

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**METANOL ORTAMINDA KUMARİN 35 İLE PYRONİN  
BİLEŞİKLERİ ARASINDAKİ FLORESANS ENERJİ  
TRANSFERİNİN İNCELENMESİ**

Mahmut TOPRAK

KİMYA ANABİLİM DALI

ERZURUM

2006

Her hakkı saklıdır

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### **METANOL ORTAMINDA KUMARİN 35 İLE PYRONİN BİLEŞİKLERİ ARASINDAKİ FLORESANS ENERJİ TRANSFERİNİN İNCELENMESİ**

MahmutTOPRAK

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kimya Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr.Mustafa ARIK

Bu tez çalışmasında metanol ortamında kumarin 35 ile pyronin Y ve pyronin B arasındaki floresans enerji transferi incelendi. Bu çalışmada kumarin 35 donör molekülü olup pyronin B ve pyronin Y akseptör molekülleridir.

Floresans enerji transferinde önemli bir şart olan donörün emisyon spektrumu ile akseptörün absorban spektrumlarının örtüşmesi her iki molekül çifti için iyi bir oranda meydana geldi. Kumarin35 konsantrasyonu sabit tutulup, farklı pyroninB konsantrasyonlarında alınan emisyon spektrumlarında, kumarin 35'e ait floresans bandının şiddetinde bir azalma ve pyroninB'ye ait floresans bandının şiddetinde bir artma gözlemlendi. Kumarin 35-pyronin Y molekül çifti içinde benzer olaylar gözlemlendi. Gerçekleşen bu floresans enerji transferi Stern-Volmer eşitliğine ve Förster teorisine göre tartışıldı. Förster teorisine göre hesaplanan Förster mesafesi ( $R_0$ ) ve enerji transfer verimliliği, her iki molekül çifti için yakın değerler bulundu.

**2006, 43**

**Anahtar Kelimeler:** Kumarin35, pyronin bileşikleri, Förster teorisi, enerji transferi

## **ABSTRACT**

Master Thesis

### **AN INVESTIGATION OF FLUORESCENCE ENERGY TRANSFER BETWEEN COUMARIN 35 AND PYRONIN DYES IN METHANOL**

Mahmut TOPRAK

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Chemistry

Supervisor: Assis.Prof.Dr. Musatafa ARIK

In this study, fluorescence energy transfer between pairs of Coumarin 35 and Pyronin dyes were investigated. Here, Coumarin 35 is a donor molecule and Pyronin dyes are acceptor molecules.

The spectral overlap between emission spectra of donor and absorption spectra of acceptor that is very important for the fluorescence energy transfer was occurred by a good ratio for pairs of Coumarin 35 and Pyronin dyes (Pyronin B and Pyronin Y). In constant Coumarin 35 concentration, fluorescence intensity of Coumarin 35 was decreased with increased Pyronin B concentration and intensity of a new emission band which belongs to Pyronin B in 560 nm was increased at the same time. This situation was the same for pairs of Coumarin 35 and Pyronin Y.

The fluorescence energy transfer was discussed in terms of Stern-Volmer equation and theory of Förster. The Förster distance ( $R_0$ ) and efficiency of energy transfer calculated by Förster's theory were similar for both pairs of Coumarin 35-Pyronin B and of Coumarin 35-Pyronin Y.

**2006, 43**

**Keywords:** Coumarin 35, pyronin dyes, Förster theory, energy transfer

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum bu alışma, Atatürk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakóltesi Kimya Bölümünde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmalarımın her aşamasında desteğini esirgemeyen, bilgi ve birikimlerinden faydalandığım çok değerli tez hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Mustafa ARIK'a derin minnet ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım çok değerli hocam Sayın Prof.Dr. Yavuz ONGANER'e teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında her türlü imkanı sağlayan Atatürk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakóltesi Dekanı Sayın Prof.Dr. Ümit DEMİR'e ve Kimya Bölümü Başkanı Sayın Prof.Dr. Hasan SEÇEN'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince ilgili yardımlarından dolayı Sayın Arş.Gör.Kadem MERAL'e, Sayın Burcu Meryem AYDIN'a ve tüm Kimya Bölümü elemanlarına teşekkür ederim.

Bu tez çalışmam süresince maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen çok değerli aileme derin minnet ve şükranlarımı sunarım.

Mahmut TOPRAK

Ağustos 2006

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ.....</b>	<b>17</b>
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEMLER.....</b>	<b>21</b>
3.1. Kullanılan kimyasal maddeler.....	21
3.2. Kullanılan alet ve cihazlar.....	21
3.3. Numunelerin hazırlanması.....	21
3.4.1 Floresans ve absorpsiyon spektrumlarının alınması ve absorbans ölçümleri.....	22
3.4.2 Kuantum veriminin hesaplanması.....	22
3.4.3 Floresans ömür ölçümleri.....	23
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....</b>	<b>25</b>
<b>5. SONUÇ.....</b>	<b>40</b>
KAYNAKLAR.....	41
ÖZGEÇMİŞ.....	44

## SİMGELER DİZİNİ

$k_q$	Bimoleküler Dinamik Kuençleşme Sabiti
$\tau$	Kuençırın Ortamda Olmadığı Andaki Floresans Ömrü
$K_{sv}$	Dinamik Stern-Volmer hız sabiti
$\phi_f$	Floresans Kuantum Verimi
OD	Optik Yoğunluk
n	Kırılma İndisi
$K_a$	Bire Bir Kompleks Oluşturma Sabiti
J	Donor-Akseptör Örtüşme Alanı İntegrali
$\phi_D$	Ortamda Akseptörün Bulunmadığı Andaki Donorun Kuantum Verimi
r	Donor ile Akseptör Arasındaki Uzaklık
$\tau_D$	Ortamda Akseptör Bulunmadığı Andaki Floresans Ömrü
N	Avagadro Sayısı
$R_0$	Förster Mesafesi
$k_f$	Floresans Durulma (decay) Oranı
$\tau_{DA}$	Ortamda Akseptör Olduğu Andaki Floresans Ömrü
$\epsilon_{ad}$	Akseptör ve Donor İçeren Numunede Akseptörün Absorpsiyonu
$\epsilon_{da}$	Donor ve Akseptör İçeren Numunedeki Donorun Absorpsiyonu
$I_{ad}$	Donor ve Akseptör İçeren Numunedeki Akseptörün Floresans Şiddeti
$I_a$	Aseptörün Donorsuz Ortamdaki Floresans Şiddeti
$\lambda$	Dalga Boyu
$\Phi_r$	Referansın Kuantum Verimi
$D_s$	Numunenin Düzeltilmiş Floresans Spektrumu Altındaki Alan
$D_r$	Referansın Düzeltilmiş Floresans Spektrumu Altındaki Alan
$OD_s$	Numunenin Uyarılma Dalga Boyunda Ölçülen Optik Yoğunluğu
$n_s$	Numunenin Bulunduğu Ortamın Kırılma İndisi
$n_r$	Referansın Bulunduğu Ortamın Kırılma İndisi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Elektromanyetik radyasyonun dalga hareketi.....	1
Şekil 1.2. Jablonski diyagramı.....	3
Şekil 1.3 Monomoleküler deaktivasyon prosesleri.....	6
Şekil 1.4 Bimoleküler deaktivasyon prosesleri .....	6
Şekil 1.5 Enerji transfer prosesinin temsili gösterimi.....	9
Şekil 1.6 Enerji transferinde donör ve akseptör arasındaki mesafenin önemini gösteren şekil.....	10
Şekil 1.7 Donör ve akseptör molekülünün spektral örtüşmesi.....	11
Şekil 1.8 Förster mesafesini gösteren temsili grafik.....	13
Şekil 1.9 Kumarin 35 molekülünün kimyasal yapısı.....	15
Şekil 1.10 Pyronin Y ve Pyronin B bileşiklerinin kimyasal yapısı.....	16
Şekil 3.1 Stroboskopik tekniğin şematik gösterimi.....	23
Şekil 3.2 Dedektör veri kaydetmesinin şematik gösterimi.....	24
Şekil 4.1 Kumarin 35'in metanol ortamında normalize edilmiş absorpsiyon ve emisyon spektrumları.....	25
Şekil 4.2 Pyronin B bileşiğinin metanol ortamındaki normalize edilmiş absorpsiyon ve floresans spektrumları.....	26
Şekil 4.3 Pyronin Y bileşiğinin metanol ortamındaki normalize edilmiş absorpsiyon ve floresans spektrumları.....	27
Şekil 4.4 Kumarin 35'in metanol ortamındaki floresans şiddetindeki azalmanın zamana bağımlılığı.....	28
Şekil 4.5 Pyronin B'nin metanol ortamındaki floresans şiddetindeki azalmanın zamana bağımlılığı.....	28
Şekil 4.6 Pyronin Y'nin metanol ortamındaki floresans şiddetindeki azalmanın zamana bağımlılığı.....	29
Şekil 4.7 Metanol ortamında kumarin 35 ile pyronin B molekül çiftlerinin spektral örtüşmesi .....	30
Şekil 4.8 Metanol ortamında kumarin 35 ile pyronin Y molekül çiftlerinin spektral örtüşmesi.....	31
Şekil 4.9 Metanol ortamında $1,0 \times 10^{-6}$ M Kumarin 35'in artan pyronin Y	

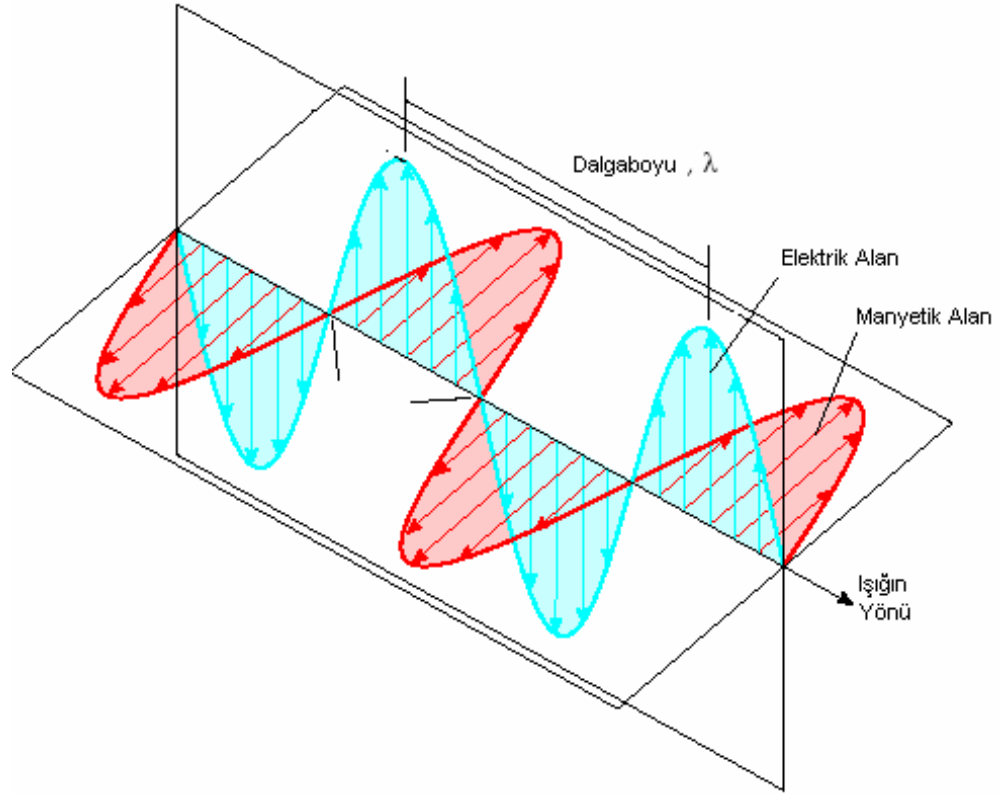
konsantrasyonlarında alınmış düzeltilmiş floresans spektrumları.....	32
Şekil 4.10 Metanol ortamında $1,0 \times 10^{-6}$ M Kumarin 35'in artan pyronin B konsantrasyonlarında alınmış düzeltilmiş floresans spektrumları.....	33
Şekil 4.11 Metanol ortamında kumarin 35'in pyronin Y'nin artan konsantrasyonuna karşı çizilmiş Stern-Volmer grafiği.....	34
Şekil 4.12 Metanol ortamında kumarin 35'in pyronin B'nin artan konsantrasyonuna karşı çizilmiş Stern-Volmer grafiği.....	34
Şekil 4.13 Metanol ortamında kumarin 35-pyronin Y molekül çifti için enerji transfer verimliliği.....	36
Şekil 4.14 Metanol ortamında kumarin 35-pyronin B molekül çifti için enerji transfer verimliliği.....	37
Şekil 4.15 Artan pyronin B konsantrasyonuna karşı metanol ortamında alınmış kumarin 35- pyronin B molekül çiftinin düzeltilmiş floresans spektrumu.....	38
Şekil 4.16 Artan pyronin Y konsantrasyonuna karşı metanol ortamında alınmış kumarin 35- pyronin Y molekül çiftinin düzeltilmiş floresans spektrumu.....	39

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 25° C’de çalışılan bileşiklerin metanol ortamındaki bazı fotofiziksel özellikleri.....	29
Çizelge 4.2 Kumarin 35’in metanol ortamında değişik pyronin Y ve pyronin B konsantrasyonlarındaki floresans kuantum verimleri.....	35
Çizelge 4.3 Metanol ortamındaki enerji transfer parametreleri.....	37

## 1.GİRİŞ

Enerji transferi üzerine araştırma çalışmaları son yıllarda oldukça yaygın bir şekilde sürdürülmektedir. Enerji transferinin temelini, ışığın madde ile etkileşimi oluşturduğundan, ışığın yapısının iyi bilinmesi gerekmektedir. Işık sinüsoidal harekete sahip olup birbirine dik elektrik ve manyetik alan vektörlerinden oluşur. Işığın dalga hareketi yanında tanecik özelliğine de sahip olduğu, Planck'ın siyah cisim ışıması olayı ve daha sonra Einstein'ın fotoelektrik olayı ile ispatlanmıştır. Işığın yani elektromanyetik radyasyonun bileşenleri temsili olarak aşağıda Şekil 1.1'de verilmiştir.



