığı görüldü. Bu ölçüm ile **GO-12**'nin karanlık ortamda singlet oksijen üretmediği ve istenmeyen yan reaksiyonların oluşmadığı belirlendi. Daha sonra 660 nm'lik kırmızı LED ile uyarılarak her 10 dakikada bir absorbans ölçümü alındı ve her ölçümde tuzak molekülün absorbansının sistematik olarak azaldığı gözlemlendi (**Şekil 5.87**). Bu deneye 50. Dakikaya kadar devam edildi. Gözlenen bu düşüş **GO-12** nanokompozitinin sulu ortamda da singlet oksijen üretebildiğini göstermektedir. Tuzak molekülünün 380 nm'deki zamana bağlı absorbans değişim grafiği çizildi ve eğim -0,012 olarak hesaplandı.



Şekil 5.87: ADBA'nın 10 µM GO-12 varlığında uyarılmasıyla absorbans değişim ve ADBA'nın 380 nm'de zamana karşı absorbans düşüş grafikleri.

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu tez kapsamında, akıllı karbazol-BODIPY-glukoz (**11-12**) fotoduyarlaştırıcıları GO ile π - π , elektrostatik ve/veya hidrofobik etkileşimlerle kovalent olmayan metotla fonksiyonlandırılarak karbazol-BODIPY-GO nano platformlarının hazırlanması, yapılarının analiz edilmesi, fotofiziksel/ fotokimyasal özelliklerinin incelenmesi hedeflenmiştir. İlk olarak üzerinde proparjil (**1**) ve TEG-Br (**5**) antikanser ajanı olarak karbazol (**2**, **6**) bulunduran aldehit türevleri sentezlendi ve bu aldehitlerin başlangıç maddesi olarak kullanılmasıyla 2,4-dimetilpirol ile uygun şartlarda etkileştirilmesi sonucu BODIPY iskeletleri (**3-7**) elde edildi. Hazırlanan BODIPY türevlerinin (**3-7**) sistemler arası geçiş verimlerinin artırılması için **3-7**, I_2/HIO_3 ile 2 ve 6 pozisyonlarından fonksiyonlandırılarak diiyodo-BODIPY türevleri (**4-8**) hazırlandı. PDT'nin çalışma aralığında absorpsiyona sahip BODIPY bileşiklerinin hazırlanması için diiyodo-BODIPY türevleri (**4-8**), aldehit türevleri ile Knoevenagel kondenzasyonu şartlarında fonksiyonlandırılarak distiril-BODIPY türevleri (**9 ve 10**) sentezlendi. Kanseri hücrelerinde PS birikiminin etkili şekilde yapılabilmesi için glukoz (1-azido-1-deoksi- β -D-glukopiranosit tetraasetat) hedefleme aracı olarak belirlendi. **9 ve 10**'nolu distiril- BODIPY türevleri "klik" reaksiyonu şartlarında 1-azido-1-deoksi- β -D-glukopiranosit tetraasetat ile etkileştirilerek (**11 ve 12**)'nolu yeni distiril yapıları karbazol- BODIPY türevleri elde edildi. Yeni nesil grafen oksit temelli nanofotoduyarlaştırıcıların hazırlanması amacıyla **11 ve 12** no'lu triplet fotoduyarlaştırıcılar GO ile çözücü içerisinde ses dalgasına maruz bırakılarak etkileştirildi ve karbazol-BODIPY-GO nanoplatformları (**GO-11, GO-12**) elde edildi.

Tez kapsamında sentezlenen **1-10** bileşiklerinin yapıları ^1H , ^{13}C NMR ve MALDI-TOF ile; sonuç bileşiklerinin (**11 ve 12**) yapıları ise FT-IR, ^1H , ^{13}C NMR ve MALDI-TOF spektroskopik tekniklerinden elde edilen verilerle aydınlatıldı. Karbazol-BODIPY-GO nanokompozitlerinin (**GO-11, GO-12**) yapı karakterizasyonu FT-IR, Raman, EDX spektroskopisi ve morfolojik özellikleri TEM ve AFM görüntüleme teknikleriyle incelendi. Karbazol-BODIPY bileşiklerinin (**11-12**) ve karbazol-BODIPY-GO nanokompozitlerinin (**GO-11, GO-12**) fotofiziksel/ fotokimyasal özellikleri, UV-Vis absorpsiyon ve floresans emisyon spektroskopik teknikleri ile incelendi ve fotodinamik terapide potansiyel kullanımları açısından araştırıldı.

