



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU ORTAMINDA DARBELİ İŞINLARIN İLETİMİNİN  
ARAŞTIRILMASI

İsmail TEKİN

DOKTORA TEZİ  
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2008



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU ORTAMINDA DARBELİ İŞINLARIN İLETİMİNİN  
ARAŞTIRILMASI

İsmail TEKİN

Prof. Dr. Eldar MUSAYEV  
(Danışman)

DOKTORA TEZİ  
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2008

## ÖZET

Bu tez çalışmasında darbeli kvazimonokromatik (monokromatiğe yakın) görünür dalga boylu ışınların su içerisinde yayılımı incelenmiştir. Bilindiği gibi optik ışınlar havada yayılırken emilme, saçılma, kırılma ve yansımaya uğrarlar. Benzer olaylar su içerisinde de geçerlidir. Optik ışınların su içerisinde yayılımını, su içerisinde bulunan canlı ve cansız maddeler, ortam şartları, su molekülleri ve ışığın dalga boyu belirler. Su içerisinde bulunan canlı ve cansız maddeler ve ortam koşulları değişkendir. Örneğin deniz suyu ile tatlı su, deniz kıyısındaki su ile açıklardaki su birbirinden farklıdır. Dolayısıyla optik özellikleri farklıdır.

Su içerisinde çalışan optik sistemler tasarlamak için optik ışınların su içerisinde yayılımının bilinmesi gerekir. Bunun için bu tez çalışmasında bir deney düzeneği geliştirilmiştir. 30 cm x 30 cm x 60 cm ebatlarında cam küvet yaptırılmıştır. Işın verici olarak görünür bölgede ve yakın kızılötesi bölgesinde çalışan LED'ler kullanılmıştır. Fotoalıcı olarak fotodiyot kullanılmıştır. LED'leri darbeli akımla sürmek için ışın verici devresi ve fotoalıcının aldığı foto işareti kuvvetlendirmek için fotoalıcı devresi tasarlanmıştır. Darbeli işaret, tepe dedektörü ile DC'ye dönüştürülerek genliği ölçülmüştür.

Bu deney düzeneği kullanılarak darbeli LED ışınlarının havada, saf suda ve deniz suyunda X ve Y eksenlerindeki yayılımları incelenmiştir. Matlab programı kullanılarak deney sonuçları matematiksel ifadelerle dönüştürülmüştür.

DeneySEL sonuçlardan, su içerisinde bulunan parçacıkların saçılma karakteristiklerinden hareketle tespit edilebileceği gösterilmiştir. Parçacık yoğunluğu artıkça ışık lekesinin standart sapmasının azaldığı tespit edilmiştir.

Optik ışınların su içerisinde saçılmasında ışın şiddeti artıkça parçacıkların etkisi azaldığı görülmüştür.

Optik ışınlar su içerisinde yayılırken belli bir mesafeden sonra havaya göre daha yavaş zayıfladığı tespit edilmiştir. Bu mesafenin ışın şiddetine ve ışın vericinin dalga boyuna bağlı olduğu görülmüştür.

### Anahtar Kelimeler

Kızılötesi, optik, fotoalıcı, fotodiyot, LED, tepe dedektörü, emilme, saçılma.

## Investigation of Pulsed Light Transfer in Water

### **ABSTRACT**

In this thesis, pulsed quasimonochromatic visible light propagation in water has been investigated. It is obvious that the optical beam propagating in the free space is exposed to absorption, scattering, diffraction, and reflection. This is also valid for an optical beam propagating in water. Light propagation in water is determined by living and nonliving particles in the water, water molecules, environmental conditions and the wavelength of the light in the water. Living and nonliving particles in the water and environmental conditions vary, e.g. components of the sea water and the fresh water or shallow water and deep water are different. Therefore, optical properties of these waters are different.

It is necessary to know the light propagation in the water to design optical systems operating in the water. For this purpose, an experimental setup has been developed in this thesis. A glass tank with dimensions 30 cm x 30 cm x 60 cm has been manufactured. Visible and near infrared LEDs have been used as light emitters. A photodiode has been used as a photodetector. A light emitter circuit has been designed to drive the LEDs with pulsed current. A photodetector circuit has been designed to amplify the photosignal received by the photodiode and to convert it to a DC signal.. Pulsed photosignal is converted to DC signal with a peak detector since a sensitive measurement cannot be performed for the signal amplitude using the oscilloscope.

Propagation of the pulsed LED light in the X and Y coordinates in the free space, pure and sea water has been investigated using this experimental setup. Curve fitting is made using Matlab.

Experimental results indicate that the particles in water can be detected by using the scattering characteristics. It is observed that the standard deviation of the light spot decreases as the particle density increases.

It is observed that the effect of particles on the optical beam scattering in water decreases as the light intensity increases.

It is observed that attenuation of optical beams propagating in water is slower than that in air after a certain distance. It is observed that the this distance depends on the light intensity and the wavelength of the light emitter.

### **Keywords**

Infrared, optic, photodetector, photodiode, photodiode, LED, peak detector, absorption, scattering.

**İÇİNDEKİLER**

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
SİMGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI ve TEORİK BİLGİLER	4
2.1. Kaynak Araştırması	4
2.1.1. Işığın su içerisinde emilmesi ve saçılması üzerine yapılan çalışmalar	4
2.1.2. Işığın su ortamında yayılımı üzerine yapılan çalışmalar	6
2.2. Teorik Analiz	7
2.2.1. Suyun temel özellikleri	7
2.2.2. Doğal sularda bulunan bileşenler	8
2.2.3. Suyun kimyasal özellikleri	10
2.2.4. Suyun optik özellikleri	12
2.2.5. Optik ışınların su içerisinde emilmesi	14
2.2.6. Optik Işınların Su İçerisinde Saçılması	15
2.2.7. Optik Işınların su içerisinde yayılımının modellenmesi	24
2.2.8. Optik ışınların su içerisinde yayılmasının teorik analizi	25
3- MATERYAL ve YÖNTEM	28
3.1. Deney Setinin Geliştirilmesi	28
3.2. Işın vericilerin belirlenmesi	30

3.3. Fotoalıcının belirlenmesi	30
3.4. Fotoalıcının zaman sabitinin deneysel olarak bulunması	31
3.5. Işın verici devresinin analizi	32
3.6. Fotoalıcı devresinin analizi	34
3.7. Hata analizi	36
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI	40
4.1. Saf suyun spektrumu	40
4.2. Sudan geçen ışının lekesinin incelenmesi	41
4.3. Optik ışınların su içerisinde saçılması	42
4.4. Optik ışınların su içerisinde zayıflaması	48
4.5. Optik ışınların su içerisinde zayıflamasında ışın şiddetinin etkisi	52
4.6. Işın şiddetinin zayıflamasının matematiksel ifadesi	54
4.7. Lazer ışının su içerisinde yayılımı	59
5. TARTIŞMA	63
KAYNAKLAR	66
EK 1	69
EK 2	77
TEŞEKKÜR	78
ÖZGEÇMİŞ	79

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

<b>Çizelge 3.1.</b> Deniz suyunun özellikleri.	29
<b>Çizelge 3.2.</b> Seçilen LED'lerin özellikleri ve parametreleri.	30
<b>Çizelge 3.3.</b> BPW34 tipi fotoalıcının elektriksel ve optik karakteristikleri.	31
<b>Çizelge 3.4.</b> Mavi LED için $X=4\text{cm}$ ve $Y=0\text{cm}$ için elde edilen sonuçlar.	39
<b>Çizelge 4.1.</b> Tuz miktarı ve ortalama standart sapma (std) değerleri.	45
<b>Çizelge 4.2.</b> Homojenleşme bölgesinde her bir LED için düşme eğimleri.	51
<b>Çizelge 4.3.</b> Denemelerde kullanılan lazerin optik ve elektriksel özellikleri.	59

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Görünür ışığın su içerisinde emilimi.	5
Şekil 2.2. Su içerisindeki lazer ile havaca aracının haberleşmesi.	6
Şekil 2.3. Deney düzeneği.	7
Şekil 2.4. Su içerisinde bulunan bileşenler.	9
Şekil 2.5. Suyun molekül yapısı.	11
Şekil 2.6. Deney düzeneği.	13
Şekil 2.7. Rayleigh ve Mie saçılmaları.	21
Şekil 2.8. Raman tekrar yayılım fonksiyonu.	24
Şekil 2.9. Optik ışınların su içerisinde yayılımı.	25
Şekil 2.10. Işın verici fotoalıcı sistemin optik şeması.	26
Şekil 3.1. Deney düzeneği	29
Şekil 3.2. Işın verici bölgesi	30
Şekil 3.3. Araştırmada kullanılan LED'lerin spektrum karakteristikleri.	31
Şekil 3.4. BPW34 tipi fotoalıcının spektrum karakteristiği.	31
Şekil 3.5. Fotovoltaik ve fotoiletken rejimlerinde foto alıcının zaman sabitinin ölçülmesi.	32
Şekil 3.6. Işın verici devresi.	34
Şekil 3.7. Işın verici devresinin zaman diyagramları	35
Şekil 3.8. Fotoalıcı devresi.	36
Şekil 3.9. Fotoalıcı devresinin çeşitli noktalarındaki işaretlerin zaman diyagramları.	36
Şekil 4.1. Saf suyun emilme spektrumu.	40
Şekil 4.2. Çeşitli LED ışınlarının lekelerinin havada ve saf suda oluşturduğu görüntü.	42
Şekil 4.3. Optik ışınların su içerisinde saçılması.	42
Şekil 4.4. 470nm (a), 505nm (b), 524nm (c), 558nm (d), 590nm (e) dalga boylu LED ışınlarının su içerisinde saçılması.	44
Şekil 4.5. Işın lekesinin fotoğrafını almak için geliştirilmiş deney düzeneği.	45
Şekil 4.6. Lekenin fotoğrafı ve zarfı.	46
Şekil 4.7. Tuz miktarı ile standart sapmanın değişimi.	47
Şekil 4.8. 524nm dalga boylu ışığın 100mA (a), 200mA (b) ve 300mA (c) için saçılma diyagramları.	48
Şekil 4.9. 470nm (a), 505nm (b), 524nm (c), 558nm (d), 590nm (e) dalga boylu LED ışınlarının su içerisinde saçılması.	50
Şekil 4.10. Zayıflama eğrisinin iki bölgeye ayrılması.	51
Şekil 4.11. 470nm dalga boylu LED için elde edilen sonuçlar.	53
Şekil 4.12. 590nm dalga boylu LED için elde edilen sonuçlar	54
Şekil 4.13. Saf suda 470nm (a), 505nm (b), 524nm (c), 558nm (d), 590nm (e) dalga boylu LED ışınlarının su içerisinde zayıflaması.	56
Şekil 4.14. Deniz suyunda 470nm (a), 505nm (b), 524nm (c), 558nm (d), 590nm (e) dalga boylu LED ışınlarının su içerisinde zayıflaması.	58
Şekil 4.15. Işın verici bölgesinin fotoğrafı.	60
Şekil 4.16. Fotoalıcı devresi.	60
Şekil 4.17. Fotoalıcı bölgesinin fotoğrafı.	61
Şekil 4.18. Deney düzeneğinin fotoğrafı.	62
Şekil 4.19. Lazer ışını için fotoalıcıda elde edilen işaretin mesafe ile değişim.	62



## SİMGELER DİZİNİ

$I_0$	Kaynağın ışın şiddeti
$\lambda$	Dalga boyu
$c(\lambda)$	Zayıflama katsayısı
$a(\lambda)$	Emilme katsayısı
$b(\lambda)$	Saçılma katsayısı
$b_b(\lambda)$	Geri doğru saçılma katsayısı
Ufa	Fotoalıcıda elde edilen foto sinyal
$\varepsilon$	Molar Emilme katsayısı
$L_a$	Emilme mesafesi
$L_s$	Saçılma mesafesi
$\mu_0$	Vakumdaki manyetik geçirgenlik
$\varepsilon$	Dielektrik sabiti
$\sigma$	Elektriksel iletkenlik
$\phi_i(\lambda)$	Spektral gücü
$A(\lambda)$	Spektral Emilme
$B(\lambda)$	Spektral saçılma
$T(\lambda)$	Spektral geçme
$\beta(\psi; \lambda)$	Spektral hacimsel saçılma fonksiyonu
$\tilde{\beta}(\varphi; \lambda)$	Spektral hacimsel saçılma faz fonksiyonu
$w_0(\lambda)$	Saçılmanın zayıflama katsayısına oranı
$a_w(\lambda)$	Saf suyun emme katsayısı
$a_{DOM}(\lambda)$	Su içerisinde çözülmüş halde bulunan organik parçacıkların emilme katsayısı
$a_p(\lambda)$	Fotoplanktonun emme katsayısı
$a_y(\lambda_0)$	Referans dalga boyunda sarı maddeden kaynaklanan Emilme katsayısı
$a_{det}(\lambda)$	Organik çöktülerden kaynaklanan Emilme katsayısı
$n$	Kırılma indisi

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Problemin Tanımı

Son yıllarda su içerisinde çalışan optoelektronik sistemler hızla artmaktadır. Bu sistemlere aydınlatma (Whitcomb ve ark. 1999), görüntüleme (Bailey ve ark. 2003) ve haberleşme (Estes ve ark. 1996, Li ve ark. 2007) sistemleri örnek olarak verilebilir.

Su içerisinde çalışan bir optoelektronik sistem tasarlamak için optik ışınların su içerisinde yayılımının bilinmesi gerekmektedir. Optik ışınlar su ortamında yayılırken emilmeye ve saçılmaya uğrarlar. Optik ışınların su içerisinde emilmesinde ve saçılmasında, ışığın dalga boyu, su molekülleri, su içerisinde çözülmüş halde bulunan maddelerin molekülleri ve çözülmemiş parçacıklar etkilidir.

Bu tez çalışmasında görünür bölgede darbeli kvazimonokromatik (monokromatiğe yakın) ışınların su içerisinde yayılımı deneysel incelenmiştir. Optik ışınların su içerisinde zayıflaması matematiksel olarak ifade edilmiştir. Optik ışınların su içerisinde belli bir mesafeden sonra zayıflamanın azaldığı ve bir homojenleşmenin olduğu gösterilmiştir. Zayıflamanın ışın şiddeti ile değişimi incelenmiştir. Işın kaynağından belli bir mesafede saçılan ışınlar ölçülmüş ve yayılım eksenine dik doğrultuda mesafe ile değişimi grafikler halinde verilmiştir. Bu grafiklerden yararlanarak su içerisindeki parçacıkların saçılan ışınlardan ölçülebileceği gösterilmiştir.