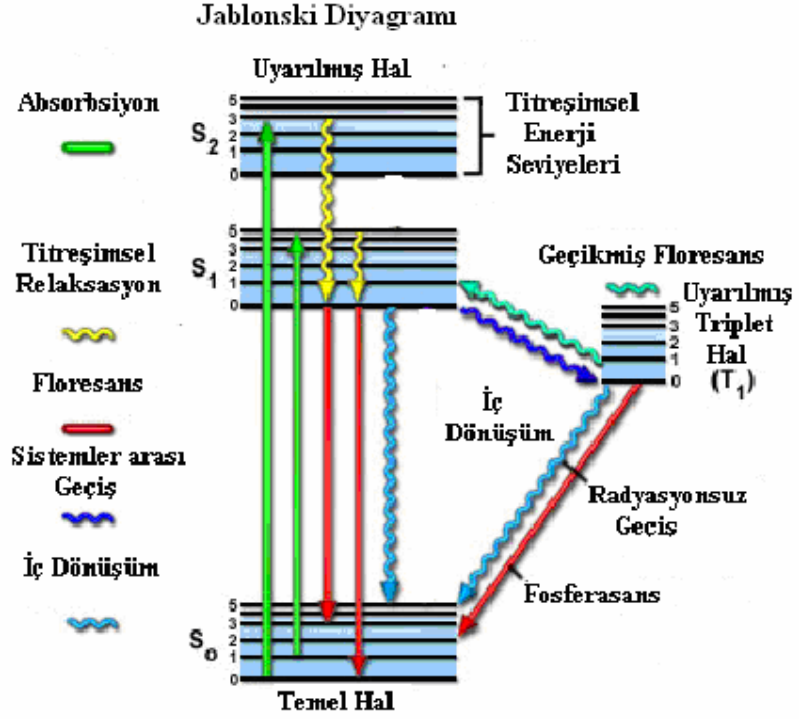
Şekil 1.1 Elektromanyetik Radyasyonun Dalga Hareketi

Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşimini inceleyen bilim dalı Spektroskopi olarak adlandırılır. Bir molekülün elektromanyetik radyasyonu absorplaması sonucu ilgili molekülün öteleme, dönme, titreşim ve elektronik uyarılma hallerinin oluşmasına sebep olur. Fakat her molekül her dalga boyundaki ışıkla etkileşmez.

Elektromanyetik radyasyonun molekül ile etkileşmesi için ışığın elektrik alan vektörüyle ilgili molekülün dipol moment vektörünün çakışması gerekir. Şayet ışığın elektrik alan vektörü ile ilgili molekülün dipol momenti örtüşürse bunun sonucunda bir absorpsiyon gerçekleşir.

Absorpsiyon sonucu molekülün valans elektronu temel halden uyarılmış elektronik enerji seviyesine geçer. Bu uyarılmış enerji seviyeleri titreşim enerji seviyelerine; titreşim enerji seviyeleri de rotasyonel enerji seviyelerine yarıldığından, bu uyarılma herhangi bir titreşim ya da rotasyonel enerji seviyesine olabilir.

Elektromanyetik radyasyon absorpsiyonu sonucu uyarılmış hale geçen molekülün, uyarılmış halden temel hale geçmesi için takip edeceği iki yol vardır. Bunlardan birincisi ışımsız bir geçiş olup, sistem uyarılma enerjisini çevresiyle etkileşmesi sonucu ısı şeklinde verir. Bu ısı ortamın sıcaklığını arttıracak kadar olmayıp sadece moleküllerin kinetik enerjilerini artırır. İkincisi ise uyarılma enerjisinin dışarıya ışımaya şeklinde verilmesi olarak bilinen lüminesans olayıdır. Lüminesans, temel halin ve uyarılmış halin elektronik yapısına göre floresans ve fosferasans olarak gerçekleşir. Floresans, singlet uyarılmış halden singlet temel hale, fosferasans ise triplet uyarılmış halden singlet temel hale olan ışımaya geçişleri temsil etmektedir. Molekülün elektromanyetik radyasyonu absorplaması sonucu oluşacak fotofiziksel prosesler Şekil 1.2 de Jablonski diyagramında gösterilmiştir.



**Şekil 1.2** Jablonski Diyagramı

Diyagramda;  $S_0$  singlet temel hali,  $S_1$  uyarılmış 1. singlet elektronik enerji seviyesini,  $S_2$  singlet ikinci uyarılmış hali ve  $T_1$  ise triplet uyarılmış hali temsil etmektedir. Temel ve uyarılmış halde 0, 1, 2, 3,... ile tanımlanan çizgiler titreşimsel enerji seviyelerini göstermektedir.

Jablonski diyagramında gösterilen basamaklar kısaca özetlenecek olursa:

Absorbsiyon, singlet temel halden ( $S_0$ ) singlet uyarılmış herhangi bir hale ( $(S_1^*)$  veya ( $S_2^*$ )) olan elektronik bir geçiştir. Bu olay yaklaşık  $10^{-15}$  s gibi kısa bir zaman diliminde gerçekleşmektedir. Franck-Condon prensibine göre bu süre içerisinde çekirdeğin yer değiştirmesi önemsenmeyecek kadar az olduğundan, molekülün temel halinin geometrik yapısı yaklaşık olarak ilk uyarılmış halin geometrik yapısıyla aynıdır. Bu geçiş spektroskopik olarak müsaade edilen geçiştir. Singlet temel halden triplet

uyarılmış hale elektronik geçiş ise fotofiziksel olarak yasaklı bir geçiştir. Sistem triplet uyarılmış hale ancak singlet uyarılmış halden geçiş yapar.

Floresans: Bu olay müsaade edilen bir elektronik geçiş basamağı olup, sistem singlet uyarılmış halden singlet temel hale döner, ve ışıklı bir geçiştir. Floresans  $10^{-8}$  s veya  $10^{-9}$  s gibi kısa bir sürede meydana gelmektedir.

Fosforesans: Bu olay triplet uyarılmış halden singlet temel hale ışıklı bir geçiştir. Fosforesansda elektron triplet uyarılmış halden singlet temel hale geçerken spin değiştirmektedir. Bu nedenle bu geçiş fotofiziksel olarak spin bakımından yasaklı bir geçiştir. Spin-orbit kapling olayı fosforesansın oluşmasında temel teşkil eden bir prosedir. Bu da molekülün geometrisine bağlı olup, molekülde bulunan bazı ağır atomların etkisiyle gerçekleşir. Fosforesans  $10^{-4}$  ile 1 saniyelik zaman aralığında meydana gelir.

İç Dönüşüm: Bu proses radyasyonsuz bir şekilde gerçekleşmektedir. Bu olay uyarılmış enerji seviyelerinin titreşimsel enerji seviyeleri arasında olabileceği gibi, sistem uyarılmış halden temel hale de geçebilir. Sistem almış olduğu uyarılma enerjisini dışarıya ısı şeklinde vermektedir. Ancak bu ısı sistemin sıcaklığını değiştirecek kadar fazla olmayıp moleküllerin kinetik enerjilerinde artışa sebep olmaktadır. İç dönüşüm olayı yaklaşık  $10^{-12}$  s'lik bir zamanda meydana gelir. Bu olaya izomerleşme özelliği olan veya rezonans halleri bulunan bileşiklerde rastlanır.

Titreşimsel Relaksasyon: Elektronik enerji seviyeleri titreşim enerji seviyelerine bunlar da rotasyonel enerji seviyelerine yarılmıştır. Sistem uyarıldığı zaman molekül uyarılmış enerji seviyesindeki herhangi bir titreşimsel enerji seviyesine çıkar. Temel hale dönmek için uyarılmış enerji seviyesindeki en düşük titreşim enerji seviyesine gelmek zorundadır. Bu olay ışısız meydana gelmekte olup sistem enerjisini etrafındaki diğer moleküllerle veya çözücü molekülleriyle çarpışarak harcar.

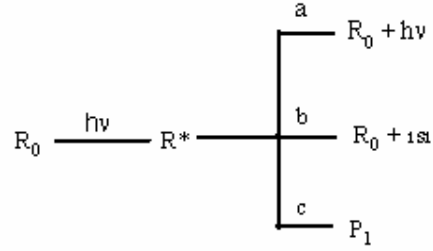
Sistemler Arası Geçiş: Singlet uyarılmış halden triplet uyarılmış hale ya da triplet uyarılmış halden singlet uyarılmış hale geçiş olayıdır. Bu olayın olabilmesi için her iki halin titreşim enerji seviyelerinin çakışması gerekmektedir.

Gecikmiş Floresans: Gecikmiş floresans normal floresansa göre daha uzun zamanda meydana gelip oluşum şekline göre kendi arasında da ikiye ayrılmaktadır.

E-Türü Gecikmiş Floresans: Temel halden singlet uyarılmış hale çıkan molekül, sistemler arası geçişle triplet uyarılmış hale geçer. Bu anda sistemin sıcaklığı artırılırsa triplet uyarılmış haldeki molekül tekrar (ancak bunun için uyarılmış singlet ve triplet hallerin titreşim enerji seviyelerinin çakışması gerekir) singlet uyarılmış hale geri döner. Sonuçta singlet uyarılmış halden tekrar singlet temel hale ışımali bir geçiş yapar. Bu olaya E- Türü gecikmiş floresans denir.

P-Türü Gecikmiş Floresans: Bu tür floresansta molekül singlet uyarılmış halden sistemler arası geçişle triplet uyarılmış hale dönüşür. Bu olaydan sonra triplet uyarılmış haldeki moleküllerin birbirleriyle etkileşmesi sonucu enerjilerini birbirlerine aktararak bazı triplet uyarılmış haldeki moleküller tekrar singlet uyarılmış hale çıkarken, enerjisini birbirine transfer eden triplet haldeki moleküller ışımsız biçimde singlet temel hale döner. Singlet uyarılmış haldeki moleküller ise ışımali bir biçimde temel hale dönerler. Bu olaya P-Türü gecikmiş floresans denilmektedir.

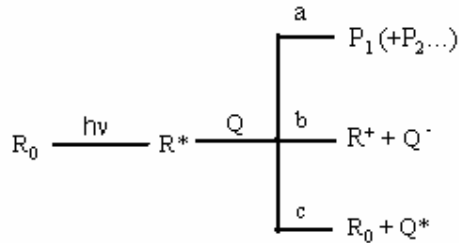
Jablonski diyagramından şimdiye kadar anlattığımız prosesler elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşmesiyle oluşan fotofiziksel deaktivasyon proseslerdir. Fotofiziksel proseslerin yanısıra elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşmesi fotokimyasal proseslere de sebep olmaktadır. Fotokimyasal prosesler genellikle uyarılmış hal üzerinden gerçekleşmektedir. Fotokimyasal ve fotofiziksel prosesler monomoleküler ve bimoleküler olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir. Monomoleküler olarak gerçekleşen prosesler temsili olarak Şekil 1.3 de verilmiştir



**Şekil 1.3** Monomoleküler deaktivasyon prosesleri

Şekildeki deaktivasyon proseslerinde a ve b prosesleri fotofiziksel olup, c ise fotokimyasal bir prosesdir. Şekildeki ( $R_0$ ) temel haldeki molekülü, ( $R^*$ ) uyarılmış haldeki molekülü, ( $P_1$ ) ise uyarılma sonucu oluşan herhangi bir ürünü temsil etmektedir.

Burada a ve b prosesleri daha önce detaylı bir şekilde açıklamış olduğumuz floresans ve iç dönüşüm olaylarını temsil etmektedir. Temel haldeki bir molekül ( $R_0$ )  $h\nu$  enerjisiyle uyarıldıktan sonra  $R^*$  uyarılmış hal oluşur. Molekül bundan sonra  $P_1$  gibi farklı bir ürüne dönüşmektedir. Eğer ortamda ilgilenilen türün dışında başka bir molekül varsa bu defa bimoleküler prosesler gerçekleşecektir. Bimoleküler prosesler de temsili olarak Şekil 1.4’de verilmiştir.



**Şekil 1.4** Bimoleküler deaktivasyon prosesleri

Şekilde a, b ve c harfleriyle simgelenen bimoleküler deaktivasyon prosesleri sırasıyla açıklanacak olursa:

a- Uyarılmış halde gösterilen  $R^*$  molekülü ortamda temel halde bulunan Q molekülüyle etkileşerek bir ürüne dönüşmektedir ( $P_1$  gibi). Burada tek bir ürün olabileceği gibi  $P_1+P_2 \dots$  birden fazla ürün oluşabilir .

b- Uyarılmış haldeki  $R^*$  molekülü ortamda bulunan Q molekülüne elektron vererek  $R^+$  ve  $Q^-$  hallerinin oluşmasına sebep olabilir.

c- Uyarılmış halde bulunan  $R^*$  molekülü almış olduğu elektronik uyarılma enerjisini temel halde bulunan Q molekülüne transfer ederek, kendi temel hale ışımsız bir biçimde dönerken, Q molekülünün uyarılmasına neden olur. Bu olaya kuençleşme denilmektedir. Ayrıca;  $R^*$  molekülünün elektronik uyarılma enerjisini Q molekülüne aktarması olayı enerji transferi olarak tanımlanabilir.

Kuençleşme ilk olarak biyokimyasal problemlerde 1960'lı yılların sonlarında uygulanmaya başlanılmıştır. Kuençleşme olayları miktarı az olan, bozulmayan, katkılı veya katkısız floresans problemleri içeren numunelerde kolaylıkla gerçekleştirilebilir ve bu reaksiyonlardan son derece önemli bilgiler elde edilebilir. Örneğin; kuençleşme reaksiyonlarında oksijen ( $O_2$ ), akridin gibi kuenççirler kullanılarak makromoleküllerin yapısındaki floresans gruplarının yerleri hakkında bilgi elde edilebilir. Kuençleşme reaksiyonları, değişik şartların neden olabildiği her yapı değişiminde ya da tomografik bir makromolekülün özelliklerini belirlemede kullanılabilir (Lakowicz 2002).

Bu tez çalışmasındaki amacımız; donör-akseptör molekülleri arasındaki floresans enerji transferinin incelenmesi ve Förster kinetiğine göre tartışılmasıdır. Ayrıca enerji transferi Stern-Volmer denklemiyle de tartışılacaktır.

Bimoleküler kuençleşme olayında iki molekül arasındaki etkileşim temel esastır. Bu moleküller arasında difüzyon sonucu çarpışmalar ve bu çarpışmalar sonucunda moleküller arasında bir foton absorpsiyonu meydana geliyorsa, moleküllerden biri uyarılmış hale geçerken diğer molekül ise temel hale ışımaz bir şekilde döner. Bu olaya dinamik kuençleşme denilmektedir.

Florofofor ile kuençir çarpıştıktan sonra floresans özelliği olmayan bir kompleks meydana geliyorsa, bu şekilde meydana gelen kuençleşme olayına da statik kuençleşme denilmektedir.