Karbazol-BODIPY ikili sistemlerinin (**11** ve **12**) ve karbazol-BODIPY-GO nanokompozitlerinin (**GO-11**, **GO-12**), floresans kuantum verimleri (Φ_F) 0,063, 0,078, 0,058 ve 0,081 olarak bulundu. Karbazol-BODIPY ikili sistemlerinin (**11-12**) ve Karbazol-BODIPY-GO nanokompozitlerinin (**GO-11**, **GO-12**), floresans ömürleri (τ_F) 1,73, 1,80, 1,73, ve 1,86 ns olarak belirlendi ve singlet oksijen üretme kapasiteleri (Φ_Δ) tuzak molekül olarak DPBF kullanılarak metilen mavisiyle karşılaştırmalı olarak hesaplandı ve 0,67, 0,52, 0,69 ve 0,53 olarak bulundu.

Elde edilen sonuçlar, sentezlenen karbazol-BODIPY bileşiklerinin (**11** ve **12**) ve bu bileşiklerden türetilen Karbazol-BODIPY-GO nanokompozitlerinin (**GO-11**, **GO-12**) yapısal ve foto fiziksel açıdan başarılı bir şekilde karakterize edildiğini göstermektedir. UV-Vis absorpsiyon ve floresans emisyon spektroskopisiyle yapılan analizlerde, bu sistemlerin görünür bölgedeki absorpsiyon ve emisyon özellikleri, ışığa duyarlı ajanlar olarak kullanılabilirliklerini desteklemektedir. Ölçülen floresans kuantum verimleri ve floresans ömürleri, özellikle biyo görüntüleme ve ışığa bağlı tedavi sistemleri açısından uygun değerlere işaret etmektedir. Ayrıca, singlet oksijen üretim kapasiteleri, PDT için etkin ROS üretilebildiğini kanıtlamaktadır.

Karbazol-BODIPY-GO nanokompozitlerinin GO yüzeyine immobilize edilmesiyle gözlenen fotokimyasal kararlılık ve singlet oksijen üretim verimliliği, bu nano platformların ışığa duyarlı terapilerdeki etkinliğini daha da artırmaktadır. Nitekim **GO-11** ve **GO-12** nanokompozitlerinin foto fiziksel parametreleri, bu sistemlerin yalnızca pasif taşıyıcılar değil, aynı zamanda ışıkla aktive olan terapötik ajanlar olarak da görev yapabileceğini göstermektedir.

Tüm bu veriler ışığında, geliştirilen Karbazol-BODIPY ve Karbazol-BODIPY-GO tabanlı nano platformlar, özellikle kanserin kemo-fotodinamik dual terapisi kapsamında umut vadeden adaylar olarak önerilmektedir. Hem hedefli ilaç taşıma sistemleri hem de ışığa bağlı sitotoksik etki mekanizmaları açısından, bu hibrit yapılar gelecekteki biyomedikal uygulamalara entegre edilebilir niteliktedir.