## 1.2. Tezin kapsamı

Tez çalışmasında ilk olarak literatür taraması yapılmıştır. Bu çalışmalar genellikle ya simülasyona dayalı ya da çok küçük bir cam küvet ( $1 \text{ cm}^2$ ) içerisindeki suyun parametrelerinin ölçülmesine dayanmaktadır ve genellikle belli standart cihazlar kullanılmaktadır. Burada bir takım hatalar meydana gelmektedir. Öncelikle burada belli bir su örneği ait parametreler ölçülmektedir. Su içerisinde bulunan maddeler oldukça

değişkendir. Dolayısıyla küçük bir su örneği büyük bir su kütleini (örneğin bir deniz suyunu) tam olarak temsil edememektedir (Stramski 2004). Ayrıca ölçümler kapalı bir ortamda yapıldığından ortam koşulları dikkate alınmamaktadır.

Bu tez çalışmasında gerçek şartlarda optik ışınların su içerisinde yayılımı incelenmiştir. Bunun için öncelikle bir deney düzeneği geliştirilmiştir. Bu deney düzeneği 30 cm x 30 cm x 60 cm ebatlarında bir cam küvetten, ışın verici ve fotoalıcı bölgelerinden oluşmaktadır. Işın verici bölgesi, ışın verici devresi ve yarıiletken ışın vericilerden oluşmaktadır. Burada ışın verici olarak LED'ler (Light Emitting Diode) kullanılmıştır. LED'leri darbeli akımla sürmek için bir ışın verici devresi tasarlanmıştır. Işın verici devresi, LED'i besleyen akımın darbe süresi, boşluk süresi ve genliği ayarlanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca ışın vericiler kolaylıkla değiştirilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Işın verici olarak 470nm, 505nm, 524nm, 558nm, 590nm, dalga boylu LED'ler kullanılmıştır. Fotoalıcı devresi, sudan etkilenmeyecek şekilde izole edilmiştir. Fotoalıcı, fotoiletken modda çalışmaktadır.

Bu deney düzeneği kullanılarak her bir LED'in X ve Y eksenlerinde su içerisinde yayılımı incelenmiştir. Ölçümler 2 cm aralıklarla yapılmıştır. Ölçümler yapılırken ışın verici sabit tutulup, fotoalıcı bölgesi 2 cm'lik adımlarla hareket ettirilerek yapılmıştır. Fotoalıcı bölgesinin yerleşiminden kaynaklanan hataları minimuma indirmek için her bir noktada 10 ölçüm yapılmış ve ortalamaları alınmıştır.

Farklı dalga boylarında beş ayrı LED'in havada, saf suda ve deniz suyunda yayılımlar incelenmiştir. Saf su, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan saf su elde etme cihazından alınmıştır. Deniz suyu ise Yalova sahilinden alınmıştır.

Tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Tezin birinci bölümünde problemin tanımı ve tezin kapsamı verilmiştir. İkinci bölümünde şimdiye kadar yapılan çalışmalar incelenmiştir. Ayrıca optik ışınların su içerisinde yayılımının teorik analizi verilmiştir. Üçüncü bölümünde deney düzeneğinin geliştirilmesi verilmiştir. Dördüncü bölümde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Ölçüm sonuçlarının grafikleri Matlab programı ile

izdirilmiştir. Ölüm sonuçlarından hareketle ara değerler interpolasyon yöntemi ile elde edilmiştir. Ayrıca regrasyon yöntemi ile ölüm sonuçlarına en yakın standart eğriler elde edilmiştir. Tezin beşinci bölümünde ise elde edilen sonuçlar tartişilmiştir.

## **2. KAYNAK ARAŞTIRMASI VE TEORİK BİLGİLER**

### **2.1. Kaynak Araştırması**

#### **2.1.1 Işığın su içerisinde emilmesi ve saçılması üzerine yapılan çalışmalar**

Stavn (Stavn 1993), Monte Carlo simülasyonu ile görünür bölgede suda meydana gelen Raman saçılmalarını incelemiştir. 440nm'de Raman saçılması minimum iken 500nm'nin üzerindeki dalga boylarında oldukça etkili olduğu ve 550nm'de maksimum olduğu görülmüştür.

Tassan ve Ferrari (Tassan ve Ferrari 1995), sudaki minerallerin oluşturduğu geriye doğru saçılmayı ve toplam saçılmayı incelemiştir.

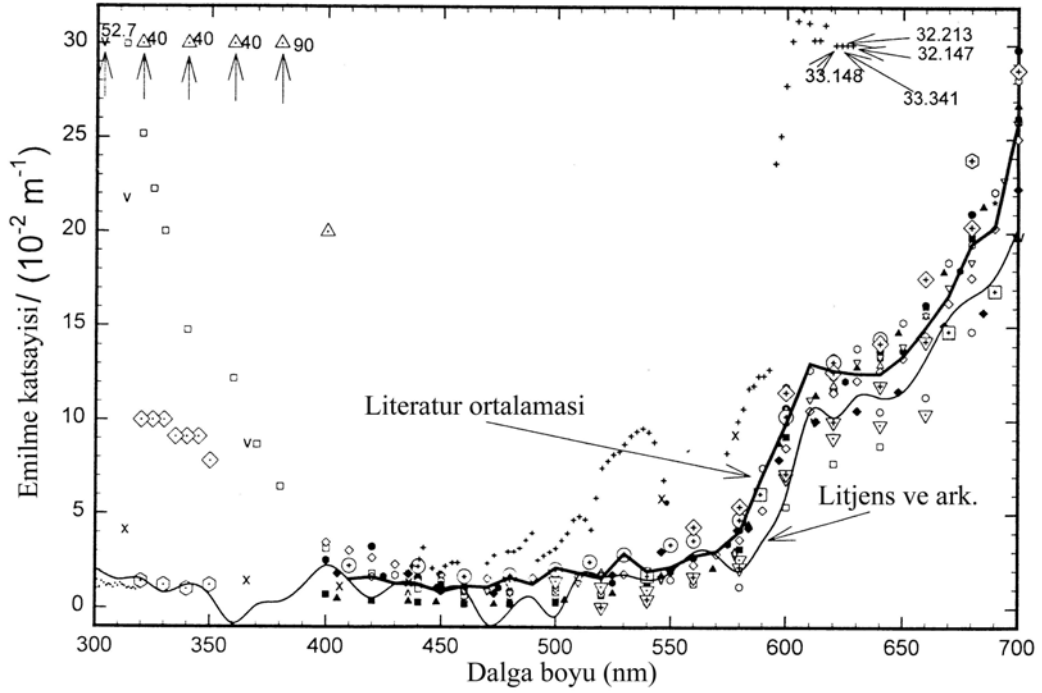
Pegau ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada (Pegau ve ark. 1997), saf ve tuzlu suyun görünür ve yakın kızılötesi bölgede 15 farklı dalga boyu için emilmesi ve zayıflaması ölçülmüştür. Sıcaklığın ve tuzluluğun emilmeye ve zayıflamaya etkisi incelenmiştir.

Sogandares ve Fry (Sogandares ve Fry 1997), fototermal spektrometresi kullanılarak saf suyun ışığı emme spektrumunu 340-640nm bölgesinde incelemiştir.

Pope ve Fry (Pope ve Fry 1997) Sogandares ve Fry'ın yapmış olduğu çalışmanın bir benzerini, integration cavity tekniği kullanılarak 380-700nm saf suyun ışığı emme spektrumu bölgesinde incelemiştir. Bu çalışmada emilmenin minimum olduğu dalga boyu 418nm olarak ölçülmüştür.

Litjens ve arkadaşları (Litjens ve ark. 1999), saf suyun ışığı emmesini 300nm ile 700nm bölgesinde incelemiştir. Elde edilen sonuçlar, 1891 yılından 1997 yılına kadar bu konuda yapılan 27 çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Quickenden ve arkadaşları (Quickenden ve ark. 2000) ve Fry (Fry 2000) da benzer şekilde 1891-97

yılları arasında yapılan ölçümleri karşılaştırmalı olarak vermişlerdir. Burada yapılan çalışmalar göstermiştir ki, 300nm ile 700nm arasında dalga boyu arttıkça suyun ışığı emme sabiti de artmaktadır. Şekil 2.1’de literatürdeki spektrumlar gösterilmiştir.



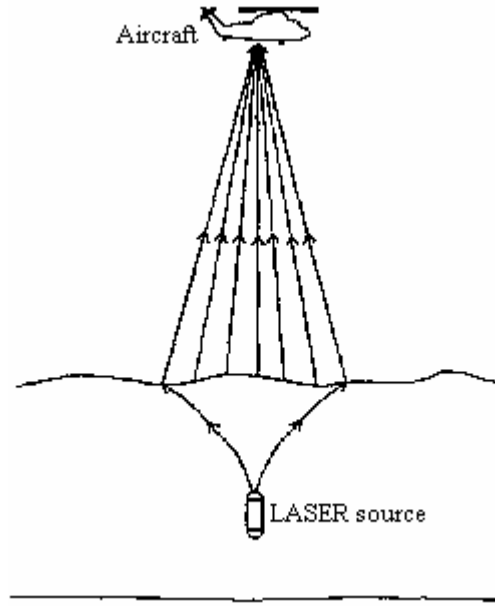
Şekil 2.1. Görünür ışığın su içerisinde emilimi (Litjens ve ark. 1999).

Capone ve arkadaşları (Capone ve ark. 2002) İtalya açıklarında 3000m’den daha derin çeşitli bölgelerde AC9 geçirgenlik ölçer (transmisyonometre) ile suyun optik özelliklerini ölçmek için denemeler yapmıştır. AC9 geçirgenlik ölçme cihazı Wetlab firmasının ürettiği, emilme ve zayıflama ölçümlerini iki farklı kuvvette yapabilen, yüksek basınçlarda çalışabilen (6000m derinlikte çalışabilir), 412nm, 440nm, 448nm, 510nm, 532nm, 555nm, 650nm, 676nm, 715nm dalga boylarında olmak üzere dokuz farklı dalga boyunda ölçüm yapabilen bir cihazdır.

Capone ve arkadaşlarının yaptığı çalışmanın bir benzeri Balkanov ve arkadaşları (Balkanov ve ark. 2003) tarafından Baykal Gölünde tekrarlanmıştır. Bu ölçümlerde 200m derinlikte 488nm için emilme mesafesi  $L_a=24.1\pm0.5\text{m}$  olarak bulunmuştur. 1000m derinlikte ise 488nm için  $L_a=27.9\pm0.7\text{m}$  olarak ölçülmüştür.

### 2.1.2. Işığın su ortamında yayılımı üzerine yapılan çalışmalar

Estes ve arkadaşları yaptıkları çalışmada (Estes ve ark. 1996) su içerisine yerleştirilmiş bir lazer ışın kaynağı ile hava aracı arasında iletişim kurmayı amaçlamışlardır (Şekil 2.2). Bu amaç için Buzzard körfezinde denemeler yapılmış, zayıflama ve emilme ölçümleri yapılmıştır. Hava aracı ile lazer ışın kaynağı arasındaki haberleşmenin Matlab programı ile simülasyonu yapılmıştır. Simülasyonda Darbe süresi 8ns olan 532nm dalga boylu Nd:YAG lazeri kullanılmıştır.



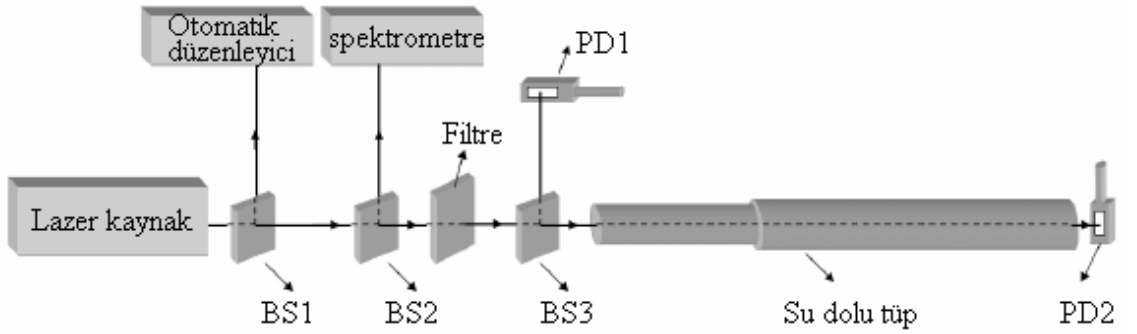
Şekil 2.2. Su içerisindeki lazer ile havaca aracının haberleşmesi (Estes ve ark. 1996).

Kudryavtseva ve Tchernieha (Kudryavtseva ve Tchernieha, 2002) suda ve değişik kimyasallarda darbeli lazer ışının darbe genişliğinin, lazer ışının lekесinin ve lazer ışının dalga boyunun saçılma karakteristiklerini incelemişlerdir. Denemelerde 530nm dalga boylu Nd:YAG lazer kullanmışlardır. Lazeri sürmek için 25ps (maksimum enerji 5mJ) ve 20ns (maksimum enerji 0,3mJ) olmak üzere iki farklı darbe süresi belirlemişlerdir. Yaptıkları deneylerde lazer kaynağından uzaklaştıkça lazer ışının darbe süresinin azaldığını görmüşlerdir.

Drozdowska ve arkadaşları (Drozdowska ve ark. 2002), suyun flöresans karakteristiğini incelemişlerdir. Flöresans karakteristiği suyun yüzeyinde bulunan

yağları ve petrol atıklarını belirlemede kullanılır. Denemelerde çeşitli su örnekleri kullanmışlardır. Ölçümler 250nm ile 600nm arasında yapılmıştır.