Dinamik kuençleşme için Stern-Volmer denklemi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$I_0 / I = 1 + K_{sv}[Q] \quad 1.1$$

Bu denklemde  $I_0$ , ortamda kuençirin bulunmadığı andaki,  $I$  ise ortamda kuençirin bulunduğu andaki floresans şiddeti ve  $[Q]$  ise kuençir konsantrasyonudur.  $K_{sv} = k_q \cdot \tau$  olup dinamik Stern-Volmer hız sabitini temsil etmektedir.  $k_q$  bimoleküler dinamik kuençleşme sabiti,  $\tau$ , kuençirin ortamda olmadığı andaki floresans ömrüdür (Lakowicz 1983).

Statik kuençleşmede ise Stern-Volmer denklemi

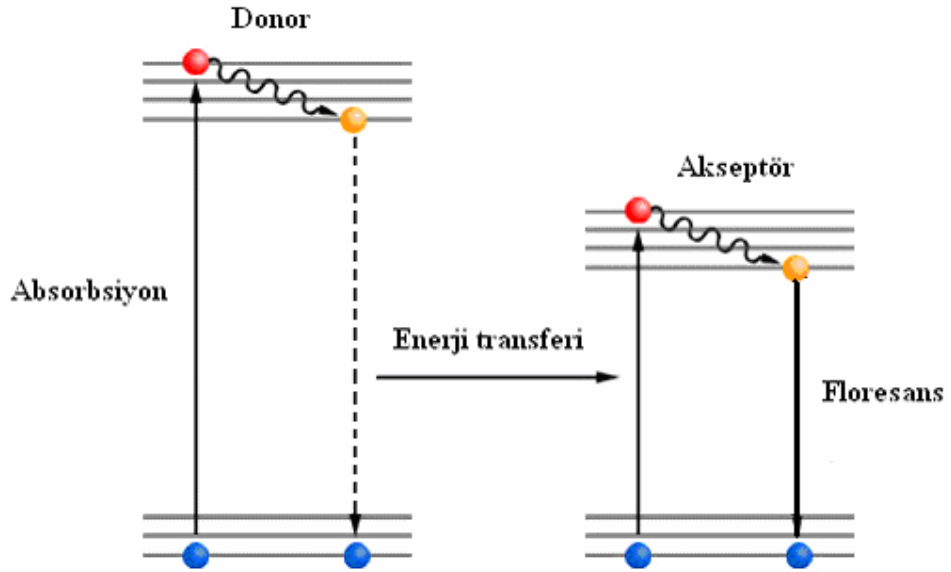
$$I_0 / I = (1 + K_{sv}[Q])(K_a[Q]) \quad 1.2$$

şeklindedir. Burada  $K_a$  kompleks oluşma sabitidir (Lakowicz 2002).

Stern-Volmer denklemi ayrıca enerji transfer etkinliği hakkında bilgi vermektedir. Bu aşamada çalışmanın konusunu oluşturan floresans enerji transferinin tanımlanması da gerekmektedir.

Floresans enerji transferi iki molekül arasında meydana gelmekte olup, bu moleküller aynı veya farklı olabilirler.

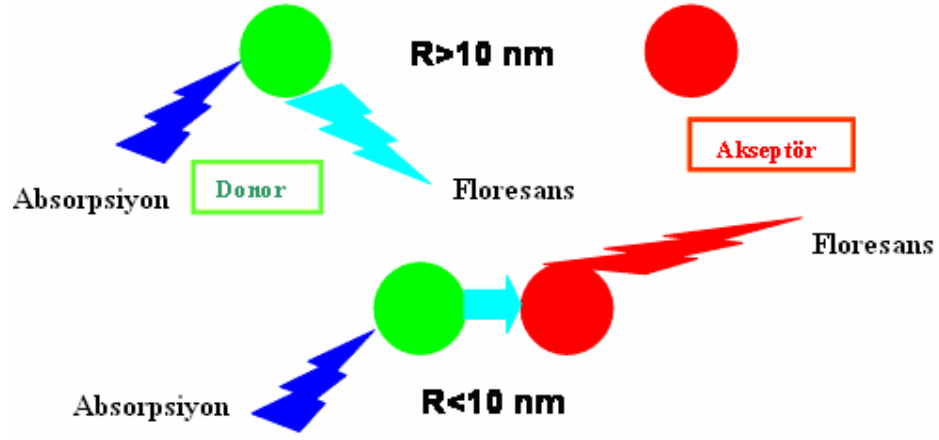
Floresans Enerji transferi uyarılmış haldeki donör molekülünden (D) kimyasal özelliği farklı akseptör molekülüne (A) elektronik uyarılma enerjisinin transferidir. Bu durum Şekil 1.5’de şematik olarak gösterilmiştir.



**Şekil 1.5** Enerji transfer prosesinin temsili gösterimi

Enerji transferi ışımaz meydana gelmekte olup donör ve akseptör arasındaki dipol-dipol etkileşmelerin bir sonucudur.

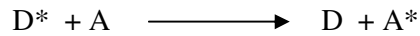
Etkin bir enerji transferinin olabilmesi için moleküllerin birbirleriyle etkileşmesi gerekmektedir. Bu yüzden donör ve akseptör arası mesafe oldukça önemlidir. Enerji transferinin olabilmesi için donör ile akseptör arasındaki mesafe 10 nm’den daha küçük olması gerekmektedir. Bu durum temsili olarak Şekil 1.6’da verilmiştir.



**Şekil 1.6** Enerji transferinde donör ve akseptör arasındaki mesafenin önemini gösteren şekil

Şekil 1.6'da görüldüğü gibi donör ile akseptör arasındaki mesafe  $10 \text{ nm}$ 'den büyük olduğu zaman donörün absorpsiyonunun yanında emisyonu da görülmektedir. Çünkü donör-akseptör arasında herhangi bir enerji transferi söz konusu değildir. Ancak bu mesafe  $10 \text{ nm}$ 'den daha az olduğu zaman enerji transferi meydana gelmekte olup, donör molekülü absorbladığı enerjiyi akseptör molekülüne aktararak akseptörün emisyon yapmasına neden olmaktadır.

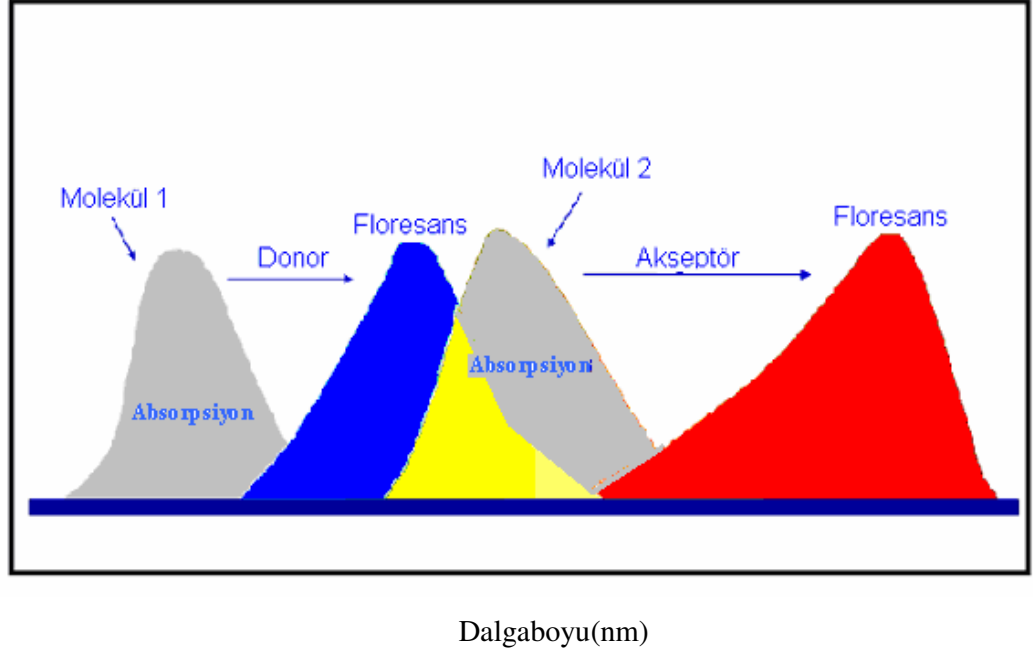
Donör-akseptör arası enerji transferi



şeklindeki bir mekanizmayla ifade edilebilir.

Enerji transferinin gerçekleşebilmesi için bir diğer önemli parametre; donörün emisyon spektrumu ile akseptörün absorpsiyon spektrumunun kısmen örtüşmesi

durumudur. Bu örtüşme alanına overlap bölgesi denilmekte olup bu durum Şekil 1.7’de gösterilmiştir.



**Şekil 1.7** Donor ve Akseptör Moleküllerinin Spektral Örtüşmesi

Şekilde, donör olan molekül 1 ve akseptör olan molekül 2'nin absorpsiyon ve emisyon (floresans) spektrumları verilmiştir. Görüldüğü gibi donörün emisyon spektrumu ile akseptörün absorpsiyon spektrumu kısmen örtüşmektedir. Bu örtüşme ne kadar fazla ise enerji transferinin o kadar iyi olacağı anlamına gelmektedir. Örtüşmenin büyüklüğü spektrumdaki örtüşen kısmın alanı hesaplanarak bulunur (Lakowicz 1983).

Enerji transferinde; enerji transfer hızı ve enerji transfer verimliliği, Förster kinetiğine göre incelenirse;

Buna göre enerji transfer hızı ( $k_T$ ) formülü aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$k_T = \frac{9000(\ln 10) \kappa^2 \phi_D}{128\pi^5 n^4 N r^6 \tau_D} \int_0^{\infty} \frac{F_D(\bar{\nu}) \epsilon_A(\bar{\nu})}{\bar{\nu}^4} d\bar{\nu}$$

2.1

$$k_T = (r^{-6} J \kappa^2 n^{-4} \lambda_D) \times 8,71 \times 10^{23} \text{ s}^{-1} \quad 2.2$$

Förster enerji transfer hızı formülünde, integral kısmı donör ile akseptör arasındaki örtüşen kısmın alanını ifade etmekte olup ikinci formülde J sembolü ile verilmektedir. Birinci formülde  $\phi_D$ , ortamda akseptörün bulunmadığı andaki donörün kuantum verimi; r, donör ile akseptör arasındaki uzaklığı;  $\kappa^2$ , donör ve akseptörün geçiş dipollerinin göreceli olarak yönlemesini ifade eden bir faktör olup genelde 2/3 olarak alınır. Denklemdaki  $\tau_D$  ise ortamda akseptör bulunmadığı durumda floresans ömrü; n, ortamın kırılma indisi; N ile verilen simge Avagadro sayısını ifade etmektedir.

Förster enerji transfer hızı aşağıdaki gibi de ifade edilebilmektedir.

$$k_T = \frac{1}{\tau_D} \left( \frac{R_0}{r} \right)^6 \quad 2.3$$

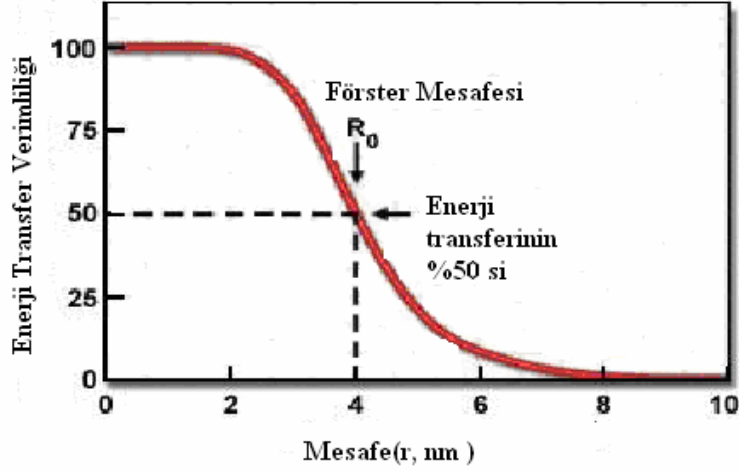
Burada  $R_0$  Förster mesafesidir. Förster mesafesi ise enerji transferinin %50'sinin meydana geldiği anda donör ve akseptör arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır.  $R_0$  aşağıdaki denklemlerle belirtilmektedir.

$$R_0 = 9,79 \times 10^3 \left[ \kappa^2 n^{-4} \phi_D J \right]^{1/6} \quad (\text{Å}) \quad 2.4$$

Bu denklemdaki her bir parametre denklem 2.1'de belirttiğimiz parametreler ile aynıdır.

Förster mesafesinin grafik yoluyla temsili gösterimi Şekil 1.8 de verilmiştir.

### Enerji transfer Verimi ve Förster Mesafesi



**Şekil 1.8** Förster mesafesini gösteren temsili grafik.

Stern-Volmer denklemi esas alınarak da enerji transfer hız sabiti belirlenebilir. Buna göre 1.1 denklemi

$$\frac{I_o}{I} = 1 + K_{sv}[Q] = 1 + k_T \tau [Q] \quad 2.5$$

şeklinde ifade edilebilir (Sujan 2005; El-Daly 1999).

Enerji transfer olaylarında önemli parametrelerden biri de enerji transfer verimliliğidir. Enerji transfer verimliliği, donörün akseptöre transfer ettiği foton oranıdır(Lakowicz 1983). Enerji transfer verimliliği enerji transfer hızının toplam deaktivasyon prosesleri hızlarının toplamına eşittir (Lakowicz 2002).

$$E = \frac{k_T}{k_T + k_f + k'} \quad 2.6$$

Bu denklemde;  $k_f$ , floresans durulma (decay) oranı;  $k'$ , ise diğer tüm deaktivasyon proseslerini tarif etmektedir. Enerji transfer verimliliği nispi kuantum verimleri, donorlu ortamda akseptör olduğu ve olmadığı andaki floresans ömürlerinden hesaplanabilir. Bu denklemler aşağıdaki gibidir.

$$E = 1 - \frac{\tau_{DA}}{\tau_D} \quad 2.7$$

veya

$$E = 1 - \frac{I_0}{I} \quad 2.8$$

Bu denklemlerde;  $I$ , ortamda akseptör olmadığı andaki dalga boyu ile verilen floresans şiddeti;  $I_0$ , ortamda akseptör olduğu andaki floresans şiddetinin maksimumudur.  $\tau_D$  ve  $\tau_{DA}$  ise sırasıyla ortamda akseptör olmadığı andaki ve olduğu andaki floresans ömrüdür (Lakowicz 2002).