KAYNAKLAR

- [1] N. Phogat, M. Kohl, I. Uddin, and A. Jahan, (2018), "Interaction of Nanoparticles With Biomolecules, Protein, Enzymes, and Its Applications," in *Precision Medicine: Tools and Quantitative Approaches*, Elsevier, pp. 253–276.
- [2] J. E. Hulla, S. C. Sahu, and A. W. Hayes, (2015), "Nanotechnology: History and future," Dec. 01, SAGE Publications Ltd., 34, 12.
- [3] D. R. Dreyer, R. S. Ruoff, and C. W. Bielawski, (2010), "From conception to realization: An historical account of graphene and some perspectives for its future," **Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 49 (49), 9336–9344.
- [4] D. S. L. Abergel, V. Apalkov, J. Berashevich, K. Ziegler, and T. Chakraborty, (2010), "Properties of graphene: A theoretical perspective," 59 (4), 261–482.
- [5] A. Loudet and K. Burgess, (2007), "BODIPY dyes and their derivatives, Syntheses and spectroscopic properties," *Chem. Rev.*, 107 (11), 4891–4932.
- [6] V. E. Matulis, E. G. Ragoyja, and O. A. Ivashkevich, (2020), "Accurate theoretical prediction of optical properties of BODIPY dyes," *Int J Quantum* 120 (9).
- [7] W. Sheng, F. Lv, B. Tang, E. Hao, and L. Jiao, (2019), "Toward the most versatile fluorophore: Direct functionalization of BODIPY dyes via regioselective C–H bond activation," *Chinese Chemical Letters*, 30 (10), 1825–1833.
- [8] J. V. Grazulevicius, P. Strohriegel, J. Pielichowski, and K. Pielichowski, (2003), "Carbazole-containing polymers: Synthesis, properties and applications," *Prog. Polym. Sci.*, 28 (9), 1297–1353.
- [9] A. F. McDonagh, (2001), "Phototherapy: From Ancient Egypt to the New Millennium," *Journal of Perinatology*, 21 (1), 7–12.
- [10] P. Jarrett and R. Scragg, "A short history of phototherapy, (2017), Vitamin D and skin disease," *Photochemical and Photobiological Sciences*, 16 (3), 283–290.
- [11] H. Hönigsmann, (2013) "Phototherapy," *Journal of Investigative Dermatology*, 133, 18–20.
- [12] A. Grzybowski, J. Sak, and J. Pawlikowski, (2016) "A brief report on the history of phototherapy," *Clin Dermatol*, 34 (5), 532–537.
- [13] M. R. Hamblin, (2020), "Photodynamic Therapy for Cancer: What's Past Is Prologue," *Photochem. Photobiol.*, 96 (3), 506–516.

- [14] R. R. Allison, V. S. Bagnato, R. Cuenca, G. H. Downie, and C. H. Sibata, (2006), "The future of photodynamic therapy in oncology," *Future Oncol.*, 2 (1), 53–71.
- [15] S. Kwiatkowski et al., (2018), "Photodynamic therapy – mechanisms, photosensitizers and combinations," *Biomed. Pharmacother.*, 106, 1098–1107.
- [16] V. Ava and C. MDP De, (2022), "Photodynamic Therapy: An Overview and Insights into a Prospective Mainstream Anticancer Therapy," *JOTCSA*, 9 (3), 821–869.
- [17] A. Rodrigues and J. H. Correia, (2022), "Enhanced Photodynamic Therapy: A Review of Combined Energy Sources," *Cells*, 11, 3995.
- [18] H. Sies, C. Berndt, and D. P. Jones, (2017), "Oxidative stress," *Annu. Rev. Biochem.*, 86, 715–748.
- [19] S. G. Awuah, J. Polreis, V. Biradar, and Y. You, (2011), "Singlet oxygen generation by novel NIR BODIPY dyes," *Org Lett*, 13 (15), 3884–3887.
- [20] A. R. Politzer, G. W. Griffin, and J. L. Laseter, (1971) "Singlet oxygen and biological systems," *Chem.-Biol. Interact.*, 3 (2), 73–93.
- [21] Y. Nosaka and A. Y. Nosaka, (2017) "Generation and detection of reactive oxygen species in photocatalysis," *Chem. Rev.*, 117, 11302–11336.
- [22] P. S. Maharjan and H. K. Bhattarai, (2022) "Singlet oxygen, photodynamic therapy, and mechanisms of cancer cell death," *J. Oncol.*, 022, 7211485.
- [23] G. M. F. Calixto, J. Bernegossi, L. M. De Freitas, C. R. Fontana, M. Chorilli, and A. M. Grumezescu, (2016), "Nanotechnology-based drug delivery systems for photodynamic therapy of cancer: A review," *Molecules*, 21 (3), 342.
- [24] A. Michaeli and J. Feitelson, (1994) "Reactivity of singlet oxygen toward amino acids and peptides," *Photochemistry and Photobiology*, 59 (3), 284–289.
- [25] G. Ulrich, R. Ziessel, and A. Harriman, (2008), "The chemistry of fluorescent Bodipy dyes: Versatility unsurpassed," *Angew. Chem. Int. Ed.*, 47 (7), 1184–1201.
- [26] A. Treibs and F.-H. Kreuzer, (1968), "Difluorboryl-Komplexe von Di- und Tripyrrylmethenen," *Liebigs Ann. Chem.*, 718, 208–223.
- [27] A. Loudet and K. Burgess, (2007) "BODIPY dyes and their derivatives: Syntheses and spectroscopic properties," *Chem. Rev.*, 07 (11), 4891–4932.
- [28] R. Ziessel, G. Ulrich, and A. Harriman, (2007) "The chemistry of Bodipy: A new El Dorado for fluorescence tools," *New J. Chem.*, 31, 496.
- [29] N. Boens, V. Leen, and W. Dehaen, (2012) "Fluorescent indicators based on BODIPY," *Chem Soc Rev*, 41 (3), 1130–1172.