Li ve arkadaşları (Li ve ark. 2007) 3.5m boyunda su dolu bir e çok kısa süreli lazer darbelerinin yayılımını incelemişlerdir. Amaçları ışığın su içerisinde yayılımında neden Beer Lambert kanunundan sapmalar olduğunu bulmaktır. Bunun için Şekil 2.3’de gösterildiği gibi bir deney düzeneği geliştirmişlerdir. Burada, BS ışın bölücü, PD fotoalıcıdır. Su dolu tüpü uzunluğu 3,5m’dir. Lazer kaynak olarak 650nm-950nm arasında çok kısa süreli darbeler verebilen Ti:Sapphire lazer kullanılmıştır. Tüp içerisindeki yansımalarından kaynaklanan kayıpları azaltmak için tüp, teleskopik tasarlanmıştır. Farklı spektrumlarda farklı darbe süresi ve frekans kullanarak darbe süresinin, spektrumun ve frekansın zayıflamaya etkisini incelemişlerdir.



Şekil 2.3. Deney düzeneği (Li ve ark. 2007).

## 2.2. Teorik Analiz

### 2.2.1. Suyun temel özellikleri

Saf su ( $H_2O$ ) renksiz, kokusuz, dielektrik ve şekilsizdir. Doğadaki suyun özellikleri, suyun içinde bulunan maddelere bağlıdır. Suyun optik özelliklerini bu maddelere bağlıdır.



Suyun önemli bir özelliği çok iyi bir çözücü olmasıdır. Bunun nedeni, suyun polar yapısından kaynaklanır. Su polar bir çözücü olduğundan yağlar gibi polar olmayan maddeler suda çözünmezler.

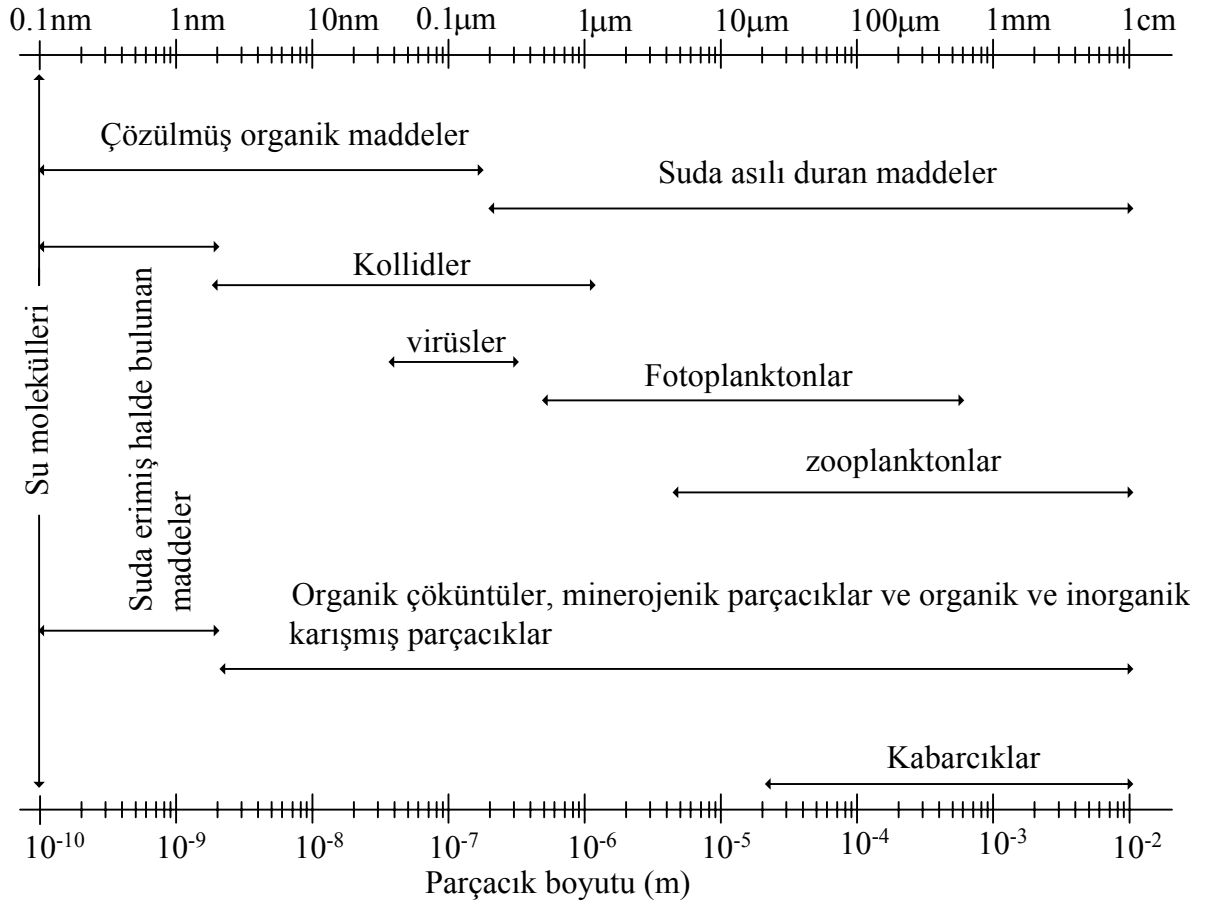
Su, doğal maddeler arasında en yüksek ısı geçirme katsayısına sahip moleküllerden oluşmuş bir maddedir. Suya uygulanan ısı su moleküllerinin kinetik enerjisini arttırmadan önce ısının önemli bir miktarı öncelikle hidrojen bağlarını kırmak için kullanılır. Bundan dolayı su diğer sıvılardan daha yavaş buharlaşma eğilimi gösterir. Bu yüksek ısı kapasitesinden dolayı su iklim koşullarının dengelenmesinde en önemli unsurdur.

### 2.2.2. Doğal sularda bulunan bileşenler

Su içerisinde bulunan bileşenler genellikle çözülmüş maddeler ve su içerisinde asılı duran parçacıklar olmak üzere ikiye ayrılabilir. Bu maddelerin ve organizmaların boyutları çok geniş bir aralıkta bulunur (Stavn ve Timothy 2004, Stramski 2004). Şekil 2.4'de bu durum gösterilmiştir.

Tatlı ve tuzlu sularda çözülmüş organik maddeler çok farklı yoğunluklarda bulunurlar. Suda bulunan bu çözülmüş maddelerin ana kaynağı toprakta çürümüş olan bitkilerdir. Bundan dolayı göllerde, nehirlerde ve nehirlerin denize döküldüğü bölgelerde çözülmüş madde yoğunluğu artar. Okyanus sularında ise çözülmüş madde yoğunluğu azdır. Dolayısıyla emilmede diğer bileşenlere göre daha az etkilidirler. Bu çözülmüş organik maddeler kırmızı ışığı çok az emerken, dalga boyu küçüldükçe emilme miktarı artar ve mavi ve ultraviole bölgesinde oldukça büyük değerlere ulaşır. Su içerisinde bulunan organik maddeler değişik formlarda bulunabilirler:

**Virüsler:**  $1 \text{ m}^3$  doğal deniz suyunda yaklaşık  $10^{12}$  ile  $10^{15}$  arasında virüs bulunur (Stramski 2004). Bu virüslerin büyük çoğunluğunun boyutları 20-250nm arasındadır ve bu da görünür ışığın dalga boyundan oldukça küçüktür. Bu küçük ebatlarından dolayı tek başlarına emilmede ve saçılmada çok etkili olmamakla birlikte sayıları çok fazla olduğundan emilmede ve saçılmada oldukça etkilidirler.



Şekil 2.4. Su içerisinde bulunan bileşenler (Stramski ve ark. 2004).

**Asılı duran katı maddeler:** Okyanus sularında en çok bulunan parçacıklardır. Cansız olan bu maddelerin ebatları yaklaşık 1nm ile 1µm arasındadır. Boyutları 5nm ile 200nm arasında olanlarının yoğunluğu  $10^9 \text{ m}^{-3}$  ve boyutları 0.4µm ile 1µm arasında olanların yoğunluğu ise  $10^7 \text{ m}^{-3}$  civarındadır (Stramski ve ark. 2004). Bu maddeler geri saçılmada oldukça etkilidirler.

**Bakteriler:** Canlı bakterilerin boyutları 0.2µm ile 1µm arasındadır ve yoğunluğu  $10^{11} - 10^{13} \text{ m}^{-3}$ 'dir. Bakteriler saçılmada ve emilmede etkilidirler. Özellikle mavi ışık bölgesinde etkilidirler.

**Foto planktonlar:** Bu mikroskobik canlılar su içerisinde çok değişik boyutlarda, şekillerde ve yoğunlukta bulunurlar. Boyutları 1µm ile 200µm arasında değişir.

Özellikle okyanus sularının optik özelliklerini büyük ölçüde etkilerler. Klorofil ve ilgili pigmentler özellikle kırmızı ve mavi ışığı çok fazla emerler. Yoğunlukları fazla olduğundan deniz suyunun emmesini belirleyen temel faktör olurlar. Boyutları görünür ışığın dalga boyundan oldukça büyüktür ve kırılmada dolayısıyla saçılmada oldukça etkilidirler. Büyük parçacıklar genellikle küçük açılı saçılmalara neden olurlar.

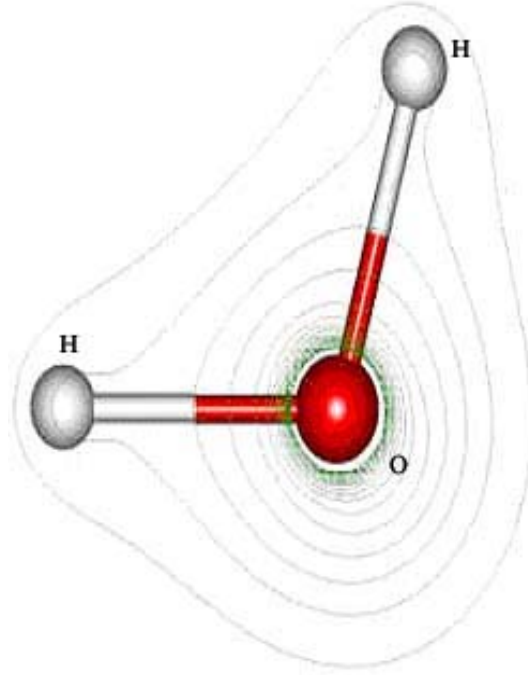
**Organik tortular:** Su içerisinde değişik boyutlarda cansız organik parçacıklar bulunur. Bunlar genellikle su içerisinde yaşayan canlıların ölmesi ve parçalanması sonucu oluşurlar. Yapısında pigment bulunduran canlılar çok hızlı photo oksidasyona uğrarlar ve dolayısıyla emilmedeki etkilerini kaybederler. Bu tortular genellikle geri saçılmada etkilidirler.

**Büyük parçacıklar:** Deniz yüzeyinde meydana gelen kabarcıklar suyun dalgalanmasından, yağmur damlalarından, biyolojik canlıların vücutsal faaliyetlerinden, organik maddelerin çözülmesinden ve buharlaşmadan kaynaklanır (Stramski ve ark. 2004). Boyutları 200 $\mu\text{m}$ 'den büyük olan büyük parçacıklar (boyutları 10 $\mu\text{m}$ 'den başlayan 2cm'ye kadar olan zooplanktonlar da dahil) genellikle ışığı her yöne saçarlar (Mobley 1994).

**İnorganik parçacıklar:** İnorganik parçacıklar, tuz, kil, mineraller ve çeşitli boyutlarda metal oksitlerden oluşurlar. İnorganik parçacıklar, bazen organik parçacıklardan daha etkili olurlar.

### 2.2.3. Suyun kimyasal özellikleri

Suyun kimyasal özellikleri, optik ışınların su içerisinde yayılımını belirleyen en temel özelliklerdendir. Su iki hidrojen ve bir oksijen atomundan ( $\text{H}_2\text{O}$ ) meydana gelen bir moleküldür. Molekül yapısı, Şekil 2.5'de gösterildiği gibi V şeklindedir. O-H bağların uzunluğu suyun polarizasyona, çevre koşullarına, gaz, sıvı ve kat hallere bağlı olarak 0.957 Å ile 1Å arasındadır. H-O-H açısı ise 104,52° ile 109,5° arasındadır.



Şekil 2.5. Suyun molekül yapısı (<http://www.lsbu.ac.uk/water/molecule.html>).

Su molekülleri polar (kutuplu) yapıdadırlar (Pegau 1997).  $H_2O$  molekülleri toplamda her ne kadar nötr olsalar da, kendi içlerinde kısmi olarak artı – eksi kutuplaşması içindedirler. Bu, suyu oluşturan hidrojen ve oksijen atomlarının elektronegatiflik farklarından kaynaklanır. Oksijen, hidrojenen daha elektronegatif olduğu için, elektronlar oksijenin olduğu kısımda daha fazla vakit harcayacaklardır. Bundan dolayı, oksijen atomu civarındaki elektron yoğunluğu, hidrojen atomu civarındaki elektronik yoğunluğunun yaklaşık 10 katıdır.

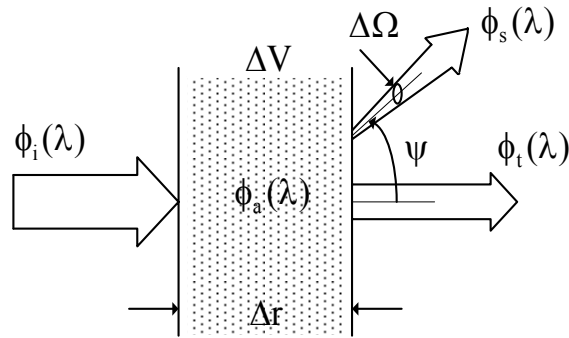
Suyun optik özelliklerini belirleyen temel özelliklerden biri su moleküllerinin titreşimidir. Genel olarak çok atomlu moleküllerin titreşim hareketi temel frekanslar veya temel modlar olarak tanımlanır. Her bir atom üç boyutlu uzayda üç farklı titreşim hareketine sahiptir. Dolayısıyla  $N$  adet atomdan meydana gelen bir molekül  $3N$  tane farklı titreşim özelliği gösterir. Atomlar arasındaki titreşimler, moleküldeki atomlar arasındaki mesafenin değişmesi ile oluşan uzama (stretching) titreşimi ve atomlar arasındaki açının değişmesi ile oluşan bükme (bending) titreşimi olmak iki ana grupta toplanabilir. Uzama titreşimi simetrik ve simetrik olmayan uzama olmak üzere ikiye ayrılır. Su moleküllerinde simetrik uzama titreşimi  $3049\text{nm}'de$ , asimetric titreşim

2865nm'de ve bükme titreşimi de 6079nm'de meydana gelir (Pegau 1997). Su molekülleri iki farklı atomdan meydana geldiğinden 6 farklı titreşim moduna sahiptir (Svanberg, 2001).