Enerji transfer verimliliği  $R_0$  ve  $r$  kullanılarak da hesaplanabilir.

$$E = \frac{R_0^6}{R_0^6 + r^6} \quad 2.9$$

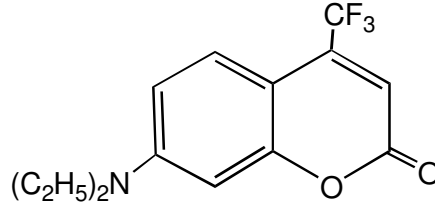
Bu formülde;  $R_0$ , Förster mesafesi;  $r$ , donör ve akseptör arasında enerji transferinin olduğu mesafedir.

Enerji transfer prosesleri, fotokimyasal sentezler, dye lazerlerinin enerjilerini değiştirmede, biyolojik molekül ve florofor arasında spesifik birleşme proseslerinde gerekli biosensörlerin geliştirilmesinde (Pampa 2003), biyolojik makromoleküllerin yapılarında, moleküler dağılmada ya da mikro heterojen sistemlerin kimyasal birleşmelerinde, biyomoleküllerin yapı ve fonksiyonları hakkında bilgi edinmede, yaşayan organizmaların biyolojik aktivitelerinde gerekli fosfolipitlerde, proteinlerin yarıçaplarını tahmin etmede, biyolojik membran kalınlığı hesaplamada, proteinlerdeki

kromoforik gruplar arasındaki mesafelerin belirlenmesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Hong 2000; Shin-Ichi 2000; Guy 1995; Mondeep 2005; Sanchez 1996; Kalyanasundaram 1987; Baptista and Inding1998; Hueder 2003 ).

Çalışmalarımızda, fotofiziksel özellikleri incelenmiş kumarin 35 (Das 2005) ve pyronin dye bileşikleri (Pyronin B ve Pyronin Y) nin, metanol ortamında enerji transfer olayı için uygun molekül çiftleri oluşturup oluşturmayacakları, enerji transfer gerçekleşme şartları dikkate alınarak incelenmesi hedeflenilmiştir. Bunun için kullandığımız materyaller hakkında kısaca bilgi verecek olursak:

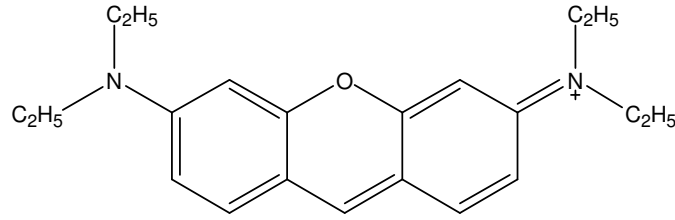
Donor molekülü olarak kullandığımız kumarin 35 (C35) molekülünün şekli aşağıdaki gibidir.



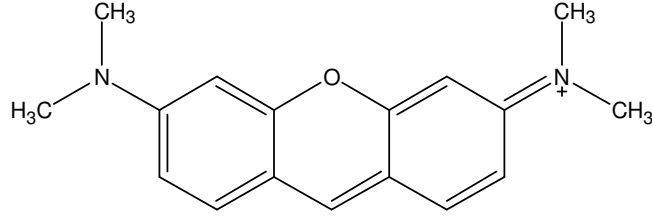
**Şekil 1.9** Kumarin 35 molekülünün kimyasal yapısı

Kumarinler bilim ve teknolojinin farklı alanlarında kullanılan, Dye bileşikleri ailesindedir. Optik uyarılma sonucu aminodan karbonil gruplarına elektron transfer ettikleri bilinir. 7-aminokumarin türevlerinin mavi-yeşil bölgede spektral emisyon özelliği vardır. Dye laserlerin dalga boyunu ayarlama, sentetik ipliklerin boyanmasında, Kumarin türevleri non-lineer optiklerde, kumarinli polimerlerde, sürekli dalga modülasyonu için elektrooptik materyallerde, diyot laserlerin frekanslarını artırmada ve fotorefraktif materyallerde, kromotografide belirteç olarak, protein çalışmalarında, ilaç türevlerinin antikoagulantlarında, biyolojik alanda polimerler ve farmakolojide kullanılır. Kumarinlerin türevlerinin bu kadar fazla alanda kullanılmasının sebebi, antrasen ve pyren aromatik halka sistemlerinden farklı halka yapılarına sahip oldukları için farklı absorpsiyon ve emisyon özelliklerine sahip olmalarıdır (Kozyra 2002; Christie and Lui 1999; Nenkowich et.al.1997; Das 2003).

Akseptör olarak kullandığımız pyronin B (PyB) ve pyronin Y (PyY) ksanten türevi bileşiklerdir. Heterosiklik yapıda olup temel halde  $\Pi$  orbitalleri içeren organik bileşiklerdir. Dye laserler elektro optik manyetik ışımının dalga boyunu ayarlama da kullanılan floresans bileşikleridir. Bu bileşikler kağıt, tekstil vb. sanayi alanlarında boyar madde olarak kullanılmaktadır (Arık 2003; Rohatgi 1978; Daintith 2000). Pyronin bileşiklerinin şekilleri aşağıda verilmiştir.



Pyronin B



Pyronin Y

**Şekil 1.10** Pyronin B ve Pyronin Y bileşiklerinin kimyasal yapısı

## 2.KAYNAK ÖZETLERİ

Kumarin türevleri ve acridine orange (AO) arasında iki farklı viskoz çözücü içinde enerji transferi çalışılmıştır. Metanol ve gliserol çözücülerinde donör-akseptör çiftlerinin değişik değerleri önemli bir farklılık göstermektedir. Çakışan bölge değerleri, 7-amino kumarin donör molekülünün alkali grup substitüentlerinin zincir uzunluğunun artmasıyla artmıştır. Bu da kuantum verimi ve floresans ömürlerinin artması demektir. Bunun sebebi moleküldeki elektronik geçişlerin artmasıyla, substitüentin potansiyelinin değişmesine sebep olmasıyla açıklanılmıştır ( Kozyra *et al.* 2002).

7-amino kumarin türevlerinin farklı alkali derecelerde fotofiziksel özellikleri su ve farklı mono alkollerde çalışılmıştır. Çözücü ve protik çözücüler arasında spesifik hidrojen bağları spektral kayma ve iç dönüşüm olaylarının açıklanmasıyla ilgilenilmiştir. İç dönüşüm mekanizma prosesleri, moleküler elektron transferi bükülme ve şemsiye benzeri durumlar tartışılmıştır. Dipol momentle spektrumlardaki Stokes kaymasının arttığı gözlemlenmektedir. Bu da temel halde elektron dağılımlarıyla açıklanmıştır. Ayrıca Stokes kaymasındaki artma indüktif etki ve molekülün yapısına bağlı olarak artmaktadır (Terasa *et al.* 1992).

3 ve 7-dietilamino-4 metil kumarin (kumarin1) bulk gruplarının durumuna göre karakteristik elektronik enerji transferi ve fotofiziksel özellikleri polimer matriks ve bazı çözeltilerde incelenmiştir. Denatüre olmuş elektron grupları, fenil, feniltio, v.b leri 3 pozisyonunda metanolda difüzyon kontrollü statik kuençlemeden daha büyük oranda kuençleşmiştir. Artan karışık çözelti polaritelerinde elektron transferine izin veren prosesleri (ICT) floresansla etkin bir şekilde yarışmalı olarak moleküller arası elektron transferini tercih etmektedir. Enerji transfer hızı ve Förster mesafesi deneysel ve teorik olarak donör olan kumarin türevleri ve akseptör olan N- oxyl radikallerinde incelenmiştir. Seçilen çiftler paramagnetik grupları fazla olan, metanol, heptadien, sikloheksan v.b, çözücülerde belirlenmiştir (Marian *et al.* 1999).

Floresans anizotropi, dinamik floresant probu kumarin153, iki nötr miselde (Triton-x-100 ve Brj-35) farklı sıcaklık ve en iyi bilinen two-step model analizi kaidelerine göre

incelenmiştir. Anizotropi sonuçları her iki miselde sıcaklıkla artan polisade tabakaları içinde akıcılık göstermektedir. Anizotropi durulması (decay) üzerine sıcaklığın etkisi nispeten Bj-35 den Tx-100 inki daha belirgindi. Bj-35' de sıcaklığın etkisi daha fazla olup bunun sebebi sıcaklıkla miselin hidratlarının hacminin artmasıyla açıklanmıştır. Artan sıcaklıkla misellerin polisad tabakasında artan hidrasyon meydana gelmiştir. Bu hidrasyondan kaçan moleküller, miselin merkezine nispeten bir göç geçişi meydana getirmesiyle açıklanmıştır (Manoj *et al.* 2005).

Multi foton anolag tekniğiyle kumarin 460 molekülünden radomin 6G molekülüne enerji transferi çalışılmıştır. Düşük akseptör konsantrasyonunda ( $<10^{-2}$  M/I) kumarinin monoexponansiyel floresans durulma (decay) davranışlarında önemli bir şekilde sapmalar meydana gelmiştir. Donor floresans durulması, kompleksin zamana bağımlı şekilde artan donör-akseptör çiftinin popülasyonu ile saptanmıştır. Förster kinetiğiyle, kritik enerji transfer mesafesi 5,46 nm olarak bulunmuştur. Yüksek akseptör konsantrasyonunda donör uyarılmasındaki azalma Förster kinetiğinden sapmalara neden olmuştur (Gangopadhyay *et al.* 1987).

7- amino kumarin türevlerinin metanol ve kloroform gibi çözücülerde absorpsiyon ve floresans spektrumları çalışılmıştır. Elektronik geçişlerde  $n-\pi^*$  durumu izlenilmiştir. Nitrojenin farklı substitüent etkisi floresans spektrumlarında kolaylıkla izlenilmiştir. Floresans kuantum verimi ve osilatör gücü tayin edilmiştir. Kuantum verimi ve fotolitik dissasyona, hidrojen bağının emisyon maksimumundaki rolü tartışılmıştır.  $\Pi$  elektronlarının dekolizasyonlarıyla floresans maksimumları kırmızıya kaymıştır. Metanol çözeltilerinde spektrumların kayması kloroforma göre daha fazla bulunmuştur (Ram *et al.* 1985).

Polar çözücülerde kumarin türevlerinin absorpsiyon bantları incelenmiştir. Kumarin türevlerinin polar çözücülerde kırmızıya kayması, çözücü  $\Pi^*$  parametresinin polarite ya da polarizlenme yeteneği ile ilgili olduğu bulunmuştur. Emisyon şiddeti  $\alpha$  hidrojen bağıyla, çözücü polarizabilitesi uygun bir şekilde kloranit hidrokarbon ve çözücülerle birleştirilirse, düzenli olarak  $\Pi^*$  orbitali üzerinden gerçekleşmesiyle ilgili olduğu

bulunmuştur. Kuantum verimi ve floresans ömrü ölçümleri rijit olmayan dye yapılar için gözlemlenen emisyon azalması polar çözücülerde radyasyonsuz geçişlerin çoğalmasıyla açıklanmaktadır. Floresans veriminde çözücü etkisi polar dye'lar için genel olarak gözlemlenen planar ve planar olmayan uyarılmış türler aracılığıyla yorumlanmaktadır (Guilford *et al.* 1980).

Kumarin 153 relaksasyon ve sabit davranışları taurocholate karışık lesitin misellerde time-resolved floresans spektroskopisi çalışılmıştır. Bile tuzlarının (bile asitleri bağırsaklarda lipidlerin absorblanmasında önemli bir rol oynamaktadır) karışık agregat mikro çevreleri zamandan bağımsız ve pikosaniye time-resolved floresans spektroskopisi kullanılarak incelenilmiştir. Steady- state spektrumları bile tuzların polaritesi lesitin Vesicle (kese) ya da karışık agregatlarla kıyaslandığında daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bile tuz misellerine ve lesitin vesiküllara bile tuzlarının eklenmesiyle zamanla azalmıştır. Bile tuzlarının eklenmesi lesitinde sıkı bir şekilde baş gruplarının paketlenmesine yol açmaktadır. Su moleküllerinin hareketi yavaş olduğu için çözünme zamanı azalmıştır. Bütün sistemlerde rotasyonel rahatlamalar yavaş biomodeller ile gözlemlenmiştir (Debdeep *et al.* 2005).

Çözücü dinamiğine bağlı uyarılma dalgaboyu ve kumarin 480'in floresans anizotropisi dimiristol-fosfatikolin (DMPC) vesicle (kese) pikosaniyeli time-resolved emisyon spektroskopisi kullanılarak çalışılmıştır. DMPC vesicle, kumarin 480'in heterojen mikro çevre yapısında 10 nm kırmızı bölgeye kaydığı belirlenmiştir. Bunun sebebi DMPC kesesinde Kumarin 480'in mikroçevresi sudan daha az polar olduğuyla açıklanmıştır. Dinamik stokes kayması ve DMPC vesicle kumarin 480 çözünme zamanı, uyarılma dalgaboyuna bağlı olarak azalmıştır. Emisyon spektrumunun spektral genişlemesi DMPC'de çözünmüş kumarin 480 in floresans anizotropi dalga boyuna bağlı olarak açıklanmıştır (Pratik *et al.* 2005).

Donor olarak kumarin120 ve p-Bis(o-metilsitril)-benzen, akseptör olarak kumarin7 kullanılarak metanol ortamında steady-state emisyon ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca enerji transfer mekanizmaları pulse azot laserler kullanılarak çalışılmıştır.  $R_0$  mesafesi

Bis-Msb için 59,6 Å, kumarin120 için 61,9 Å bulunmuştur. Enerji transferinde baskın mekanizmalar, uyarılmış halde donör ve temel haldeki akseptör molekülleri arasındaki dipol-dipol etkileşmelerinin sonucu olarak açıklanmıştır. Ayrıca donörün fotofiziksel ve fotokimyasal kararlılığı N<sub>2</sub> kaynaklı laserler altında incelenmiştir. Artan donör ve akseptör konsantrasyonlarında dalga boyu 516 nm'den 523 nm'ye kaymıştır. Bu da donör molekülünün dimerleşmesi ve radyasyonsuz geçişlerle açıklanmıştır (Ghazy *et al.* 2001).