- [30] M. H. Chua et al., (2018), "BODIPY-Based Antiaromatic Macrocycles: Facile Synthesis by Knoevenagel Condensation and Unusual Aggregation-Enhanced Two-Photon Absorption Properties," *Chemistry - A European Journal*, 24 (9), 2232–2241.
- [31] L. Li, J. Han, B. Nguyen, and K. Burgess, (2008), "Syntheses and spectral properties of functionalized, water-soluble BODIPY derivatives," *Journal of Organic Chemistry*, 73 (5), 1963–1970.
- [32] S. Swavey, J. Quinn, M. Coladipietro, K. G. Cox, and M. K. Brennaman, (2017), "Tuning the photophysical properties of BODIPY dyes through extended aromatic pyrroles," *RSC Adv*, 7 (1), 173–179.
- [33] G. G. Luo, H. Lu, X. L. Zhang, J. C. Dai, J. H. Wu, and J. J. Wu, (2015), "The relationship between the boron dipyrromethene (BODIPY) structure and the effectiveness of homogeneous and heterogeneous solar hydrogen-generating systems as well as DSSCs," *Physical Chemistry Chemical Physics*, 17 (15), 9716–9729.
- [34] H. Lu, J. MacK, Y. Yang, and Z. Shen, (2022), "Structural modification strategies for the rational design of red/NIR region BODIPYs," *Int. J. Mol. Sci.*, 23 (23), 14511.
- [35] K. Chen et al., (2019), "Bodipy Derivatives as Triplet Photosensitizers and the Related Intersystem Crossing Mechanisms," *Frontiers in Chemistry*, 7, 821.
- [36] A. K. Geim, (2009), "Graphene: Status and prospects," *Science*, 324, 1530–1534.
- [37] P. R. Wallace, (1947) "The Band Theory of Graphite," *Physical Review*, 71 (9), 622–634.
- [38] K. S. Novoselov et al., (2004), "Electric field effect in atomically thin carbon films," *Science*, 306, 666–669.
- [39] A. K. Geim and K. S. Novoselov, (2007), "The rise of graphene," *Nature Materials*, 6, (3), 183–191.
- [40] A. H. Castro Neto, F. Guinea, N. M. R. Peres, K. S. Novoselov, and A. K. Geim, (2009), "The electronic properties of graphene," *Rev Mod Phys*, 81, (1), 109–162, Jan.
- [41] A. King, G. Johnson, D. Engelberg, W. Ludwig, and J. Marrow, (2008), "Observations of intergranular stress corrosion cracking in a grain-mapped polycrystal," *Science* vol. 321, 382–385.
- [42] A. A. Balandin et al., (2008), "Superior thermal conductivity of single-layer graphene," *Nano Lett*, 8 (3), 902–907.
- [43] R. R. Nair et al., (2008), "Fine structure constant defines visual transparency of graphene," *Science* (1979), 320, 5881.