#### 2.2.4. Suyun optik özellikleri

Doğal suda (tatlı ve tuzlu suda) çözülmüş halde ve asılı duran maddeler vardır. Bu maddeler suyun optik özelliklerini önemli ölçüde etkilerler (Wozniak 2004). Bu maddelerin çeşitliliği ve yoğunluğu değişkendir. Dolayısıyla doğal suların optik özellikleri çok geniş bir aralıkta değişim gösterir ve nadiren saf suyun optik özellikleri ile benzerlik gösterir.

Optik ışınların su içerisinde yayılımının teorik analizini yapmak için Şekil 2.6'da gösterildiği gibi  $\Delta V$  hacimli  $\Delta r$  uzunluklu bir su kütlesi ele alalım. Bu su kütlesin spektral gücü  $\phi_i(\lambda)$  olan bir monokromatik ışık kaynağı ile aydınlatıldığında suya gelen bu ışın gücünün  $\phi_a(\lambda)$ 'lık kısmı su tarafından emilir.  $\phi_s(\lambda, \varphi)$ 'lık kısmı  $\varphi$  açısı ile saçılmaya uğrar. Geri kalan  $\phi_t(\lambda)$ 'lık kısmı ise herhangi bir yön değişikliğine uğramadan su kütlesinden geçer. Tüm yönlere saçılan ışın şiddetini  $\phi_s(\lambda)$  ile gösterelim ve inelastik bir saçılmanın (herhangi bir fotonun kendi dalga boyundan farklı bir dalga boyunda saçılmadığını) olmadığını kabul edersek enerjinin korunumu ilkesine göre,



Şekil 2.6. Suyun optik özelliklerini su içerisinde yayılımı (Mobley 1994).

$$\phi_i(\lambda) = \phi_a(\lambda) + \phi_s(\lambda) + \phi_t(\lambda) \quad (2.1)$$

yazılabilir (Mobley 1994). Spektral emilme  $A(\lambda)$ , emilen ışın şiddetinin gelen ışın şiddetine oranıdır:

$$A(\lambda) = \frac{\phi_a(\lambda)}{\phi_i(\lambda)} \quad (2.2)$$

Burada spektral kelimesi dalga boyuna bağımlılığı gösterir. Benzer şekilde spektral saçılma ve geçme sırasıyla (Mobley 1994),

$$B(\lambda) = \frac{\phi_s(\lambda)}{\phi_i(\lambda)} \quad (2.3)$$

$$T(\lambda) = \frac{\phi_t(\lambda)}{\phi_i(\lambda)} \quad (2.4)$$

Yazılabilir.  $A(\lambda) + B(\lambda) + T(\lambda) = 1$  olduğu açıktır.

Spektral emilme katsayısı  $a(\lambda)$ , spektral emilme ifadesinden elde edilebilir (Mobley 1994).

$$a(\lambda) = \lim_{\Delta r \rightarrow 0} \frac{A(\lambda)}{\Delta r} \quad (\text{m}^{-1}) \quad (2.5)$$

Benzer şekilde spektral saçılma katsayısı da,

$$b(\lambda) = \lim_{\Delta r \rightarrow 0} \frac{B(\lambda)}{\Delta r} \quad (\text{m}^{-1}) \quad (2.6)$$

şeklinde yazılabilir (Mobley 1994). Spektral zayıflama katsayısı ise,

$$c(\lambda) = a(\lambda) + b(\lambda) \quad (\text{m}^{-1}) \quad (2.7)$$

şeklinde yazılabilir (Mobley 1994, Aiken 1994).

Saçılan gücün açısal dağılımını incelemek için Şekil 2.20'de gösterilen yapıdan yararlanılabilir. Burada  $\psi$  saçılma açısında ( $0 \leq \psi \leq \pi$ )  $\Delta\Omega$  katı açısında saçılan akı  $B(\psi; \lambda)$  ile gösterilirse birim uzunluktaki ve birim açıdaki açısal saçılma (Mobley 1994),

$$\beta(\psi; \lambda) = \lim_{\Delta r \rightarrow 0} \lim_{\Delta\Omega \rightarrow 0} \frac{B(\psi; \lambda)}{\Delta r \Delta\Omega} = \lim_{\Delta r \rightarrow 0} \lim_{\Delta\Omega \rightarrow 0} \frac{\phi_s(\psi; \lambda)}{\phi_i(\lambda) \Delta r \Delta\Omega} \quad (\text{m}^{-1} \text{sr}^{-1}) \quad (2.8)$$

olur.

### 2.2.5. Optik ışınların su içerisinde emilmesi

Doğal suların spektral emilme katsayısının ölçülmesi oldukça zor bir işlemdir. Genel olarak emilme katsayısı ya 1cm'lik bir küvet içerisinde su örneği alınarak laboratuarda spektrofotometre ile ya da Wetlabs firmasının ürettiği AC-9 veya HobiLabs firmasının ürettiği a-beta cihazları ile yerinde ölçülür (Babin 2003). Özellikle yakın morötesi ve mavi ışık bölgesinde emilme oldukça düşük olduğundan bu düşük değeri ölçmek için oldukça hassas cihazlara ihtiyaç vardır. Daha önemlisi su içerisinde saçılmalar da meydana gelmektedir. Dolayısıyla emilme katsayısı ölçülürken saçılmanın etkisinin ortadan kaldırılması gerekir. Örneğin saf suda  $\lambda=370\text{nm}-450\text{nm}$  arasında zayıflamanın %20-25'lik kısmı saçılmalarla kaynaklanır (Çizelge 2.4.) (Mobley 1994). Çoğu doğal suda görünür bölgede saçılma etkisi emilmeden daha fazladır. Bunun için emilme katsayısı ölçülürken su örneği önce filtreden geçirilir ve içindeki parçacıklardan arındırılır ve spektrofotometre ile su örneğinden geçen ışın miktarı ölçülür. Bu en klasik yöntemdir.

Doğal suların emilme katsayısını, su molekülleri, su içerisinde bulunan çözülmüş organik parçacıklar, fitoplanktonlar ve diğer parçacıklar belirler. Bu parçacıkların yoğunluğu değişken olduğundan tam bir ölçüm yapmak mümkün değildir. Sadece belli bir su örneği için ölçüm yapılır ve su içerisinde belli parçacıkların bulunduğu kabul

edilir. Genel olarak doğal suların emilme katsayısı aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Stramski 2004, Vountas 2003).

$$a(\lambda) = a_w(\lambda) + a_{DOM}(\lambda) + a_p(\lambda) \quad (2.9)$$

Burada  $a_w(\lambda)$  saf suyun emme katsayısı,  $a_{DOM}(\lambda)$ , su içerisinde çözülmüş halde bulunan organik parçacıkların emme katsayısı,  $a_p(\lambda)$ , fotoplanktonun emme katsayısıdır. Unutmamak gerekir ki su içerisinde bu formülde verilen parçacıkların dışından da parçacıklar vardır. Burada ana bileşenler dikkate alınmıştır.

### 2.2.6. Optik Işıkların Su İçerisinde Saçılması

Saçılma olayı, fotonların sudaki parçacıklar ve su molekülleri ile çarpışmasından kaynaklanır. Bu çarpışma sonucunda fotonun enerjisi her yöne dağılır. Dağılımanın miktarı ve şekli parçacığın büyüklüğüne, parçacığın yoğunluğuna ve kırılma indisine ve fotonun dalga boyuna ve polarizasyonuna bağlıdır.

Genel olarak iki tip saçılma vardır: elastik ve elastik olmayan saçılma. Eğer molekül çarpışma sonunda gelen fotonla aynı enerjiye sahip (dolayısıyla gelen fotonla aynı dalga boyunda) bir foton yayınlarken hemen kendi enerji seviyesine geri dönüyorsa bu tip saçılmaya elastik saçılma denir. Rayleigh ve Mie saçılmaları elastik saçılmalardır. Elastik saçılmada ışının sadece yönü değişir, dalga boyu değişmez (Stramski ve ark. 2004).

Çarpışma sonunda uyarılmış olan molekül gelen fotonun enerjisinden daha düşük bir enerjiye sahip (gelen fotonun dalga boyundan daha büyük dalga boylu) bir foton yayabilir ve uyarılmış ara bir enerji seviyesinde kalabilir. Daha sonra bu molekül bir foton daha yayarak orijinal enerji seviyesine dönebileceği gibi geri kalan enerji ısı enerjisine veya kimyasal enerjiye dönüşebilir. Molekül çarpışmadan önce uyarılmış enerji seviyesinde de bulanabilir. Bu durumda molekül gelen fotonun enerjisinden daha büyük bir enerjiye sahip (gelen fotonun dalga boyundan daha küçük dalga boylu) bir foton yayabilir. Sonuç olarak çarpışma sonunda molekül, gelen fotonun dalga boyundan daha uzun veya daha kısa dalga boylu bir foton meydana gelen saçılmaya elastik



olmayan saçılma denir. Raman saçılması elastik olmayan saçılmadır (Stramski ve ark. 2004). Optik ışınların su içerisinde yayılmasında elastik saçılma elastik olmayan saçılmaya göre daha etkilidir. Sudaki parçacık yoğunluğu düştüğünde Raman saçılması önemli gelir. Suda Raman saçılmasının meydana gelme olasılığı elastik saçılmanın meydana gelme olasılığının 1/10'dur (Barlett ve ark., 1998). 10 fotondan biri su molekülleri tarafından başka bir dalga boyunda Raman saçılmasına uğrarlar (Mobley, 1994).

### Rayleigh teorisi

Işığın saçılması ilk olarak 1871 yılında Lord Rayleigh tarafından incelenmiştir. Rayleigh, parçacıkları bir dipol olarak değerlendirmiştir. Rayleigh ilk olarak bu teoriyi izotropik parçacıklar için geliştirmiştir. Daha sonra 1920 yılında Rayleigh ve Cabannes anizotropik parçacıkları da kapsayacak şekilde geliştirmişlerdir.

E elektrik alanına yerleştirilen bir parçacık momenti P olan bir dipol gibi davranır. Dipol momenti  $P=pE$  olup p parçacığın polarize edilebilirliğidir. Burada sözü geçen parçacık, elektrik alan homojen kabul edilebilecek kadar dalga boyuna göre çok küçüktür. Böylece saçılma bu dipolün osilasyonudur. Bu osilasyonun frekansı uyarılan radyasyona bağlıdır.

Şiddeti  $I_0$  olan bir paralel monokromatik ve unpolarize bir ışın bir parçacığa çarptığında saçılan ışın şiddeti (Morel 1974),

$$I(\theta) = \frac{I_0}{2d^2} k^4 p^2 (1 + \cos^2 \theta) \quad (2.10)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada d; parçacık ile gözlem noktası arasındaki mesafedir.  $\theta$ ; gözlem noktası ile ışının gelme doğrultusu arasındaki açı, k; dalga sayısı olup  $k = 2\pi/\lambda$  'dır, burada  $\lambda$ ; dalga boyudur. Bu formülden görüldüğü gibi saçılma simetriktir ve dalga boyunun dördüncü kuvveti ile ters orantılıdır.

İçin N adet parçacık içeren bir hacim ele alırsak ve her parçacıktan saçılan alanı toplanabilir kabul edersek,

$$I(\theta) = NI_0 \frac{8\pi^4}{\lambda^4} p^2 (1 + \cos^2 \theta) \quad (2.11)$$

olur. Eğer parçacıklar küreselse parçacığın polarize edilebilirliği Lorentz- Lorenz formülü ile ifade edilebilir.

$$p = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} r^3 \quad (2.12)$$

Böylece  $\theta$  açısında saçılan ışın şiddeti,

$$I(\theta) = NI_0 \frac{8\pi^4}{\lambda^4} r^6 \left( \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)^2 (1 + \cos^2 \theta) \quad (2.13)$$

olur.

### **Dalgalanma teorisi (Einstein - Smoluchowski Teorisi)**

Deneysel sonuçlar, sıvılar gibi yoğun ortamlarda Rayleigh teorisinin geçerli olmadığını göstermiştir (Morel 1974). Rayleigh teorisi, birbirinden bağımsız (ayrı) parçacıklar için doğru sonuçlar verirken, moleküller arasındaki sıkı etkileşimden dolayı sıvılarda geçerli değildir (Morel 1974).

Einstein ve Smoluchowski'nin geliştirdiği dalgalanma teorisi yoğun ortamlar için uygulanabilir. Bu teori istatistiksel termodinamiğe dayanır. İlk olarak termodinamik için geliştirilmiş, daha sonra yoğun ortamlarda ışığın saçılmasına uygulanmıştır. Dalgalanma teorisi, Rayleigh teorisi gibi dalga boyuna bağlıdır ve saçılma simetriktir. Dalgalanma teoride, saçılma, moleküllerin rasgele hareketlerinden kaynaklanır (Morel 1974). Rayleigh katsayısının izotropik kısmı,

$$R_{\text{iso}} = \frac{\pi^2}{2\lambda_0^4} \Delta V \langle \overline{\Delta \varepsilon} \rangle^2 \quad (2.14)$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $\langle \overline{\Delta\varepsilon} \rangle^2$ ;  $\Delta V$  hacimli ortamın dielektrik sabitindeki inip - çıkmanın karesel ortalaması,  $\lambda_0$  ışığın vakumdaki dalga boyudur. Dielektrik sabitindeki inip - çıkma, yoğunluğun değişmesinden kaynaklanır. Dolayısıyla,

$$\langle \overline{\Delta\varepsilon} \rangle^2 = \frac{d\varepsilon}{d\rho} \langle \overline{\Delta\rho} \rangle^2 \quad (2.15)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $\langle \overline{\Delta\rho} \rangle^2$ ; yoğunluk değişmesinin karesel ortalamasıdır. Bu yoğunluk değişmesi,  $\Delta V$  hacmindeki ortalama molekül sayısının değişme olasılığı ile ilgilidir.  $\Delta V$  hacmi, dalga boyuna göre çok küçük, istatistiksel termodinamik kanunlarının uygulanabileceği kadar büyüktür. Böylece Rayleigh katsayısının izotropik kısmı,

$$R_{\text{ISO}} = \frac{\pi^2}{2\lambda_0^4} KT\beta_T \rho^2 \left( \frac{d\varepsilon}{d\rho} \right)^2 \quad (2.16)$$

şeklinde veya,

$$R_{\text{ISO}} = \frac{2\pi^2}{\lambda_0^4} KT\beta_T \left( \rho n \frac{dn}{d\rho} \right)^2 \quad (2.17)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $K$ ; Boltzman sabiti,  $T$ ; mutlak sıcaklık,  $\beta_T$ ; suyun ısıl sıkıştırılabilirliği,  $n$ ; kırılma indisi olup  $\varepsilon = n^2$ 'dir. Kırılma indisi ile yoğunluk arasındaki ilişkiyi ifade etmek için çok sayıda deneysel formül geliştirilmiştir. Bunlardan biri, Lorentz - Lorenz ifadesidir.