7-Amino kumarin bileşikleri donör ve rhadomine 590 (R590) akseptör olarak kullanılarak, enerji transferi misellerin tersine susuz asetonitril ve metanol'de steady-state floresans spektroskopisi yardımıyla incelenmiştir. Förster mesafesi ve overlap bölgesi (J) tüm donör ve akseptörlerin hepsi için yüksek bulunmuştur. J değerleri 10<sup>-11</sup> ve 10<sup>-12</sup> M<sup>-1</sup>cm<sup>-3</sup> bulundu. Ayrıca R<sub>0</sub> değerleri 100 Å dan fazla bulunmuştur. J değerlerinin yüksek olmasına rağmen enerji transfer hız sabiti düşük çıkmıştır. Enerji transfer değerlerinin farklılığı donörün yapısına bağlı olarak belirlenmiştir. Ayrıca bütün kumarinlerin absorpsiyon ve emisyon spektrumları misellerin tersine, asetonitril ve MeOH çiftleri (W=2-6) W nin artmasıyla kırmızıya kaymıştır (Debabrata *et al.* 2004).

7-hidroksi-4-metil-8-(4'-metil-piperazin-1'y1) metilkumarinin (HMMC) solvatokromik etkide floresans davranışı farklı çözücülerde çalışılmıştır. HMMC nin floresansı protik ve polarite karakterli çözücülerin içinde de yüksek bir şekilde etkilendiği bulunmuştur. HMMC'nin bioaktif molekül olan 3-asetil-4-oxo-6,7-dihidro12H-indolo-[2,3-a]kinolozin (AODIQ) ile enerji transferi çalışılmıştır. Enerji transfer mekanizması için dipol-dipol uzunluk mesafesi tartışılmıştır. Enerji transfer verimi 0,33, R<sub>0</sub> mesafesi 24,9 Å bulunmuştur. Ayrıca artan polarite ile floresans maksimumunun 414 nm'den 440 nm'ye kaydığı gözlemlenmiştir (Arabinda *et al.* 2005).

### **3-MATERYAL ve YÖNTEMLER**

#### **3.1.Kullanılan Kimyasal Maddeler**

Çalışmalarda kullanılan, kumarin35 (7-(diethylamino)-4 triflorometilkumarin) , pyroninB (PyB), pyroninY (PyY) ve referans olarak kinin bisülfat SİGMA firmasından temin edildi. Metanol ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> MERCK firmasından temin edildi.

#### **3.2. Kullanılan Alet ve Cihazlar**

Time-Resolved

Spektroflorofotometre : PTI TM3 Time Master Spectrofluorometer

Spektroflorofotometre: Shimadzu Rf-5301 PC Spectrofluorophotometer

Spektrofotometre : Jenway 6105 UV/VIS spectrophotometer ve Perkin Elmer  
Lambda 2S Spectrophotometer

Deiyonize Su Arıtma

Cihazı : Elga Maxima Ultrapure Water

Otomatik Pipetler : Socorex

Refraktometre : Jena

#### **3.3. Numunelerin Hazırlanması**

Kumarin 35'in, pyronin B ve pyronin Y'nin metanol içerisinde  $1,0 \times 10^{-3}$  M'lık stok çözeltileri hazırlandı. Donör olarak kullanılan kumarin 35'in konsantrasyonu denemelerde sabit tutulup  $1,0 \times 10^{-6}$  M'lık miktarları kullanıldı. Enerji transferi için akseptör (PyY) ve (PyB) nin uygun konsantrasyon aralığını belirlemek için denemeler yapıldı. Konsantrasyon aralıkları her bir donör-akseptör çifti için bulundu. Referans olarak kullanılan kinin bisülfat dihidrat 0,1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> içerisinde  $1,0 \times 10^{-6}$  M'lık çözeltileri hazırlandı.

### 3.4 Yöntemler

#### 3.4.1 Floresans ve absorpsiyon spektrumlarının alınması ve absorbans ölçümleri

İlk önce C35, PyB ve PyY' nin metanol ortamında absorpsiyon ve floresans spektrumları alındı. Aynı şekilde referans olarak kullandığımız kinin bisülfatın da 0,1N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ortamında absorpsiyon ve floresans spektrumları alındı. Tüm ölçümler oda sıcaklığında yapıldı.

#### 3.4.2 Kuantum veriminin hesaplanması

Kuantum verimleri Parker-Rees metoduyla belirlendi. Bu metoda göre kuantum verimi bilinmeyen bir bileşiğin referans bir bileşik (referans olarak kullanılan bileşiğin fotofiziksel özellikleri tam olarak belirlenmiştir) yardımıyla hesaplanır. Parker-Rees denklemi 5.1 de verilmiştir.

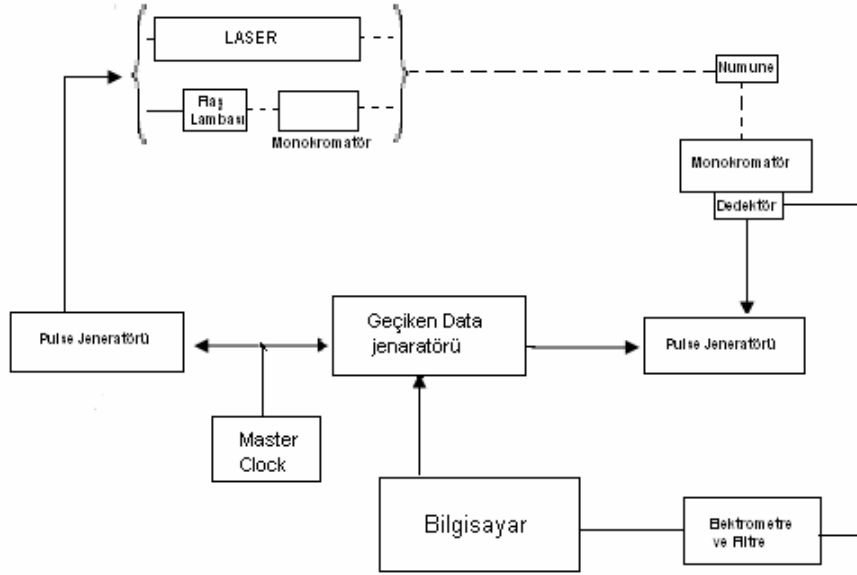
$$\phi_s = \phi_r \left( \frac{D_s}{D_r} \right) \left( \frac{n_s}{n_r} \right)^2 \left( \frac{1 - 10^{OD_r}}{1 - 10^{OD_s}} \right) \quad 3.1$$

Denklemden,  $\Phi_s$  numunenin kuantum verimi;  $\Phi_r$ , referansın kuantum verimi;  $D_s$  ve  $D_r$  sırasıyla numune ve referansın düzeltilmiş floresans spektrumu altındaki alanları;  $n_s$  ve  $n_r$ , sırasıyla numune ve referans çözücülerin kırılma indisi;  $OD_s$  ve  $OD_r$ , sırasıyla numune ve referansın uyarılma dalga boyunda ölçülen optik yoğunluktur.

Düzeltilmiş floresans spektrumlarının kullanılmasının sebebi elde edilen spektrumların diğer cihazlardan elde edilen spektrumlara tam olarak benzememesidir. Çünkü spektrumun şekli sadece floresans şiddetine değil, aynı zamanda lambanın, transduserin ve monokromatörün özelliklerine de bağlıdır. Bu cihazların tüm özellikleri dalga boyu ile değişir ve cihazdan cihaza farklıdır. Bunları elimine etmek için düzeltilmiş floresans spektrumları kullanılır.

### 3.4.3 Floresans ömür ölçümleri

Floresans ömürleri stroboskopik teknikle çalışan Time Master Laser sistemiyle ölçülmüştür. Time Master Laser sisteminin çalışma prensibinin şematik olarak gösterimi Şekil 3.1 de verilmiştir.

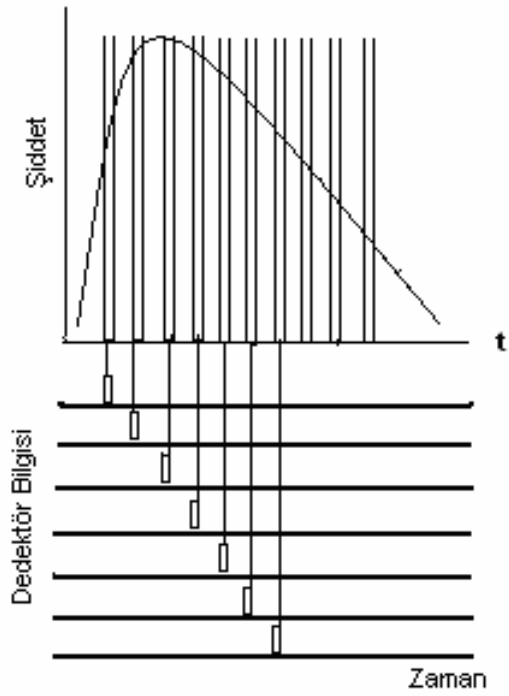


Şekil 3.1 Stroboskopik tekniğin şematik gösterimi

Stroboskopik teknikten kısaca bahsedecek olursak; ilk önce numune flaş lambası ya da laserden gelen pulse ile uyarılır. Pulse numuneye gönderildikten sonra, numuneye çarpıp geri dönmesiyle diğer pulse gönderilir. Bu sistemde bilgisayar kontrollü dedektörler, pulse numune ile etkileşmesinden sonra geçen süreyi ölçerler. Flaş ya da Laserin eşzamanlılığı çok önemlidir ve bu işlem master saat veya zamanlayıcı vasıtasıyla yapılmaktadır. Dedektörlerin dataları kaydetmesine hareketli pencereler yardım eder.

Bu teknik pahalı elektronik malzeme gerektirmez ve yüksek şiddetli ışık kaynağına gerek yoktur. Sinyalin şiddeti direkt pulse şiddetiyle orantılıdır.

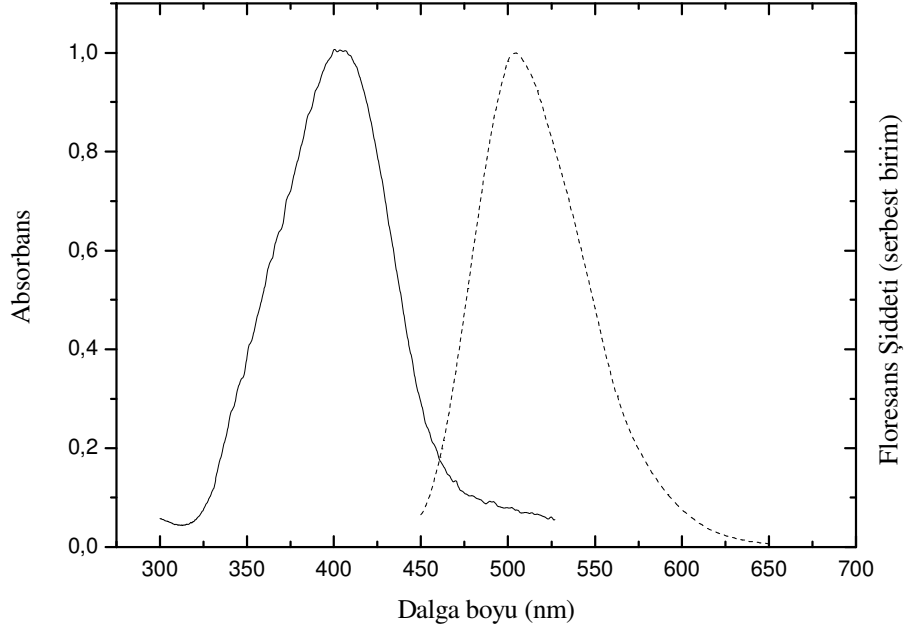
Bu teknikte veriler zamanın bir fonksiyonu olarak kaydedilir. Şekil 3.2’de dedektörlerin veri kaydetme işlemi temsili olarak gösterilmiştir.



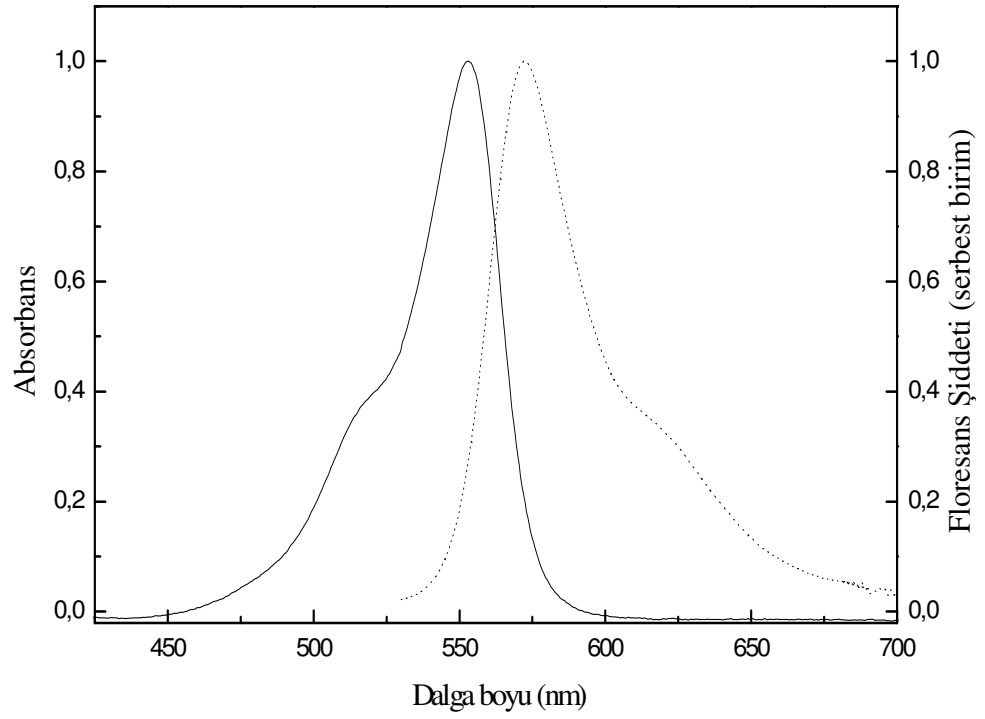
Şekil 3.2 Dedektörün veri kaydetmesinin şematik gösterimi

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

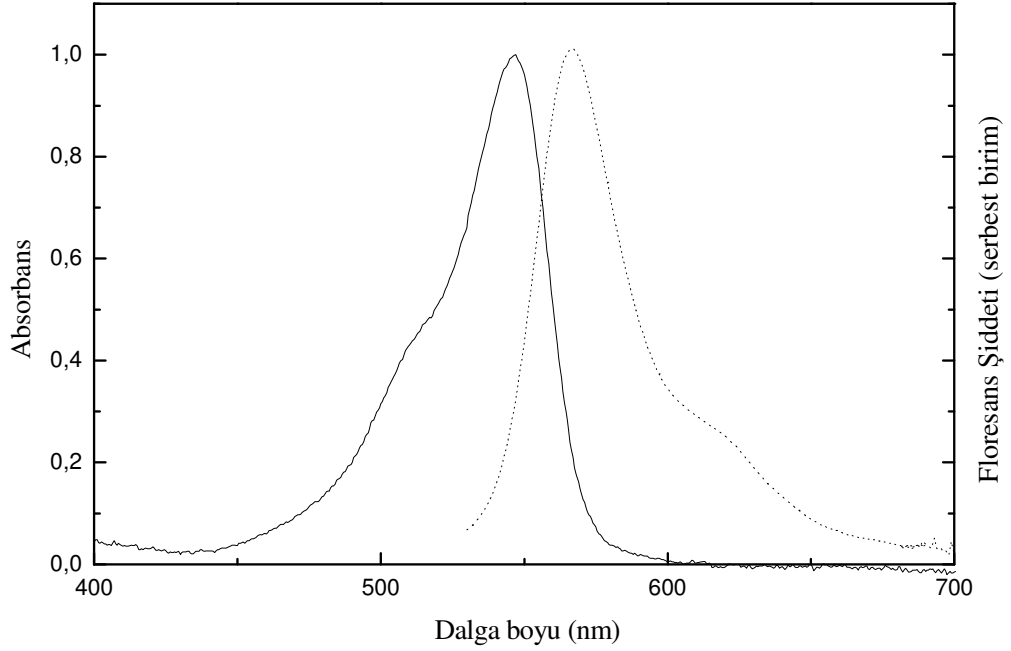
Çalışmamızda donör olarak kullanılan kumarin 35 (C35) bileşiğinin ve akseptör olarak kullanılan bileşikler, Pyronin B (PyB) ve Pyronin Y (PyY)'nin metanol ortamında alınmış absorpsiyon ve floresans spektrumları normalize edilmiş haliyle Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de verilmiştir.