- [44] F. Bonaccorso, Z. Sun, T. Hasan, and A. C. Ferrari, (2010), "Graphene photonics and optoelectronics," *Nat Photonics*, 4 (9), 611–622.
- [45] Y. Zhang, Y. W. Tan, H. L. Stormer, and P. Kim, (2005), "Experimental observation of the quantum Hall effect and Berry's phase in graphene," *Nature*, 438, 201–204.
- [46] L. Li, L. Zhao, J. Ma, Y. Tian, and Y. Tian, (2020), "Preparation of graphene oxide/chitosan complex and its adsorption properties for heavy metal ions," *Green Processing and Synthesis*, 9 (1), 294–303.
- [47] X. Zhang et al., (2021), "Magnetic graphene-based nanocomposites as highly efficient absorbents for Cr(VI) removal from wastewater," *Environmental Science and Pollution Research*, 28 (12), 14671–14680.
- [48] S. Z. N. Ahmad, W. N. Wan Salleh, A. F. Ismail, N. Yusof, M. Z. Mohd Yusop, and F. Aziz, (2020) "Adsorptive removal of heavy metal ions using graphene-based nanomaterials: Toxicity, roles of functional groups and mechanisms," *Elsevier Ltd.*, 73,28.
- [49] D. Zhang et al., (2022), "Highly Efficient and Stable Blue Organic Light-Emitting Diodes based on Thermally Activated Delayed Fluorophor with Donor-Void-Acceptor Motif," 9 (12).
- [50] H. J. Knölker and K. R. Reddy, (2002) "Isolation and synthesis of biologically active carbazole alkaloids," *Chem Rev* 102 (11), 4303–4427.
- [51] N. Campbell and B. M. Barclay, (1964), "Recent advances in the chemistry of carbazole," *Chemical Reviews*, 64 (3), 317–352.
- [52] K. R. Justin Thomas, J. T. Lin, Y. T. Tao, and C. W. Ko, (2001), "Light-emitting carbazole derivatives: Potential electroluminescent materials," *J Am Chem Soc*, 123 (38), 9404–9411.
- [53] H. Eserci Gürbüz, E. Öztürk Gündüz, Ü. Büyükpolat, and E. Okutan, (2025) "NDI-BODIPY-graphene oxide nanosized photocatalysts for LED irradiated organic synthesis," *New Journal of Chemistry*, 49 (1) ,18–27.
- [54] R. Ledezma et al., (2025) "BODIPY-carbazole multichromophoric systems for green LED-assisted photodynamic therapy of breast cancer: synthesis, optoelectronic properties, DFT and antitumor studies," *New Journal of Chemistry*, 23.
- [55] G. Reina, G. M. Beneventi, R. Kaur, G. Biagiotti, A. Cadranel, C. Ménard-Moyon, Y. Nishina, B. Richichi, D. M. Guldi, and A. Bianco, (2023), "Graphene oxide–BODIPY conjugates as highly fluorescent materials," *Chemistry – A European Journal*, 29, 31.

ÖZGEÇMİŞ

Ümmügölsüm BÜYÜKPOLAT 2022 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Temel Bilimler Faköltei Kimya Bölümü'nde lisans eğitimini bölüm derecesi ile tamamladı. 2022 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Kimya Bölümü'nde yüksek lisans eğitime Prof. Dr. Elif OKUTAN danışmanlığında yapmaya başladı. 2022 yılından bu yana lisansüstü eğitime Gebze Teknik Üniversitesi Kimya Bölümü'nde devam etmektedir.



TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN SUNUMLAR

Ümmügülsüm B., Ezel Öztürk G., Elif O., (2024) "Glycosylated Carbazole-BODIPY-GO Nanocomposites for Targeted Photodynamic Therapy" 26th JCF Spring Symposium, P40, Ulm, Almanya, 13-16 Mart.