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{1}{\rho} = \text{sabit} \quad (2.18)$$

$$\frac{d\varepsilon}{d\rho} = \frac{d\varepsilon}{dn} \frac{dn}{d\rho} \quad (2.19)$$

şeklinde yazılabilir.  $\varepsilon = n^2$  olduğundan

$$\frac{d\varepsilon}{dn} = 2n \quad (2.20)$$

olur. Lorentz - Lorenz ifadesinden kırılma indisi,

$$n = \sqrt{\frac{2K\rho + 1}{1 - K\rho}} \quad (2.21)$$

şeklinde ifade edilebilir. Buradan,

$$\frac{dn}{d\rho} = \frac{3K}{2n} \frac{(n^2 + 2)^2}{9} \quad (2.22)$$

olur. Böylece,

$$\frac{d\varepsilon}{d\rho} = \frac{d\varepsilon}{dn} \frac{dn}{d\rho} = 2n \frac{3K}{2n} \frac{(n^2 + 2)^2}{9} = \frac{K}{3} (n^2 + 2)^2 \quad (2.23)$$

olur. Buradan,

$$\rho \frac{d\varepsilon}{d\rho} = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{1}{K} \frac{K}{3} (n^2 + 2)^2 = \frac{1}{3} (n^2 - 1)(n^2 + 2) \quad (2.24)$$

olur. Böylece (2.16) eşitliği,

$$R_{iso} = \frac{\pi^2}{2\lambda_0^4} KT\beta_T \frac{(n^2 - 1)(n^2 + 2)}{9} \quad (2.25)$$

olur.

Lorentz - Lorenz ifadesine göre kırılma indisi ile yoğunluk sıcaklıktan ve basınçtan bağımsız olması gerekir. Ancak gerçekte durum böyle değildir. Bunun yerine sıcaklık ve basıncı da dikkate alan yeni ifade geliştirmek gerekir.

$$\rho \frac{d\varepsilon}{d\rho} = \frac{1}{\beta_T} \left( \frac{d\varepsilon}{dP} \right)_T = \frac{2n}{\beta_T} \left( \frac{dn}{dP} \right)_T \quad (2.26)$$

(2.26) ifadesi (2.16) eşitliğinde yerine konursa,

$$R_{ISO} = \frac{\pi^2}{2\lambda_0^4} KT\beta_T\rho^2 \left( \frac{d\varepsilon}{d\rho} \right)^2 = \frac{2\pi^2}{\lambda_0^4} KTn^2 \frac{1}{\beta_T} \left( \frac{dn}{dP} \right)_T \quad (2.27)$$

olur. Benzer şekilde,

$$\rho \frac{d\varepsilon}{d\rho} = \frac{1}{\alpha_p} \left( \frac{d\varepsilon}{dT} \right)_p = \frac{2n}{\alpha_p} \left( \frac{dn}{dT} \right)_p \quad (2.28)$$

(2.28) ifadesi (2.16) eşitliğinde yerine konursa,

$$R_{ISO} = \frac{\pi^2}{2\lambda_0^4} KT\beta_T\rho^2 \left( \frac{d\varepsilon}{d\rho} \right)^2 = \frac{2\pi^2}{\lambda_0^4} KTn^2 \frac{1}{\alpha_p} \left( \frac{dn}{dT} \right)_p \quad (2.29)$$

olur. Burada  $\alpha_p$ ; hacimsel genişleme katsayısıdır. Burada, suda sıcaklık değişimi ihmal edilebilir seviyede olduğundan (2.27) eşitliği en iyi yaklaşımdır. Böylece bu eşitlik ile Rayleigh katsayısının izotropik kısmı, fiziksel sabitler ve  $\beta_T$  ve  $\left( \frac{dn}{dP} \right)_T$ 'nin deneysel sonuçları kullanılarak hesaplanabilir.

Fluctation teoride, anizotropik saçılma anizotropik moleküllerin yerleşimlerinin değişiminden kaynaklandığı kabul edilir. Rayleigh katsayısının anizotropik kısmı diğer

fiziksel parametrelere bağlıdır. Cabannes (1929), Prinz ve Prinz (1956), Benoit ve Stockmayer (1956) deneysel olarak toplam Rayleigh katsayısının (Morel 1974),

$$R_{\text{TOT}} = R_{\text{ISO}} \frac{6 + 6\delta}{6 - 7\delta} \quad (2.30)$$

olduğunu gösterdiler.  $6 + 6\delta/6 - 7\delta$  oranı Cabannes faktörü olarak tanımlanır. Sonuç olarak toplam Rayleigh katsayısı,

$$R_{\text{TOT}} = \frac{2\pi^2}{\lambda_0^4} K T n^2 \frac{1}{\beta_T} \left( \frac{dn}{dP} \right)_T \frac{6 + 6\delta}{6 - 7\delta} \quad (2.31)$$

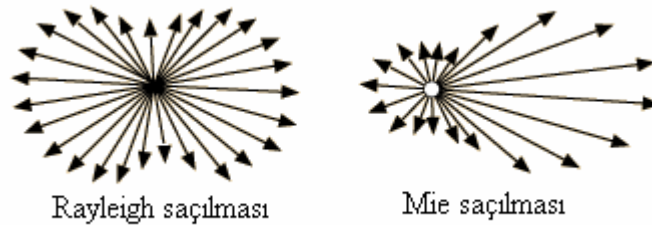
olur. Saçılan ışın şiddeti ise saçılma açısına bağlı olarak (Morel 1974, Mobley 1994),

$$P_{\text{TOT}} = P \frac{2\pi^2}{\lambda_0^4} K T n^2 \frac{1}{\beta_T} \left( \frac{dn}{dP} \right)_T \frac{6 + 6\delta}{6 - 7\delta} (1 + 0,835 \cos^2 \theta) \quad (2.32)$$

şeklinde ifade edilebilir.

### Mie Saçılması

Önemli bir diğer saçılma türü, Mie saçılmasıdır. Eğer sudaki parçacığın yarıçapı ışığın dalga boyuna yakın veya büyük ise Mie saçılması meydana gelir. Mie saçılması Rayleigh saçılması gibi elastik bir saçılmadır. Şekil 2.7'de Rayleigh ve Mie saçılmaları gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Rayleigh ve Mie saçılmaları.

Mie teorisi, klasik elektromanyetik denklemlere dayanır ve sınır koşulları kullanılarak çözülür. a yarıçaplı parçacıktan r mesafesine saçılan ışık şiddeti yoğunluğu ( $W/m^2$ ),

$$I = I_0 \frac{1}{2k^2 r^2} (|S_1(\theta)|^2 + |S_2(\theta)|^2) \quad (2.33)$$

şeklinde tanımlanabilir (Hulst, 1981). Burada  $I_0$ ; parçacığa gelen ışın şiddeti yoğunluğu,  $k = 2\pi/\lambda$  dalga sayısı,  $\lambda$ ; gelen ışının dalga boyu,  $S_1(\theta)$  ve  $S_2(\theta)$  ise saçılma fonksiyonları olup aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$S_1(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1)} [a_n \pi_n(\cos \theta) + b_n \tau_n(\cos \theta)] \quad (2.34)$$

$$S_2(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1)} [b_n \pi_n(\cos \theta) + a_n \tau_n(\cos \theta)] \quad (2.35)$$

Burada  $a_n$  ve  $b_n$ 'ler katsayılarıdır. Ayrıca burada,

$$\pi_n(\cos \theta) = \frac{1}{\sin \theta} P_n^1(\cos \theta) \quad (2.36)$$

$$\tau_n(\cos \theta) = \frac{d}{d\theta} P_n^1(\cos \theta) \quad (2.37)$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $P_n^1$ 'ler birinci dereceden Legendar polinomudur. (2.35) eşitliğinde  $a_n$  ve  $b_n$  katsayıları,

$$b_n = \frac{m^2 J_n(mx) [x J_n(x)]' - J_n(x) [mx J_n(mx)]'}{m^2 J_n(mx) [x h_n^{(1)}(x)]' - h_n^{(1)}(x) [mx J_n(mx)]'} \quad (2.38)$$

$$b_n = \frac{J_n(mx)[xJ_n(x)] - J_n(x)[mxJ_n(mx)]}{J_n(mx)[xh_n^{(1)}(x)] - h_n^{(1)}(x)[mxJ_n(mx)]} \quad (2.39)$$

eklinde tanımlanır. Burada,  $m = n_{\text{parçacık}} / n_{\text{ortam}}$  olup  $n_{\text{parçacık}}$  parçacığın kırılma indisi,  $n_{\text{ortam}}$  ortamın kırılma indisidir.  $J_n$ 'ler birinci dereceden küresel Bessel fonksiyonu,  $h_n$ 'ler ise küresel Hankel fonksiyonu,  $x = ka = 2\pi a / \lambda$  'dir.

### Raman Saçılması

Raman saçılması, Rayleigh saçılması gibi küçük parçacıklar (veya moleküller) tarafından gerçekleştirilir. Bundan dolayı saçılan ışın şiddeti Rayleigh saçılmasındaki gibi ifade edilebilir. Suda meydana gelen Raman saçılması su moleküllerinden kaynaklandığından tüm sularda Raman saçılması vardır. Raman saçılması sıcaklığa ve tuzluluğa bağlıdır (Schroeder ve ark., 2003). Raman saçılmasında suya gelen ışığın enerjisi korunmaz, enerjinin bir kısmı O-H moleküllerinin titreşim modlarının değişmesine neden olur (Hu and Voss, 1997).

Belli dalga boylu bir ışık su molekülüne çarptığında, molekül gelen ışığın bir kısmını gelen ışığın dalga boyundan daha büyük bir dalga boyunda tekrar yayılım yapar. Işığın tekrar yayılımı Raman saçılma katsayısı  $b^R$  ile tanımlanır (Schroeder ve ark., 2003).

$$b^R(\lambda' \rightarrow \lambda) = a^R(\lambda') f^R(\lambda' \rightarrow \lambda) \quad (2.40)$$

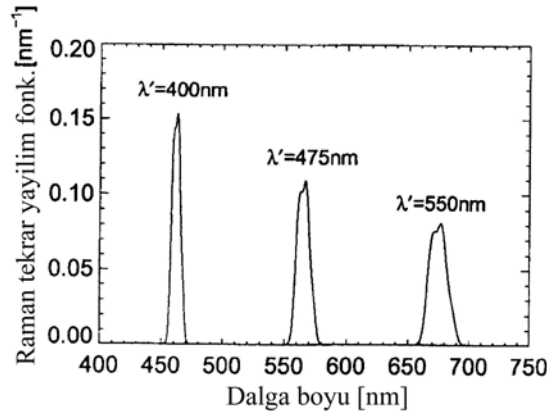
Burada  $\lambda'$ ; gelen ışığın dalga boyu,  $\lambda$ ; ise saçılan ışığın dalga boyu,  $f^R$ ; Raman tekrar yayılım fonksiyonudur.  $a^R$ , suyun Raman emilme katsayısı olup,

$$a^R(\lambda') = a_0^R(\lambda_0) \left( \frac{\lambda_0}{\lambda'} \right)^n \quad (2.41)$$



şeklinde tanımlanır. Literatürde  $a_0^R(\lambda'_0)$  ve  $n$  için yapılmış çalışmalar vardır.  $\lambda'_0 = 488\text{nm}$  ve  $n=5.5$  için  $a_0^R = (2.7 \pm 0.2)$  ölçülmüştür (Schroeder ve ark., 2003).

$f^R$  Raman tekrar yayılım fonksiyonu Gauss fonksiyonunun toplamı şeklinde ifade edilebilir. Şekil 2.8'de 400nm, 475nm ve 550nm dalga boylu gelen ışınlar için Raman tekrar yayılım fonksiyonu gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Raman tekrar yayılım fonksiyonu (Schroeder ve ark., 2003).

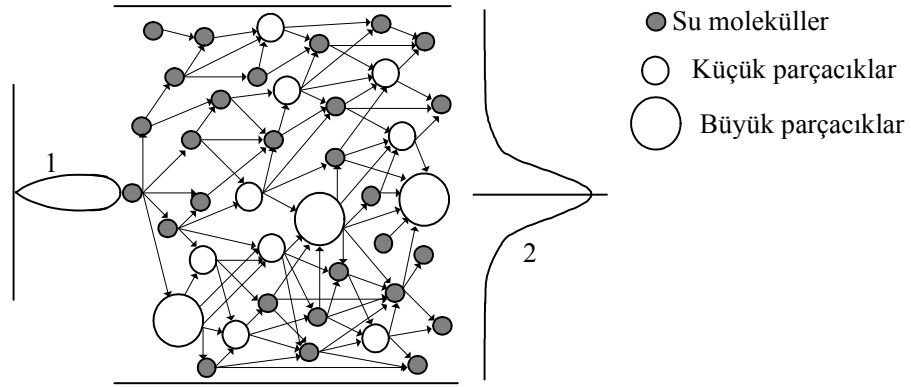
### 2.2.7. Optik Işınlarda su içerisinde yayılımının modellenmesi

Su moleküllere ve suyun içerisinde bulunan parçacıklar optik ışınların su içerisinde yayılımını belirleyen en temel parametrelerdir. Ayrıca sıcaklık basınç gibi ortam şartları da optik ışınların su içerisinde yayılımını etkiler. Su içerisinde bulunan parçacıkların çeşitliliği ve bu parçacıkların yoğunlukları oldukça değişkendir. Dolayısıyla bir su örneği için elde edilen zayıflama ve saçılma katsayısı gibi optik parametreler sadece o su örneği için geçerlidir. Bundan dolayı tam bir teorik analiz yapmak oldukça zordur. Şimdiye kadar yapılan analizlerde bir takım kabuller yapılmıştır. Öncelikle su içerisinde bulunan parçacıklar birkaç ana sınıfı ayrılmış ve bir sınıfın tüm üyelerinin aynı özelliklere sahip olduğu (homojen ve belli bir şekle sahip olduğu ve kırılma indislerinin aynı olduğu) kabul edilmiştir. Ama gerçekte her bir parçacığın şekli, boyutu ve kırılma indisi farklıdır (Mishchenko ve ark. 2000).