**Şekil 4.1.** C35'in metanol ortamında normalize edilmiş absorpsiyon ve floresans spektrumları

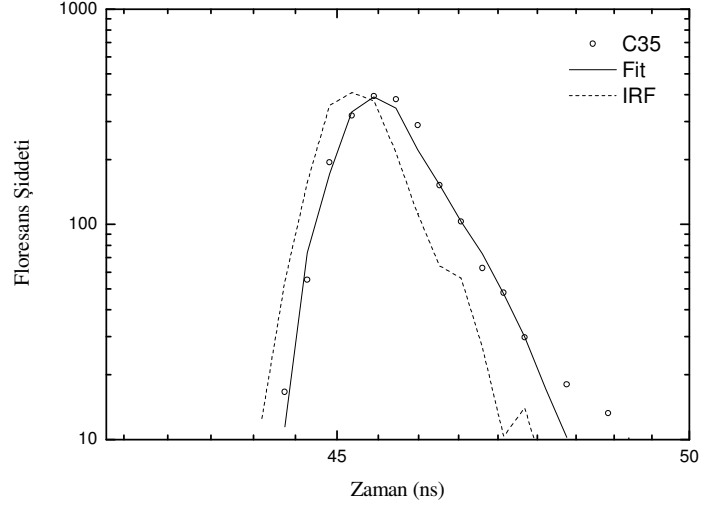


**Şekil 4.2** PyB bileşiğinin metanol ortamındaki normalize edilmiş absorpsiyon ve floresans spektrumları

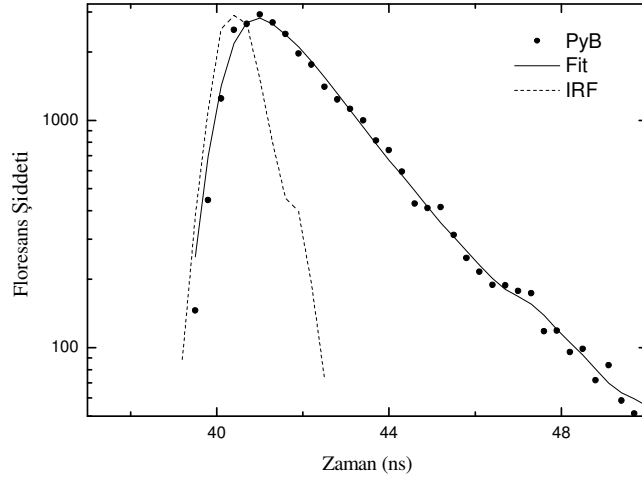


**Şekil 4.3** PyY bileşiğinin metanol ortamındaki normalize edilmiş absorpsiyon ve floresans spektrumları

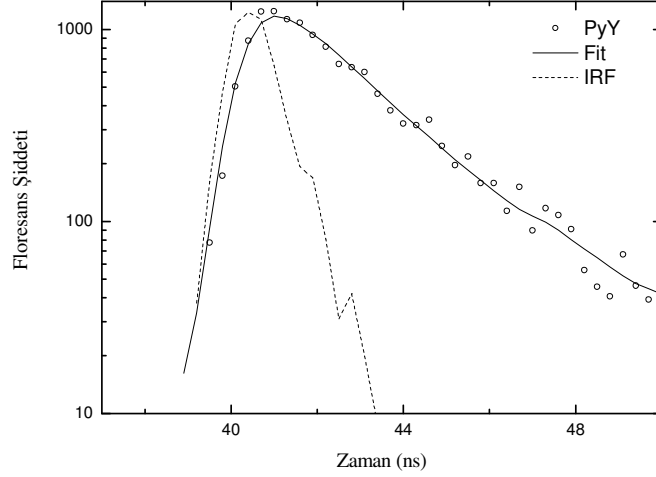
C35, PyB ve PyY bileşiklerinin metanol ortamlarındaki floresans ömürlerinin belirlenmesi için belirtilen şartlarda zamana bağlı floresans durulma (decay) spektrumları alındı. Elde edilen spektrumlar en uygun fitleri ile birlikte Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6'da verilmiştir.



**Şekil 4.4** C35'in metanol ortamındaki floresans şiddetindeki azalmanın zamana bağımlılığı ( $\chi^2=0,83$ )



**Şekil 4.5** PyB'nin metanol ortamındaki floresans şiddetindeki azalmanın zamana bağımlılığı ( $\chi^2=0,72$ )



**Şekil 4.6** PyY'nin metanol ortamındaki floresans şiddetindeki azalmanın zamana bağımlılığı ( $\chi^2=0,75$ )

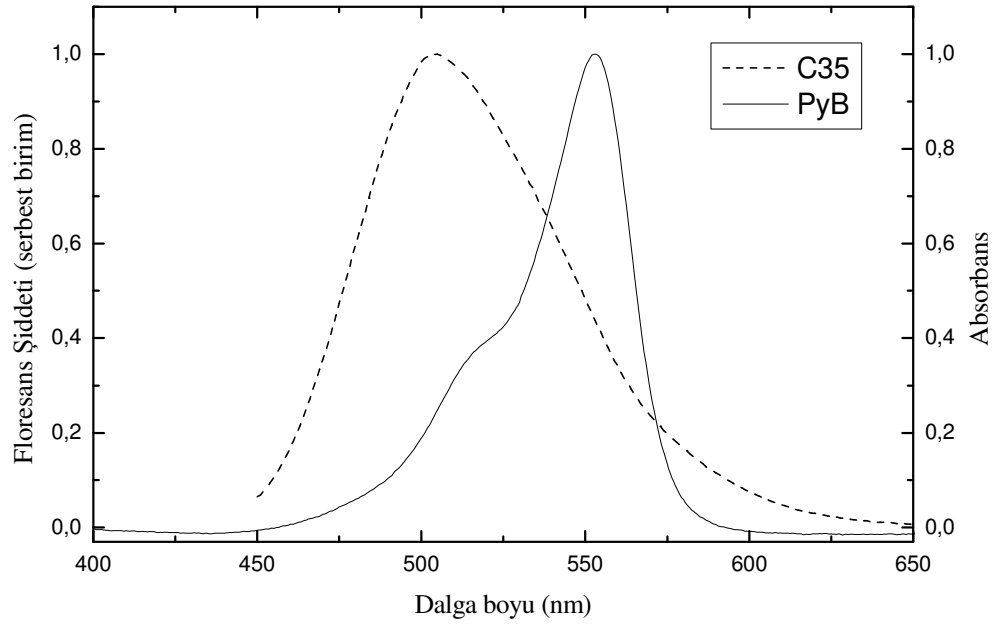
Elde edilen sonuçlar, floresans kuantum verimi ve diğer spektral özelliklerle beraber Çizelge 4.1'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** 25°C'de çalışılan bileşiklerin metanol ortamındaki bazı fotofiziksel özellikleri

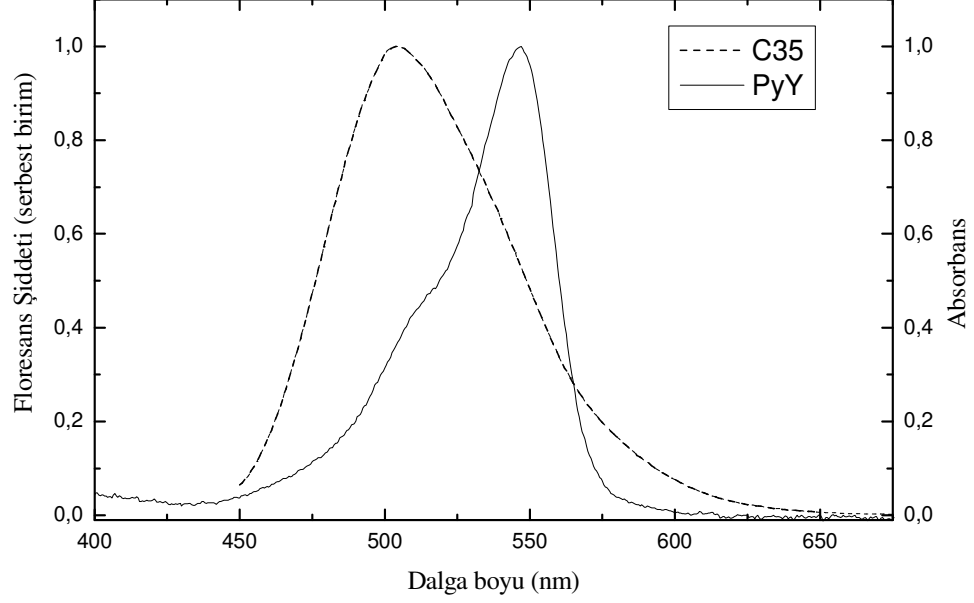
Bileşik	$\lambda_{\text{abs}}$ (nm)	$\lambda_{\text{fl}}$ (nm)	$\tau_f$ (ns)	$\phi_f$
C35	400	505	0,18±0,05	0,19±0,02
PyB	553	572	1,58±0,05	0,44±0,01
PyY	547	568	1,77±0,01	0,52±0,01

Bu şekilde PyY ve PyB bileşikleri ile C35 bileşiğinin metanol ortamında spektral özellikleri incelendikten sonra, bu molekül çiftleri arasında metanol ortamında enerji transferi için önemli iki şarttan biri olan donorün (C35) floresans spektrumu ile akseptör moleküllerinin (PyY ve PyB) absorpsiyon spektrumlarının örtüşmesi durumu incelendi.

Şekil 4.7’de C35 ile PyB, Şekil 4.8’de ise C35 ve PyY molekül çiftlerinin spektral örtüşmelerini gösteren spektrumlar verilmiştir. Daha öncede ifade ettiğimiz gibi örtüşmenin altında kalan alan enerji transfer hız sabitinin ve Förster mesafesinin ( $R_0$ ) belirlenmesinde kullanılacaktır.

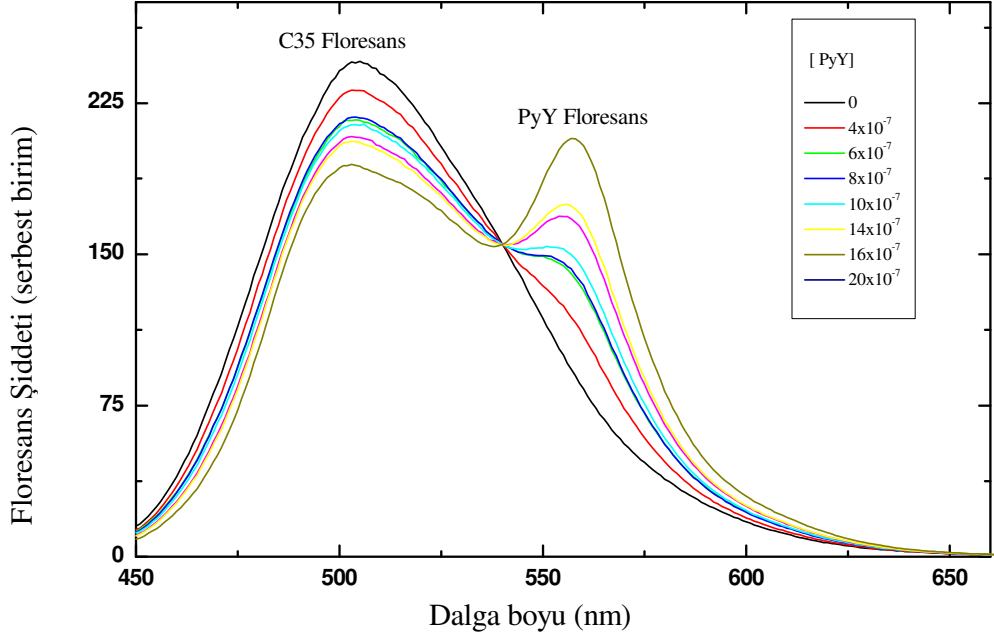


Şekil 4.7 Metanol ortamında C35 ile PyB molekül çiftlerinin spektral örtüşmesi



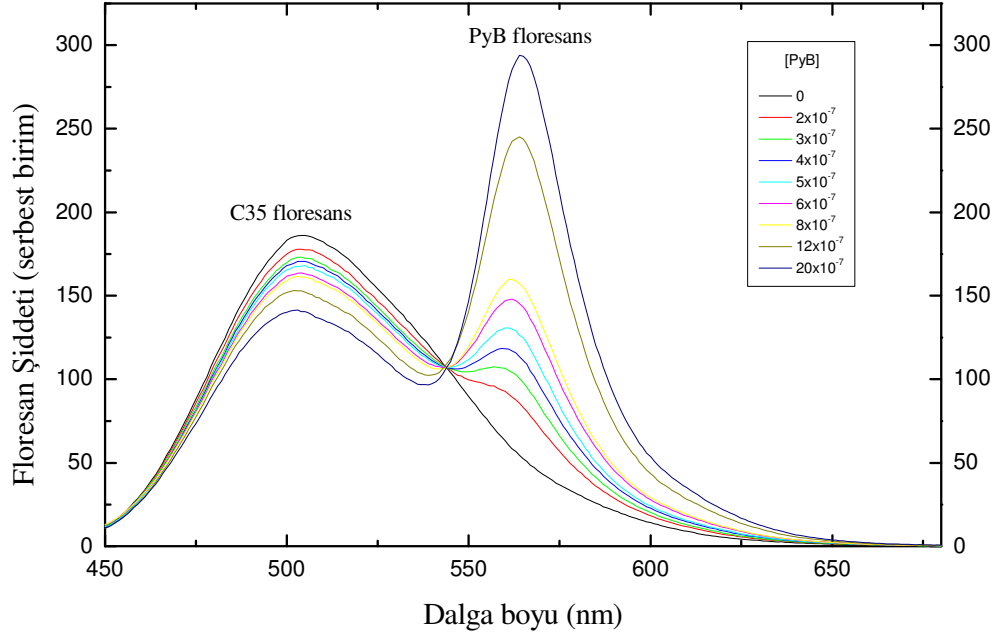
**Şekil 4.8** Metanol ortamında C35 ile PyY molekül çiftlerinin spektral örtüşmesi

Spektral örtüşmelerinin çok iyi olduğu görülen C35-PyY molekül çifti için; metanol ortamında C35 molekülünün konsantrasyonu  $1,0 \times 10^{-6}$  M'da sabit tutulup, PyY'nin konsantrasyonunun artırılmasıyla, C35 molekülünün emisyon bandının şiddetinde bir azalma olurken yaklaşık 558 nm'de PyY'nin floresansına karşılık gelen yeni bir bandın oluştuğu ve floresans şiddetinin, artan PyY konsantrasyonu ile arttığı gözlenmiştir. Metanol ortamında 568 nm'de floresans maksimumuna sahip PyY'de gözlenen bu kayma ortamdaki C35'den dolayı değişen ortam polaritesi ile açıklanabilir (Şekil 4.9). Bu spektruma göre 440 nm'de uyarılan C35'in uyarılma enerjisini ortamda bulunan PyY'ye transfer ettiği, PyY'nin aldığı bu enerjiyi floresans yapmak suretiyle kullandığı anlaşılmaktadır.



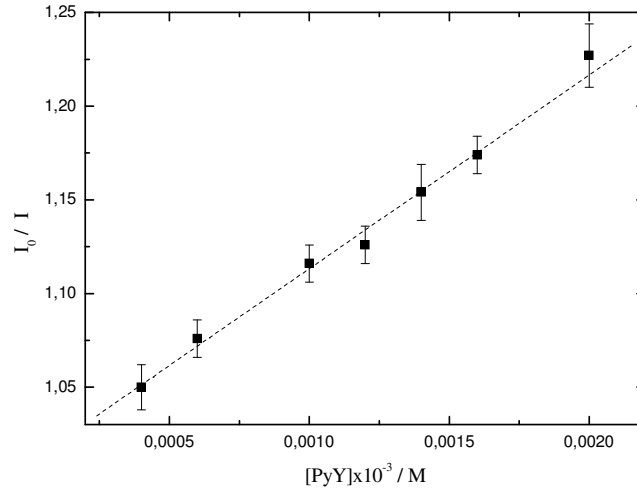
**Şekil 4.9** Metanol ortamında  $1,0 \times 10^{-6}$  M C35'in artan PyY konsantrasyonlarında alınmış düzeltilmiş floresans spektrumları

C35- PyB molekül çifti için; metanol ortamında C35 molekülünün konsantrasyonu  $1,0 \times 10^{-6}$  M'da sabit tutulup, PyB konsantrasyonu artmasıyla yine C35 in floresans şiddetinde bir azalma meydana gelirken, yaklaşık 568 nm'de yeni bir bant gözlemlendi. PyY'de olduğu gibi PyB'nin de floresans bandına karşılık gelen bu bandın şiddeti artan PyB konsantrasyonu ile artmaktadır (Şekil 4.10). Bu spektrumdan da 440 nm'de uyarılan C35 in enerjisini ortamda bulunan PyB'ye transfer ettiği ve PyB'nin de aldığı enerjiyi tıpkı PyY'de olduğu gibi floresansla dışarı verdiği söylenebilir. Ayrıca C35-PyY molekül çifti için 540 nm ve C35-PyB molekül çifti için de 544 nm'de olmak üzere bir isosbestik nokta gözlemlendi.

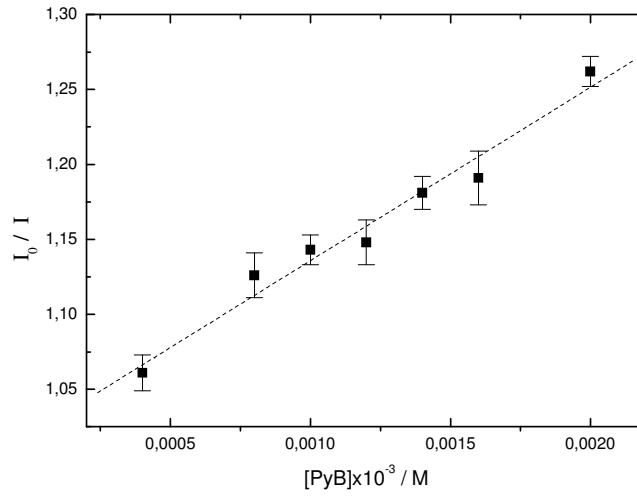


**Şekil 4.10** Metanol ortamında  $1,0 \times 10^{-6}$  M C35'in artan PyB konsantrasyonlarında alınmış düzeltilmiş floresans spektrumları

Pyronin bileşiklerinin konsantrasyonunun artırılmasıyla, C35'in floresans şiddetinde gözlenen azalma, tipik bir kuençleşme prosesi olarak görülmektedir. Bu nedenle metanol ortamında C35 için denklem 1.1'de verilen Stern-Volmer denklemine göre çizilecek grafikten Stern-Volmer hız sabitleri ( $K_{SV}$ ) belirlenebilir. Metanol ortamında C35'in PyY ve PyB nin değişik konsantrasyonlarına göre çizilen Stern-Volmer grafikleri sırasıyla Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de verilmiştir.



**Şekil 4.11** Metanol ortamında C35'in artan PyY konsantrasyonuna karşı çizilmiş Stern-Volmer grafiği



**Şekil 4.12** Metanol ortamında C35'in artan PyB konsantrasyonuna karşı çizilmiş Stern-Volmer grafiği

Buna göre grafiklerin eğimlerinden Stern-Volmer hız sabiti ( $K_{SV}$ ) PyY ve PyB için sırasıyla,  $1,06 \times 10^5 \text{ M}^{-1}$  ve  $1,15 \times 10^5 \text{ M}^{-1}$  olarak belirlendi.

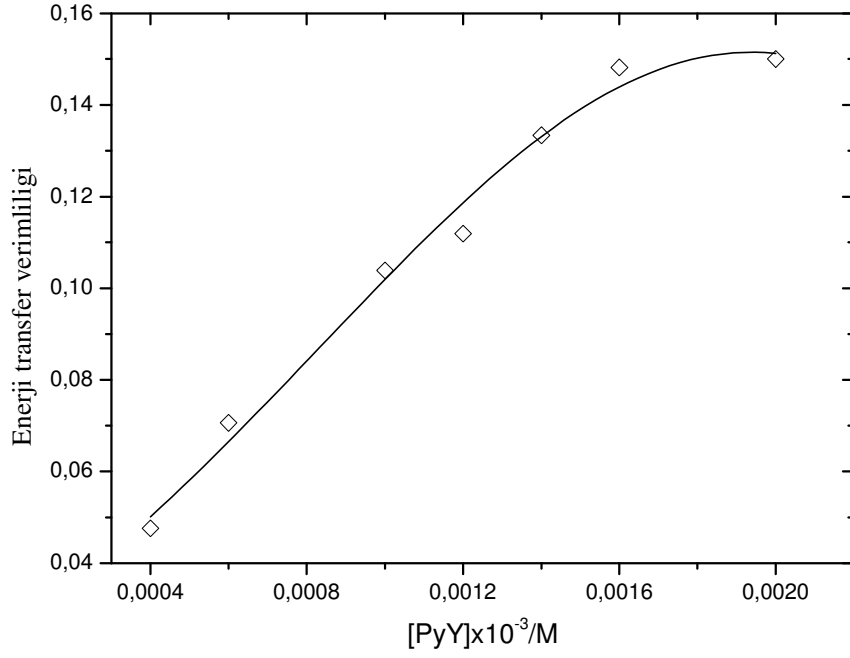
C35'in kuençleşmeye bağlı olarak floresans kuantum veriminde de az da olsa bir azalma gözlenmiştir. Çizelge 4.2'de metanol ortamında C35'in değişik PyY ve PyB konsantrasyonlarına bağlı olarak floresans kuantum verimleri verilmiştir.

**Çizelge 4.2** C35'in metanol ortamında değişik PyY ve PyB konsantrasyonlarındaki floresans kuantum verimleri

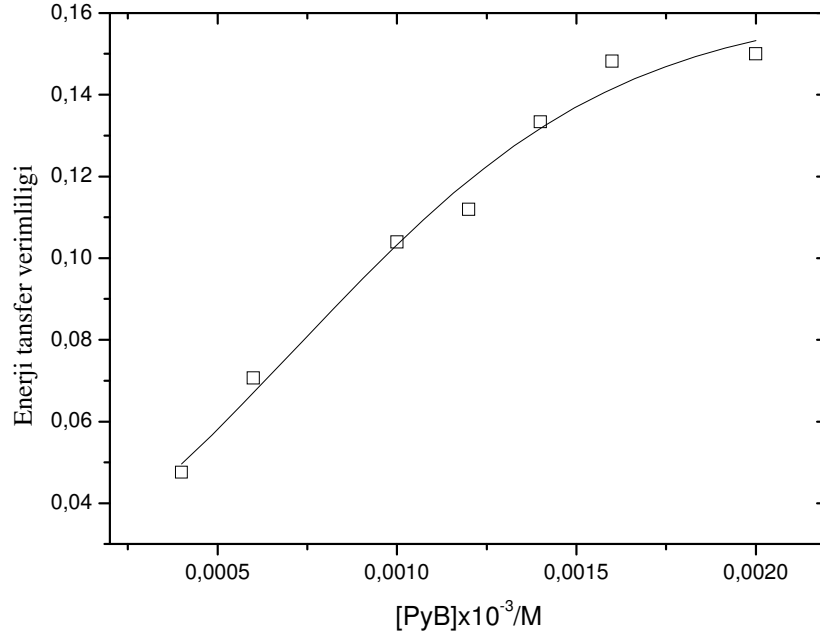
[PyY] / M	$\phi_f$	[PyB] / M	$\phi_f$
0	0,19±0,01	0	0,19±0,01
$4,0 \times 10^{-7}$	0,18±0,01	$2,0 \times 10^{-7}$	0,18±0,01
$6,0 \times 10^{-7}$	0,18±0,01	$4,0 \times 10^{-7}$	0,17±0,01
$1,0 \times 10^{-6}$	0,17±0,01	$5,0 \times 10^{-7}$	0,17±0,01
$1,2 \times 10^{-6}$	0,17±0,01	$6,0 \times 10^{-7}$	0,16±0,01
$1,4 \times 10^{-6}$	0,16±0,01	$8,0 \times 10^{-7}$	0,16±0,01
$1,6 \times 10^{-6}$	0,16±0,01	$1,2 \times 10^{-6}$	0,16±0,01
$2,0 \times 10^{-6}$	0,15±0,01	$2,0 \times 10^{-6}$	0,15±0,01

Floresans enerji transfer olayının, Förster kinetiğine göre tartışılabilmesi Förster mesafesi veya kritik enerji transfer mesafesinin ( $R_0$ ) ayrıca enerji transfer verimliliğinin belirlenmesiyle mümkündür. Bu nedenle denklem 2.8 ile enerji transfer verimliliği ve denklem 2.4 ile de Förster mesafesi ( $R_0$ ) hesaplandı. Förster mesafesinin hesaplanmasında önemli bir parametre olan örtüşme alanı (J) Metanol ortamında C35-PyY çifti için Şekil 4.8'den, C35- PyB çifti için Şekil 4.7'den hesaplandı. Buna göre elde edilen  $R_0$  değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir. Förster kinetiğine göre  $R_0$  için en ideal aralık 10-100 Å olduğu bilinmektedir (Förster 1948, 1949).