Optik ışınların su içerisinde yayılımı, bazı kabullerle Şekil 2.9'da gösterildiği modellenenabilir. Bu kabuller şunlardır:

1. Su içerisinde bulunan parçacıklar küçük parçacıklar ve büyük parçacıklar olmak üzere iki gruba ayrılmışlardır.
2. Bu parçacıkların küresel ve homojen oldukları kabul edilmiştir.
3. Raman saçılmasından kaynaklanan dalga boyu kayması ihmal edilmiştir.
4. Geriye doğru saçılmalar ihmal edilmiştir.

Şekil 2.9’da su molekülleri “●”, küçük parçacıklar “○” ve büyük parçacıklar da “○” ile gösterilmiştir. Suya gelen ışının dağılımı “1” ile sudan geçen ışının dağılımı ise “2” ile gösterilmiştir. Su moleküllerinin sebep olduğu saçılma fluctation teorisi ile ifade edilebilir. küçük parçacıklar için ise her bir parçacıktan saçılan güç yoğunluğu Rayleigh teorisi ile, büyük parçacıklar için ise Mie teorisi ile ifade edilebilir. Her bir parçacık ikincil bir kaynak gibi davrandığından her bir parçacıktan saçılan alanlar hesaplanarak ve toplamsallık ilkesi kullanılarak belli bir mesafe sonra ışının dağılımı teorik olarak elde edilebilir.



Şekil 2.9. Optik ışınların su içerisinde yayılımı.

### 2.2.8. Optik ışınların su içerisinde yayılmasının teorik analizi

Optik ışınlar su içerisinde yukarıda anlatıldığı gibi emilmeye saçılmaya uğrarlar. Emilme ve saçılma miktarı su içerisinde bulunan parçacıklara bağlıdır. Su ortamından geçen ışın miktarı teorik hesaplanabilir.

Monokromatik ışınların saçılmaya uğramadığı bir ortam için L mesafesine ulaşan fotonların akısı (Balkanov ve ark. 1999),

$$F(L) = \frac{I_0}{4\pi L^2} \exp(-aL) \quad (2.42)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada  $I_0$ ;  $L=0$ 'daki foton akısı ve  $a$ ; ortamın emilme katsayısıdır. Eğer ortam saçıcı bir ortam ise fotonlar rasgele saçılmaya uğrarlar. Emici ve saçıcı bir ortam olan suda (2.42) ifadesi aşağıdaki gibi olur (Balkanov ve ark. 1999),

$$F(L) = \frac{I_0}{4\pi L^2} \exp\left\{-aL\left[1 + \frac{1}{3}bL(1 - \langle \cos \theta \rangle)\right]\right\} \quad (2.43)$$

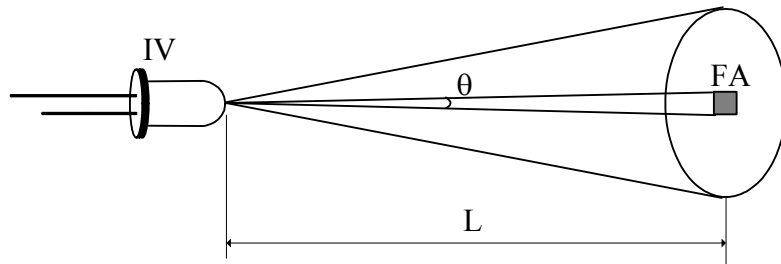
olur. Burada  $b$ ; suyun saçılma katsayısı,  $\theta$ ; saçılma açısıdır.

Balkanov ve arkadaşları yaptıkları deneysel çalışmada monokromatik ışınların su içerisinde mesafe ile değişiminin,

$$F(L) \sim \frac{1}{L^2} \exp(-cL) \quad (2.44)$$

ile orantılı olduğunu göstermişlerdir. Burada  $c$ ; ortamın zayıflama katsayısıdır.

LED ışınları için su ortamından geçen ve fotoalıcıya ulaşan ışın şiddetini hesaplamak için Şekil 2.10'da gösterilen diyagramdan yararlanalım. Burada IV; ışın verici, FA; fotoalıcı,  $L$ ; ışın verici ile fotoalıcı arasındaki mesafedir.



Şekil 2.10. Işın verici fotoalıcı sistemin optik şeması.

Işın verici olarak LED kullanıldığını kabul edelim. LED'in ışın diyagramı (Uiga 1995),

$$P_{LED} = P_0 \cos^m \varphi \quad (2.45)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada  $P_0$ ; LED'in maksimum ışın şiddeti,  $\varphi$ ; ışın diyagramının açısı,  $m$ ; ışın diyagramının derecesi olup  $m = 0,31/\log(\cos(\theta_{1/2}))$  şeklinde tanımlanır. Burada  $\theta_{1/2}$ ; LED'in yarı açısıdır. Fotoalıcıya ulaşan ışın şiddeti,

$$P_{FA} = \frac{(m+1)A}{2\pi L^2} P_0 e^{-cL} \cos^m \varphi \cos \theta \quad (2.46)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada  $A$  fotoalıcının ışığa duyarlı alanının alanı,  $c$  ortamın zayıflama katsayısıdır. Fotoalıcının çıkışında elde edilen foto işaret ise,

$$U_{FA} = S_\lambda P_{FA} = S_\lambda \frac{(m+1)A}{2\pi L^2} P_0 e^{-cL} \cos^m \varphi \cos \theta \quad (2.47)$$

olur. Burada  $S_\lambda$ ; fotoalıcının spektral duyarlılığıdır. LED'den yayılan ışın şiddeti (Musayev 1999),

$$P_0 = K_L I_L \quad (2.48)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $K_L$ ; LED'in akımı ışına çevirme katsayısı,  $I_L$ ; LED akımıdır. Böylece fotoalıcının çıkışında elde edilen foto işaret,

$$U_{FA} = S_\lambda P_{FA} = S_\lambda \frac{(m+1)A}{2\pi L^2} K_L I_L e^{-cL} \cos^m \varphi \cos \theta \quad (2.49)$$

olur.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3. 1. Deney Setinin Geliştirilmesi**

Darbeli kvazimonokromatik ışınların su ortamında yayılımını incelemek için Şekil 3.1'de gösterildiği gibi bir düzenek hazırlanmıştır. Önce 60 cm x 30 cm x 30 cm boyutlarında üstü açık bir cam küvet yaptırılmıştır. Daha sonra ışın vericiyi sabitlemek için bir tutucu yapılmıştır. Bu tutucu aşağı ve yukarıya doğru hareket ettirilebilecek şekilde yapılmıştır. Aynı şekilde fotoalıcıyı yerleştirmek için bir tutucu yapılmıştır. Işının yayılım açısını belirleyebilmek için fotoalıcı aşağı/ yukarı ve sağa/ sola hareket ettirilebilecek şekilde tasarlanmıştır.

Deney düzeneği, ışın verici ve fotoalıcı sabit olacak şekilde hazırlanmıştır. Böylece daha hassas sonuçlar elde edilebilecektir. Işın verici ve fotoalıcı devreleri ise hareket ettirilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Böylece ışının mesafe ile ve derinlik ile değişimi incelenebilmesi sağlanmıştır.

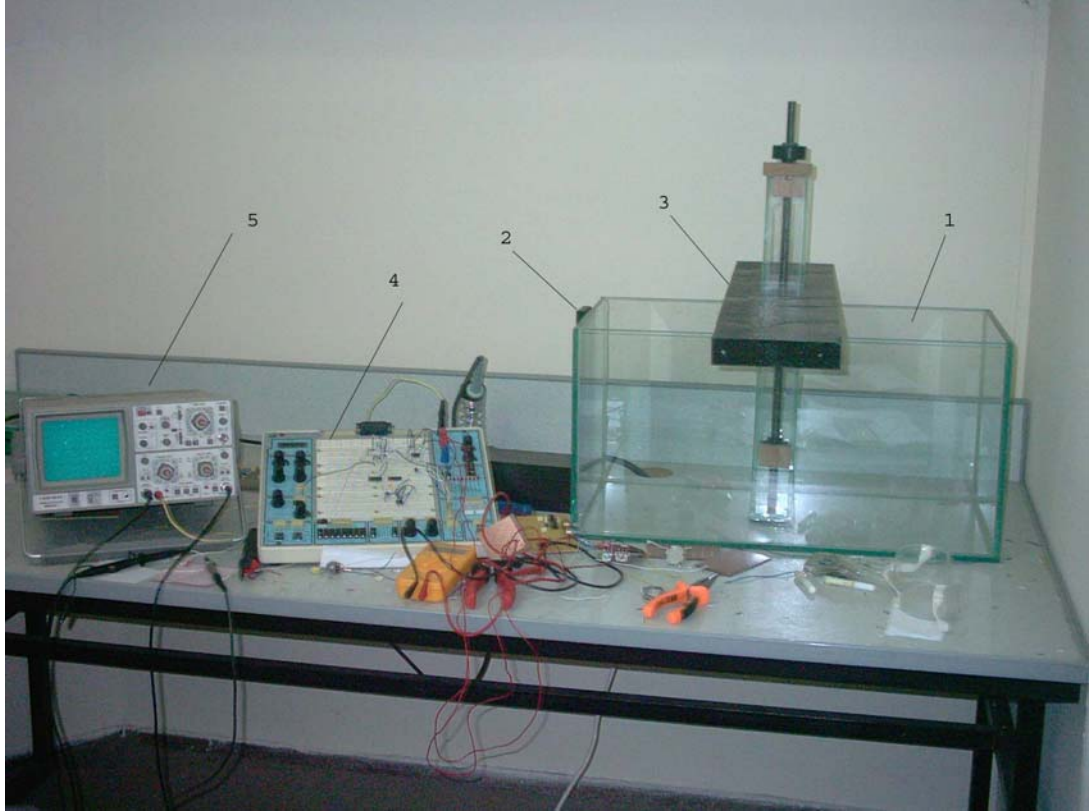
Deneylerde görünür bölgede ışın veren 470nm, 505nm, 524nm, 558nm ve 590nm dalga boylarında ışın veren LED'ler kullanılmıştır. Fotoalıcı olarak ise BPW34 tipi fotodiyot kullanılmıştır.

Deneylerde saf su ve deniz suyu kullanılmıştır. Saf su Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan saf su cihazından alınmıştır. Deniz suyu ise Yalova sahilinden alınmıştır. Alınan deniz suyunun özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deniz suyunun özellikleri.

Parametre	Değer
pH	8,07
Tuzluluk	%2,2
Askıda katı madde	7 mg/L
Fenoller	0,09 mg/L
Bakır	<0,001 mg/L
Kadmiyum	0,004 mg/L
Amonyak	0,41 mg/L
Civa	<0,001 mg/L

Kaynak: Bursa Hıfzısıhha Müdürlüğü.



Şekil 3.1. Deney düzeneği.

Bu şekilde, 1; cam küvet, 2; Işın verici bölgesi, 3; Fotoalıcı bölgesi, 4; besleme devresi, 5; ölçü aleti (osiloskop)tur. Şekil 3.2’de ışın verici bölgesi gösterilmiştir.



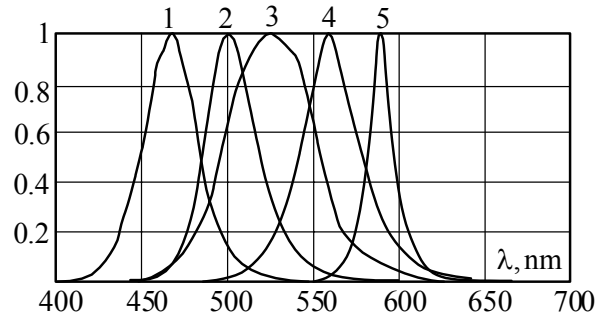
Şekil 3.2. Işın verici bölgesi

### 3.2. Işın vericilerin belirlenmesi

Denemelerde 5 farklı dalga boylu LED kullanılmıştır. Çizelge 3.2’de kullanılan LED’lerin spektrumunun maksimum dalga boyu ( $\lambda_{\max}$ ), ileri yöndeki maksimum akım ( $I_F$ ), eşik gerilimi ( $U_F$ ), yarı spektrumun genişliği ( $\Delta\lambda_{1/2}$ ) ve yarı ışınma açısı ( $\theta_{1/2}$ ) verilmiştir. Şekil 3.3’de de kullanılan LED’lerin spektrumları gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Seçilen LED’lerin elektriksel ve optik karakteristikleri.

malzeme	Renk	$\lambda_{\max}$ , nm	$I_F$ , mA	$U_F$ , V	$\Delta\lambda_{1/2}$ , nm	$\theta_{1/2}$ (°)
InGaN	Mavi	470	30	3,8	35	15
InGaN	Cyan	505	30	3,8	35	23
InGaN	Yeşil	524	30	3,8	47	15
AlInGaP	Zümrüt yeşili	558	30	2,2	30	20
AlInGaP	Amber	590	50	2,02	17	6



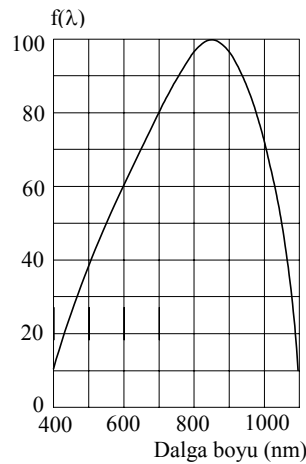
Şekil 3.3. Araştırmada kullanılan LED'lerin spektrum karakteristikleri.