Enerji transfer verimliliği de Förster kinetiğine göre önemli parametrelerden biridir. C35-PyY ve C35-PyB molekül çifti için elde edilen enerji transfer verimliliği önceden de ifade ettiğimiz denklem 2.8 ile hesaplandı. Ayrıca donör-akseptör arasındaki mesafe 2.4 denklemi esas alınarak hesaplandı. Enerji transferinin gerçekleşme yüzdesini veren enerji transfer verimliliğinin, PyY'nin ve PyB'nin değişen konsantrasyonlarına bağlı olarak çizilen grafikler Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de ve hesaplanan diğer enerji parametreleri ise Çizelge 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.13 Metanol ortamında C35- PyY molekül çifti için enerji transfer verimliliği



**Şekil 4.14** Metanol ortamında C35- PyB molekül çifti için enerji transfer verimliliği

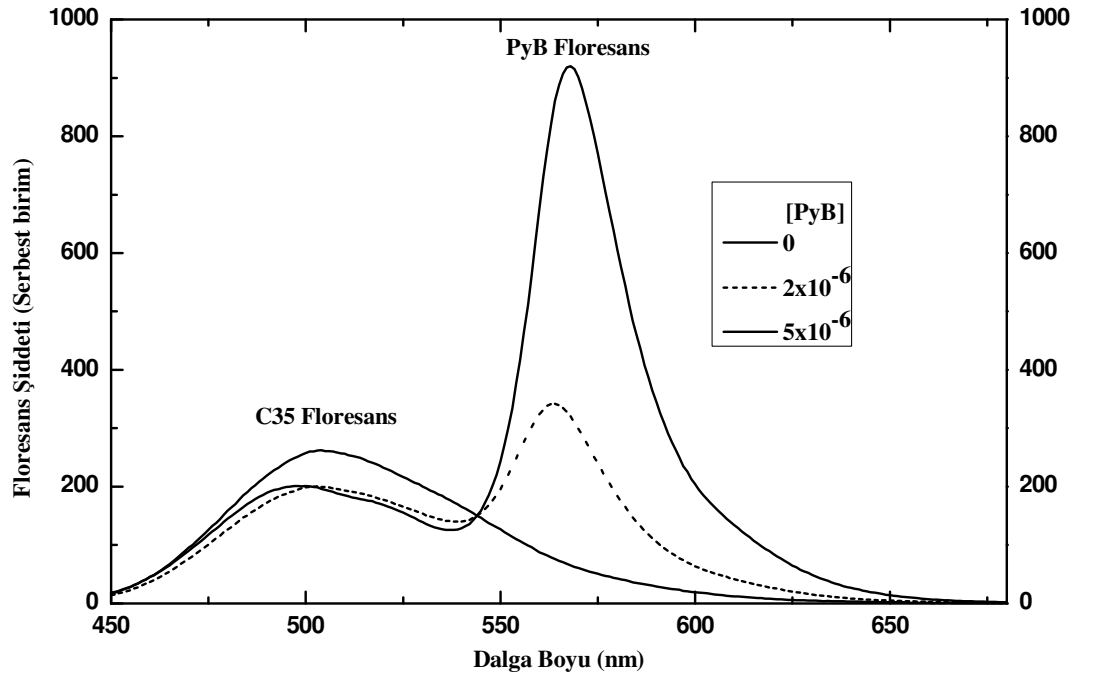
**Çizelge 4.3.** Metanol ortamındaki enerji transfer parametreleri

	$K_{SV} (M^{-1})$	$k_{T(I)} (M^{-1}s^{-1})$	$k_{T(II)} (s^{-1})$	$R_0 (\text{Å})$	$r (\text{Å})$	E
C35-PyY	$1,06 \times 10^5$	$5,58 \times 10^{14}$	$1,25 \times 10^9$	38,25	44,67	0,19
C35-PyB	$1,15 \times 10^5$	$6,05 \times 10^{14}$	$1,53 \times 10^9$	42,60	51,48	0,18

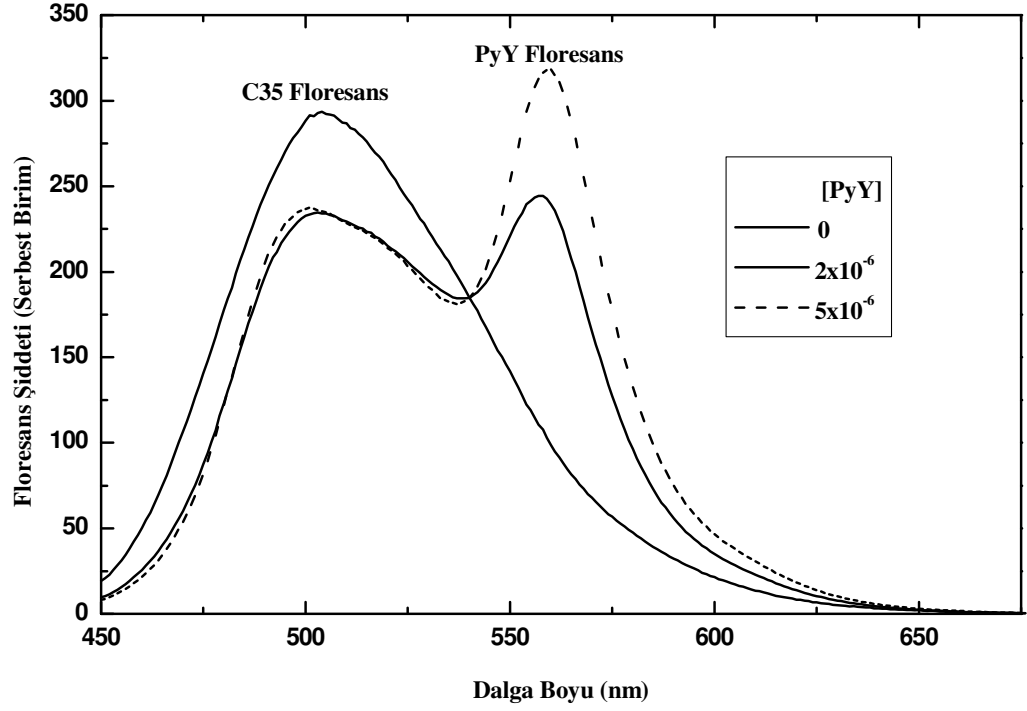
Burada  $k_{T(I)}$ ; Stern-Volmer 1.1 denleminden,  $k_{T(II)}$  ise 2.3 denklemiyle hesaplanmıştır.

Enerji transfer verimliliğini artırmak için PyB ve PyY konsantrasyonu artırıldığında, C35 molekülünün polariteye bağlı olarak floresans bant maksimumunda mavi bölgeye, pyronin bileşikleri için ise kırmızıya kayma gözlenmiştir. Bu kayma C35 ile pyronin bileşiklerinin spektral örtüşmelerinin azalmasına ve dolayısıyla enerji transfer

verimliliğinde bir azalmaya sebep olmaktadır. Bu durum her iki molekül çifti için Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.15 Artan PyB konsantrasyonuna karşı metanol ortamında alınmış C35-PyB molekül çiftinin düzeltilmiş floresans spektrumları



**Şekil 4.16** Artan PyY konsantrasyonuna karşı metanol ortamında alınmış C35-PyY molekül çiftinin düzeltilmiş floresans spektrumu

## 5. SONUÇ

C35-PyB ve C35-PyY bileşiklerinin floresans enerji transferi için uygun molekül çiftleri olup olmadıklarının metanol ortamında incelendiği çalışmada, elde edilen sonuçlar şöyle özetlenebilir:

Donor molekülü C35 ile akseptör molekülleri PyB ve PyY için Stern-Volmer ve Förster kinetiğine göre uygun moleküller oldukları belirlenmiştir. Förster kinetiğine göre  $R_0$  için ideal aralığın 10-100 Å olması göz önüne alındığında, C35-PyB ve C35-PyY molekül çiftlerinin uzak mesafeli dipol-dipol etkileşmesinden etkilendiği sonucu ortaya çıkmaktadır. (Ghazy 2001; Azim 2000; El-Daly1999).

Spektral örtüşmeler ve Çizelge 4.3 deki enerji transfer parametreleri  $k_T$ ,  $R_0$  değerleri dikkate alındığında metanol ortamında C35-PyB ve C35-PyY enerji transferine göre uygun oldukları sonucuna varılmaktadır. Ancak E değerine bakıldığında çalışılan akseptör konsantrasyonlarında enerji transferinin düşük oranlarda gerçekleştiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Akseptör konsantrasyonunun artırılmasıyla donör molekülünün emisyon spektrumunun maviye kayması, konsantrasyon artışıyla polaritenin azalmasına bağlı olarak açıklanmıştır (Reichardt 1990).

## KAYNAKLAR

- Arabinda, M., Basudeb, H., **2005**. 7-Hydroxy-4-methyl-8-(4'-methylpiperazine-1'-yl) methyl coumarin: An efficient probe for fluorescence energy transfer to a bioactive indoloquinolizine system. *J. Lumin.*, 118, 165-172.
- Arik, M., Onganer, Y., **2003**. Molecular excitons of Pyronin B and Pyronin Y in colloidal silica suspension. *Chem. Phys. Lett.*, 375, 126-133.
- Atanu, B., Monaj, K., Sukhendu, N., **2005**. Evidence for the TICT mediated nonradiative deexcitation process for the excited coumarin-1 dye in high polarity protic solvents. *Chem. Phys.*, 315, 277-385.
- Azim S.A., Ghazy R., **2000**. Investigations of energy transfer from some diolefinic laser dyes to rhodamine 110. *J. Photochem. Photobiol.*, 133, 185.
- Baptista, M., Inding, G. L., **1998**. Effect of BSA binding on photophysical and photochemical properties of triarylethane dyes. *J. Phys. Chem. B*, 102, 4678.
- Christie, R. M. And Lui, C. H., **1999**. Studies of fluorescent dyes: part 1. An investigation of the electronic spectral properties of substituted coumarins. *Dyes and Pigments*, 42, 85-93.
- Das, K., B., Jain, **2005**. Hydrogen bonding properties of coumarin 151, 500, and 35: the effect of substitution at the 7-amino position. *J. Phys. Chem. A*, 110, 1968-1704
- Debabrata, Seth, Debdeep, C., **2004**. Study of energy transfer from 7-amino coumarin donors to rhodamine 6G acceptor in non-aqueous reverse micelles. *Chem. Phys. Lett.*, 401, 546-552.
- Debdeep, C., Anjan, C., **2005**. Binding and relaxation behavior of Coumarin-153 in lecithin -taurocholate mixed micelles: A time resolved fluorescence spectroscopic study. *Chem. Phys. Lett.*, 412, 255-262.
- Daintith j., **2000**. A Dictionary of Chemistry. Oxford University Press, Fourth., New York.
- El-Daly S.A., **1999**. Photophysical properties: Laser activity of and energy transfer from 1,4-bis[ $\beta$ -(2-benzothiazolyl)vinyl]benzene(BVB). *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.* 124, 127-133.
- El-Daly S.A., **1999**. Spectral, life-time, fluorescence quenching, energy transfer and Photodecomposition of N,N'-bis(6-dimethyl phenyl)-3,4:9,10 perylene tetracarboxylic diimide(DXP). *Spectrochim. Acta Part A*, 55, 143
- Gangopadhyay, S., M. W., Pleil, **1987**. Study of energy transfer in a solution of coumarin 460 and rhodamine 6G by time-resolved laser-induced fluorescence spectroscopy. *J. Lumin.*, 39, 105-110.
- Ghazy, R., S.A., Zim, **2001**. Experimental investigations on energy-transfer characteristics and performance of some laser dye mixtures. *Optics & Laser Technology*, 34, 99-105.
- Guilford, J., II, William, R., J., **1980**. Solvent effects on photophysical parameters for coumarin laser dyes. *Optics Communications*, 33, 3.
- Guy, D., Fabienne, M., **1995**. Fluorescence energy transfer in lipid vesicles. A Time-resolved analysis using stretched exponentials. *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, 89, 135-140.
- Hong-Ruli, Fang, Gao, **2000**. Energy transfer of ionic dyes in mixed surfactant vesicle. *Res. Chem. Intermed.* 26, 575-585.

- Hueder P.M. de O., **2003**. Electronic energy transfer between fluorescent dyes with inter and intramolecular interactions. *Chem. Phys.* 290, 85-91.
- Kalyanasundaram, K., **1987**. *Photochemistry in Microheterogeneous System*, Academic press, Inc., New York.
- Kozyra K. A., Heldt J. R., Diehl H. A., **2002**. Electronic energy transfer efficiency of Mixed solutions of the donor-acceptor pairs: Coumarin derivatives- acridin orange. *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, 152, 199-205.
- Lakowicz, J.R., **2002**. *Volume 2 principles*. Kluwer Academic publishers, New York
- Lakowicz, J. R., **1983**. *Principle of fluorescence spectroscopy*. Plenum Press, New York
- Marian, K., Pavol, H., **1999**. Characteristics of the excited states of 3-substituted derivatives and transfer of electronic energy to N-oxyl radicals. *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, 127, 45-55
- Nemkovich, N. A., Reis, H. and Baumann, W., **1997**. Ground and excited state dipole Moments of coumarin laser dye: Investigation by electro-optical absorption and emission methods. *J. Lumin.*, 71, 255-263.
- Onganer, Y. And Qutevis E. L., **1992**. Effect of solvent on nonradiative processes in Xanthene dyes: pyronin B in alcohol-Water mixtures. *J. Phys. Chem*, 96(20), 7996-8001.
- Pampa P., P., R., Chiuri, T., Pellegrino., **2005**. Fluorescence resonance energy transfer induced by conjugation of metalloproteins to nanoparticles. *Chem. Phys. Lett.*, 417, 351-357.
- Pratik, Sen, Taku, Satoh, Kanakan, B., **2005**. Excitation wavelength dependence of solvation dynamics of coumarin 480 in a lipid vesicle. *Chem. Phys. Lett.*, 411, 339-344.
- Ram, A., Reddy, D. Vijay Prasad, **1985**. Absorption and fluorescence spectra of 7-aminocoumarin derivatives. *J. Photochem.*, 32, 69-80.
- Reichardt, C., **1994**. *Solvent and solvent effect in organic chemistry*. Verlagsgesellschaft mbH, D-6940 Weinheim (Federal Republic of Germany)
- Rohatgi, K.K., Singhal, G.S., **1966**. Nature of bonding in dye Aggregates. *J. Phys. Chem.*, 70 (6), 1965-1701.
- Sanchez, G. F., Ruiz, C. C., **1996**. Intramolecular energy transfer in aqueous CTAB Solutions. *J. Lumin.*, 69, 179-186.
- Scat H., H., S., Sims, **2006**. *Electronic Luminescence Spectroscopy, introduction to biophotonics*, [https://tele.engr.usu.edu/biophotonics\\_Spring\\_2006/](https://tele.engr.usu.edu/biophotonics_Spring_2006/)
- Shin-ichi, Murata, Jozef, K., **2000**. Donor fluorescence decay analysis for energy transfer in double-helical DNA with various acceptor concentrations. Institute of experimental physics, university of Gdansk, ul, 57, 80-952.
- Sujan Chatterjee, Susantamay, N., **2005**. Fluorescence resonance energy transfer from fluorescein to safranin T in solutions and in micellar medium. *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, 173, 221-227.
- Terasa L., A., Fernanda L., A., M., Jose T. Apia, **1992**. Hydrogen-bonding Effective on The photophysical properties of 7-amino coumarin Derivatives. *J. Phys. Chem.*, 97, 4704-4707.
- Ulijn, R., O'Brien, P., **2005**. *Biosensors and biological materials chemistry*. The University of Manchester, [www.umist.ac.uk/personal/staff/R.Ulijn/biosensors/biosensors\\_5.ppt](http://www.umist.ac.uk/personal/staff/R.Ulijn/biosensors/biosensors_5.ppt) – Ek( 12.02.2006).

## ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Erzurum'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Erzurum'da tamamladı. 1999 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü'nden 2003 yılında mezun oldu.

Atatürk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'nde 2005 yılından beri Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.