### 3.3. Fotoalıcının belirlenmesi

Denemelerde görünür ışınlar duyarlı BPW34 tipi fotoalıcı kullanılmıştır. BPW34 tipi fotoalıcının elektriksel ve optik karakteristikleri Çizelge 3.3'de gösterilmiştir. Spektrum karakteristiği de Şekil 3.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. BPW34 tipi fotoalıcının elektriksel ve optik karakteristikleri.

Parametre	Değer
Duyarlı olduğu spektrum	400-1100 nm
Duyarlılığın maksimum olduğu dalga boyu	850 nm
Yükselme süresi	20 ns
Düşme süresi	20 ns
Işığa duyarlı yüzeyin alanı	2.65 x 2.65 mm <sup>2</sup>
Karanlık akımı	<30nA
Algılama ayarı açısı	±60°
Eşik gerilimi	1,3V
Çalışma sıcaklığı	-45....+85°C



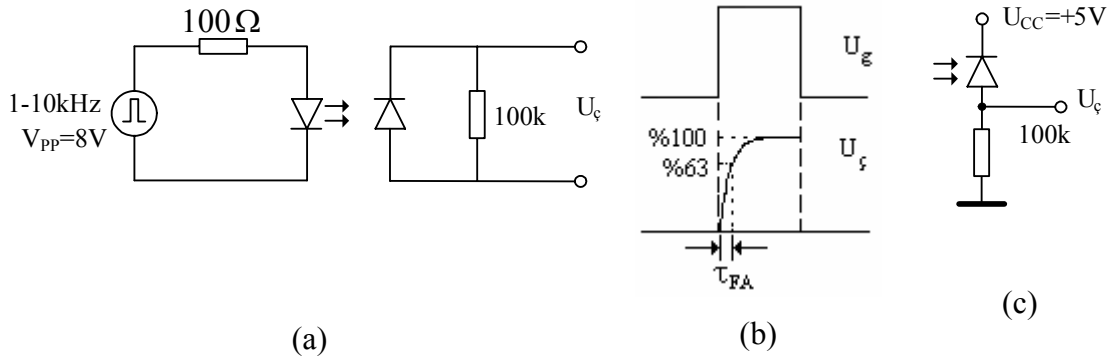
Şekil 3.4. BPW34 tipi fotoalıcının spektrum karakteristiği.



### 3.4. Fotoalıcının zaman sabitinin deneysel olarak bulunması

Optoelektronik verici alıcı sistemi tasarlanırken öncelikle sistemde kullanılan fotoalıcının zaman sabitinin belirlenmesi gerekir. Çünkü ışın vericiyi besleyen darbelerin süresi, fotoalıcının zaman sabitine göre belirlenir. Işın vericiyi besleyen darbelerin süresi, fotoalıcının zaman sabitinin en az 3 veya 4 ( $t_D \geq (3-4)\tau_{FA}$ ) katı olacak şekilde seçilir. Bundan dolayı öncelikle devrede kullanılan fotoalıcının zaman sabiti belirlenmiştir.

Fotoalıcı devresi temel olarak fotovoltajik ve fotoiletken olmak üzere iki farklı şekilde geliştirilebilir. Burada her iki bağlantı şekli için zaman sabiti ölçülmüştür. Fotovoltajik bağlantı şekli için Şekil 3.5a'da gösterildiği gibi basit bir verici - alıcı sistemi tasarlanmıştır.



Şekil 3.5. Fotovoltajik ve fotoiletken rejimlerinde foto alıcının zaman sabitinin ölçülmesi.

Girişe tepeden tepeye 8V'luk bir kare dalga uygulanmıştır. Uygulanan işaretin frekansı 1Hz'den 10kHz'e kadar değiştirilerek fotoalıcıda elde edilen işaretin doyuma gittiği nokta belirlenmiştir. Şekil 3.5b'de ışın vericiye uygulanan ve fotoalıcıda elde edilen işaretler gösterilmiştir. Fotoalıcının çıkışında elde edilen işaretin maksimum değerinin %63 hesaplanarak, bu değere karşılık gelen zaman sabiti hesaplanmıştır. Bu değer de yaklaşık olarak 100μs olarak ölçülmüştür.

İkinci olarak fotoiletken bağlantı şekli için zaman sabiti ölçülmüştür. Bu durum Şekil 3.5c’de gösterilmiştir. Bu durumda ise zaman sabiti  $40\mu\text{s}$  olarak ölçülmüştür.

### 3.5. Işın verici devresinin analizi

Darbeleri ışınların su içerisinde yayılımını incelemek için verici ve alıcı devreleri tasarlanmıştır. Tasarlanan verici devresi Şekil 3.6’da gösterilmiştir. LED süren darbeleri akımın darbe ve boşluk süreleri ayarlanabilir olmalıdır. Ayrıca darbeleri akımın değeri de ayarlanabilir olmalıdır. Şekil 3.6’daki devre bu özellikleri sağlamaktadır. Devre tasarlanırken öncelikle LM555 zamanlama entegresi kullanılarak Şekil 3.7’de gösterildiği gibi darbeler elde edilmiştir. Elde edilen işaretin darbe ( $t_{D1}$ ) ve boşluk süreleri ( $t_{B1}$ ),

$$t_{D1} = 0,693R_1C_1 \quad (3.1)$$

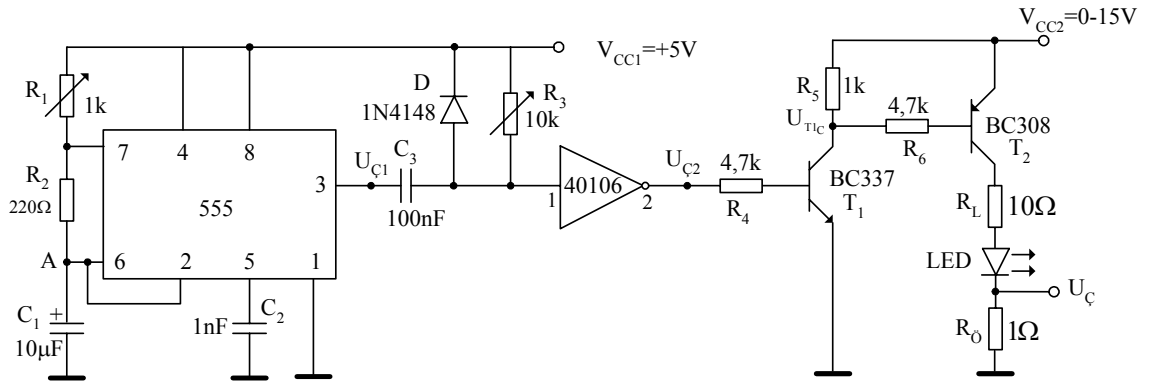
$$t_{B1} = 0,693(R_1 + R_2)C_1 \quad (3.2)$$

şeklindedir.  $R_1$  direnci değişken direnç kullanılarak elde edilen işaretin frekansı ayarlanabilir yapılmıştır.

Daha sonra 40106 Schmitt Trigger entegresi kullanılarak LM555 entegresinin çıkışında elde edilen darbelerin düşen kenarlarından kısa süreli darbeler elde edilmiştir. Şekil 3.7’de Schmitt Trigger’in çıkışında elde edilen darbelerin şekli gösterilmiştir. Elde edilen bu darbelerin süresi  $C_3R_3$  zaman sabitine bağlıdır.  $R_3$  direnci değişken direnç olduğundan elde edilen darbelerin süreleri bu direnç sayesinde ayarlanabilmektedir. Osiloskop ile gözlemlediğimizde  $R_3=10k$ ’lık potansiyometre ile elde edilebilecek en küçük darbe süresi  $10\mu\text{s}$ , en büyük darbe süresi ise  $0,7\text{ms}$ ’dir. Kullandığımız fotoalıcının zaman sabiti  $40\mu\text{s}$  olduğundan darbelerin süresi,

$$t_D \geq (3 - 4)\tau_{FA} \quad (3.3)$$

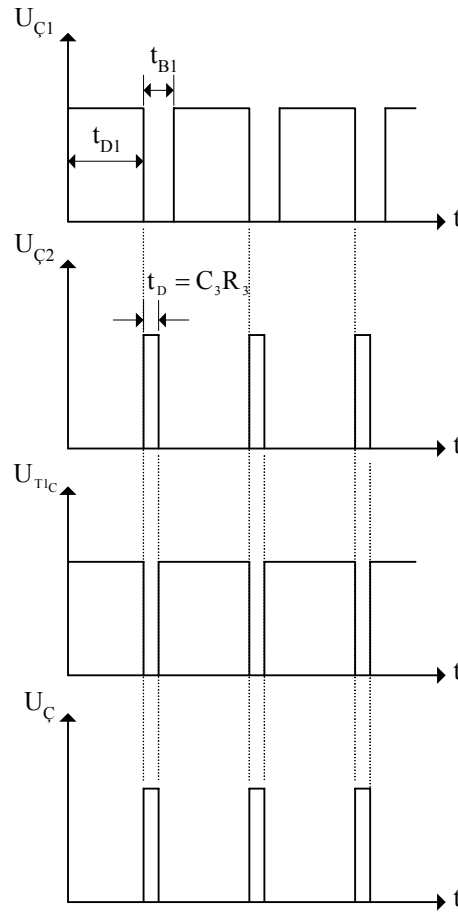
olması gerektiğinde  $t_D \geq 160\mu\text{s}$  olmalıdır. Biz denemelerde  $t_D=300\mu\text{s}$  aldık.



Şekil 3.6. Işın verici devresi.

Schmitt Trigger devresinin çıkışına BC337 NPN ve BC308 PNP tranzistörleri bağlanarak LED sürülmüştür. LED'den akan akımın genliğini ayarlayabilmek için  $U_{CC2}$  gerilimi olarak ayarlı gerilim kaynağı kullanılmıştır.

Böylece ışın verici devresi, LED'den akan darbeli akımın darbe süresi, boşluk süresi ve genliği ayarlanabilecek şekilde tasarlanmıştır.



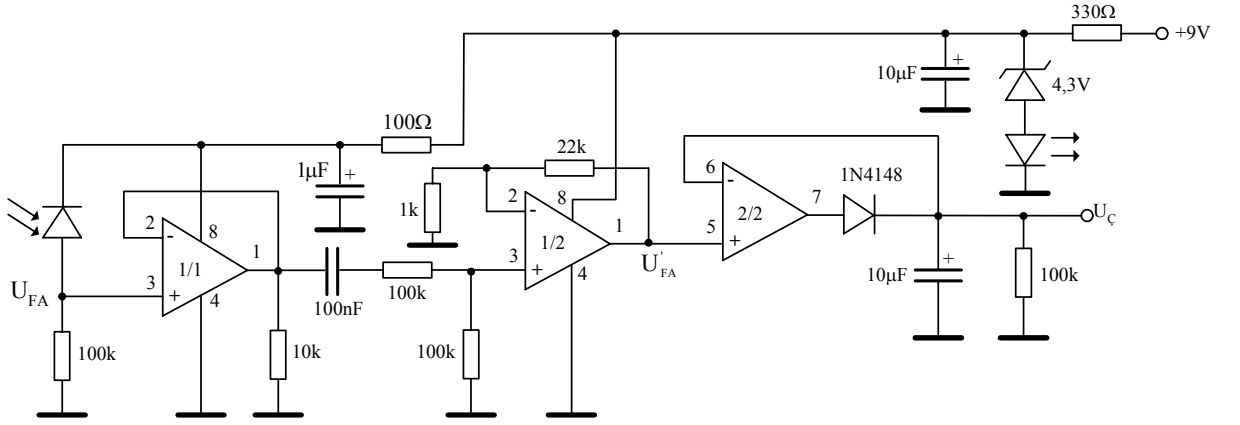
Şekil 3.7. Işın verici devresinin zaman diyagramları

### 3.6. Fotoalıcı devresinin analizi

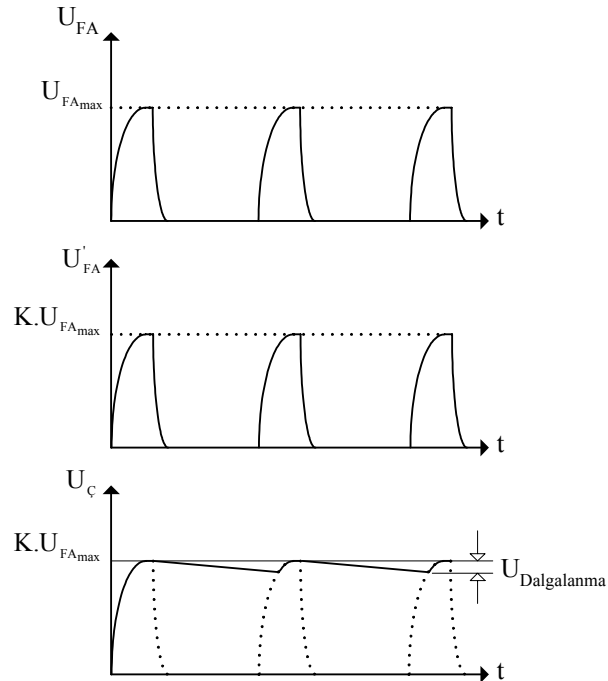
Denemelerde kullanılmak üzere Şekil 3.8'de gösterilen fotoalıcı devresi kullanılmıştır. Fotoalıcının zaman sabiti ölçüm sonuçlarından da görüldüğü gibi fotoiletken rejiminde fotoalıcının zaman sabiti daha küçüktür. Bundan dolayı fotoalıcı devresinde fotoiletken bağlantı şekli kullanılmıştır. Fotoalıcının çıkışına emetör izleyicisi bağlanmış ve daha sonra fotosinyal kuvvetlendirilmiştir. Bu işlemler için LM358 tipi tek beslemeli opamp kullanılmıştır. Kuvvetlendiricinin kazancı,

$$K = \frac{1k + 22k}{1k} = 23 \quad (3.4)$$

olarak seçilmiştir. Osiloskopta genliği hassas genlik okumak zor olduğu için ideal diyot devresi kullanılarak darbeli işaret dc dönüştürülmüştür. Böylece düşük genliklerde (mV mertebelerinde) daha hassas ölçüm yapılabilmektedir. Şekil 3.9'de fotoalıcı devresinin çeşitli noktalarındaki işaretlerin şekli gösterilmiştir. Şekil 3.9'dan da görüldüğü gibi çıkış işaretinin de bir miktar dalgalanma vardır. Bu dalgalanma çıkıştaki 10 $\mu$ F'lık kondansatöre ve 100k'lık dirence bağlıdır.



Şekil 3.8. Fotoalıcı devresi.



Şekil 3.9. Fotoalıcı devresinin çeşitli noktalarındaki işaretlerin zaman diyagramları.

### 3.7. Hata analizi

Bir ölçüm sisteminde ölçümlerde hataya neden olabilecek çok sayıda parametre vardır. Bizim sistemimiz için hata kaynakları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Ortamda bulunan ışın kaynakları,
2. Işın vericinin ve fotoalıcının yerleşimi,
3. Ölçümede kullanılan yöntem,
4. Ölçümede kullanılan elektronik devre,
5. Ölçüm cihazı ve ölçen kişi.

Ortamda bulunan ışın kaynakları doğal olarak fotoalıcı devresinin çıkışında elde edilen işareti etkiler. Örneğin odadaki ışıklar kapalı iken yapılan denemelerde ışın kaynağından herhangi bir ışık yayılmadığı halde fotoalıcıda yaklaşık 60mV'luk bir gerilim elde edildiği görülmüştür. Odadaki ışıklar açıldığında ise bu gerilimin yaklaşık 69mV olduğu görülmüştür. Fakat tüm ölçüm sonuçlarında aynı hata söz konusu olduğundan bu hata ölçülebilir bir hata olarak algılanabilir.

İkinci hata kaynağı ise ışın verici ve fotoalıcının yerleşiminden kaynaklanan hatadır. Bu hatayı azaltmak için ışın vericiler Şekil 3.2'de gösterildiği gibi bir dizi şeklinde yerleştirilmiştir. Böylece ışın vericilerin yerden yüksekliği eşit hale getirilmiştir. Fakat yatay ekseninde ışın verici ile fotoalıcı aynı eksen üzerine getirilmesi göz ile yapılmaktadır. Bu da hatalara sebep olmaktadır. Yerleşimden kaynaklanan bu hataları minimuma indirmek için ışın verici ile fotoalıcının konumlandırılması 10 kez tekrarlanmıştır. Ölçüm sonucu olarak bu 10 ölçümün ortalaması alınmıştır.

Üçüncü hata kaynağı ise ölçme yönteminden kaynaklanan hatadır. Fotoalıcıda elde edilen fotosinyal (darbeli işaret) ideal diyot devresi ile dc'ye dönüştürülmüş ve dijital ölçü aleti ile ölçülmüştür. Dijital ölçü aleti osiloskopa göre daha doğru sonuç vereceğinden bu şekilde bir ölçüme gidilmiştir. İdeal diyot devresi ile dc'ye dönüştürmede bir hata söz konusudur. Şekil 3.9'dan da görüldüğü gibi ideal diyot

devresinin çıkışında elde edilen işaret tam bir dc işaret değildir, işaretle bir takım dalgalanmalar söz konusudur. Bu da hatalara sebep olmaktadır.

Dördüncü hata kaynağı ise, fotoalıcı devresinden kaynaklanan hatadır. Bu hatanın temel nedeni devrede kullanılan devre elemanlarının ideal olmamasıdır. Doğal olarak her bir elamanın bir toleransı vardır.

Beşinci hata kaynağı ise ölçüm cihazı ve ölçen kişiden kaynaklanan hatadır. Her ölçüm cihazının belli bir hatası söz konusudur. Ayrıca ölçüm sonuçlarını okuyan kişiden de kaynaklanan hatalar vardır.

Sonuç olarak bir ölçüm sisteminde meydana gelen hata, ölçülen değer ile gerçek değer arasındaki fark olarak tanımlanır. Yani hata,

$$E = X_{\text{ölçülen}} - X_{\text{gerçek}} \quad (3.5)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada,

E;hata,

$X_{\text{ölçülen}}$ ; ölçülen değer,

$X_{\text{gerçek}}$ ; gerçek değerdir.

Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan en yaygın yöntem normal dağılım fonksiyonudur. Normal dağılım fonksiyonu,

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x_i - \mu)^2}, \quad \sigma^2 = v = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n - 1} \quad (3.)$$

şeklinde ifade edilir. Burada,

$x_i$ ; ölçülen değerler,  $\mu$ ; ortalama değer,  $n$ ; ölçüm sayısı,  $\sigma^2=v$ ; varyans,  $\sigma$ ; standart sapmadır.

Eğer bir deneysel çalışmada deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler normal dağılım fonksiyonuna sahipse elde edilen sonuçların doğru olduğu söylenebilir.

Tez çalışmasında hataları azaltmak için her ölçüm noktası için ölçümler 10'ar kez tekrarlanmıştır. Mavi LED için  $X=4\text{cm}$  ve  $Y=0\text{cm}$  için fotoalıcı devresinin çıkışında elde edilen foto işaretin değerleri mV cinsinden Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Mavi LED için  $X=4\text{cm}$  ve  $Y=0\text{cm}$  için elde edilen sonuçlar.

$U_{FA1}$	$U_{FA2}$	$U_{FA3}$	$U_{FA4}$	$U_{FA5}$	$U_{FA6}$	$U_{FA7}$	$U_{FA8}$	$U_{FA9}$	$U_{FA10}$
1043	1028	1008	1034	1024	1018	1030	1038	1040	1025

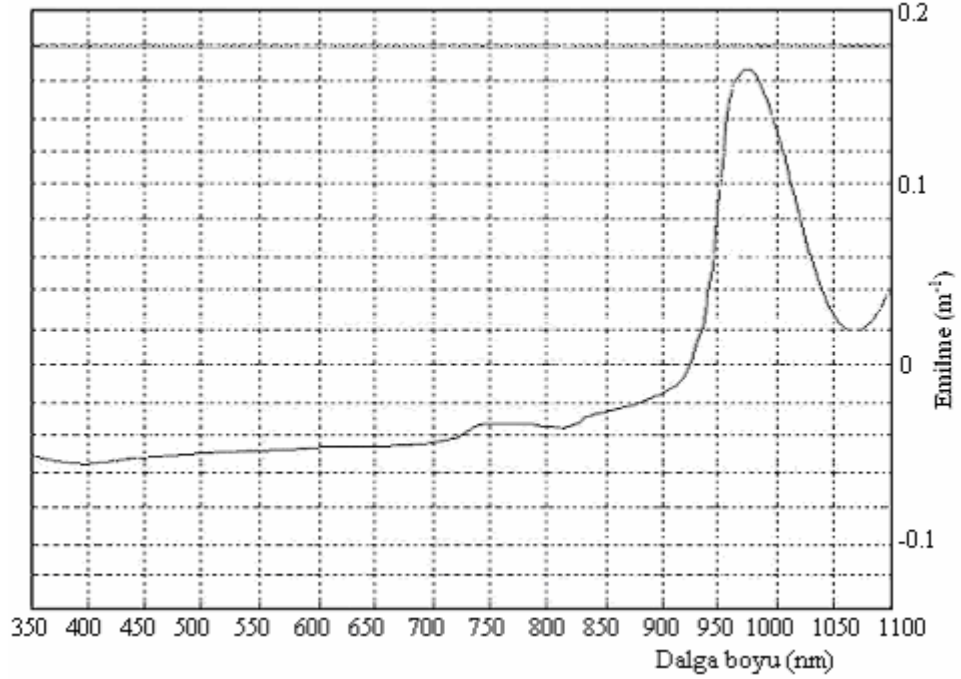
Bu değerlerin normal dağılım fonksiyonuna uyumluluğu SPSS programında incelenmiştir. Ölçüm değerlerinin normal dağılım fonksiyonuna uyumluluğu %97'dir.



## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

### 4.1. Saf suyun spektrumu

DeneySEL ölçümlere başlamadan önce çalışmada kullanılacak suların optik spektrumlarının elde edilmesi gerekmektedir. Bunun için Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik bölümü laboratuvarında bulunan Perkin Elmer marka UV/VIS Lambda2S spektrometresi kullanılarak öncelikle saf suyun ve içme suyunun spektrumları elde edilmiştir. Şekil 4.1'de saf suyun 400nm-1100nm arasındaki optik spektrumu gösterilmiştir. Elde edilen bu spektrum literatürdeki çalışmalarla karşılaştırıldığında benzer olduğu görülmektedir (Litjens ve ark. 1999). Spektrumdan da görüldüğü gibi görünür bölgede emilme azdır. Literatürdeki çalışmalara ve elde edilen spektruma bakıldığında kızılötesi bölgesinde (özellikle 850nm'den sonra ) ve morötesi bölgesinde (hatta 400nm'nin altında) emilmenin oldukça fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.1. Saf suyun emilme spektrumu.

#### 4.2. Sudan geçen ışın lekesinin incelenmesi

Deney düzeneği kullanılarak ışının saf sudan ve havadan geçtikten sonraki yağlı kağıt üzerinde oluşturduğu lekenin fotoğrafları alınmıştır. şekil 4.2’de hava ve su ortamından geçen çeşitli dalga boylarına ait ışın lekeleri gösterilmiştir. şekillerden de görüldüğü gibi su ortamından geçen ışınların saçılmaya uğradığı ve homojen bölgenin arttığı gözlenmiştir.



(a) Mavi ışık (470nm) havada



(b) Mavi ışık (470nm) suda



(c) Yeşil ışık (524nm) havada



(d) Yeşil ışık (524nm) suda



(e) Sarı ışık (568nm) havada



(f) Sarı ışık (568nm) suda



(g) Kırmızı ışık (626nm) havada

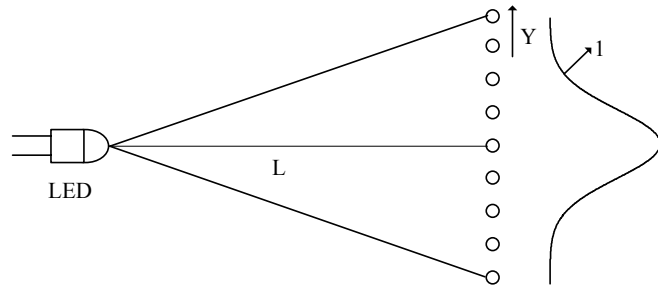


(h) Kırmızı ışık (626nm) suda

Şekil 4.2. Çeşitli LED ışınlarının lekelerinin havada ve saf suda oluşturduğu görüntü.

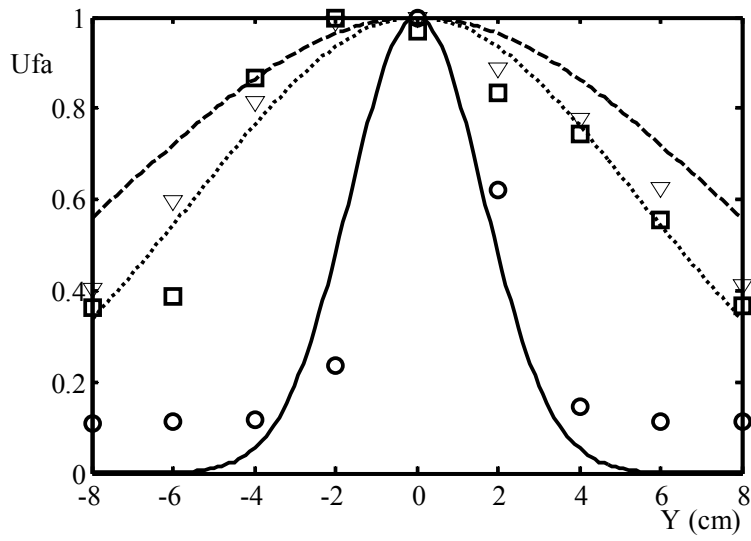
### 4.3. Optik ışınların su içerisinde saçılması

Optik ışınların su içinde saçılması Şekil 4.1'deki deney düzeneği kullanılarak incelenmiştir. Denemelerde 470nm, 505nm, 524nm, 558nm, 590nm dalga boylu LED'ler kullanılmıştır. Işın vericiden belli bir mesafe ve belli bir LED akımında Y ekseninde belli noktalardaki foto işaret ölçülmüştür. Ölçüm sistemini şeması Şekil 4.3'de gösterilmiştir. burada ölçüm noktaları "o" ile gösterilmiştir. Ölçüm noktaları arasındaki mesafe 2cm'dir. Işın vericiden L mesafede elde edilen foto işaretin yaklaşık şekli "1" gösterilmiştir.

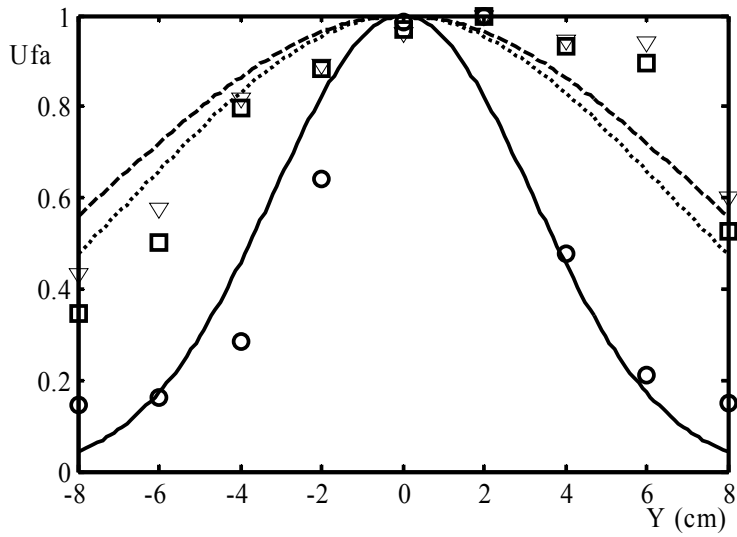


Şekil 4.3. Optik ışınların su içerisinde saçılması.

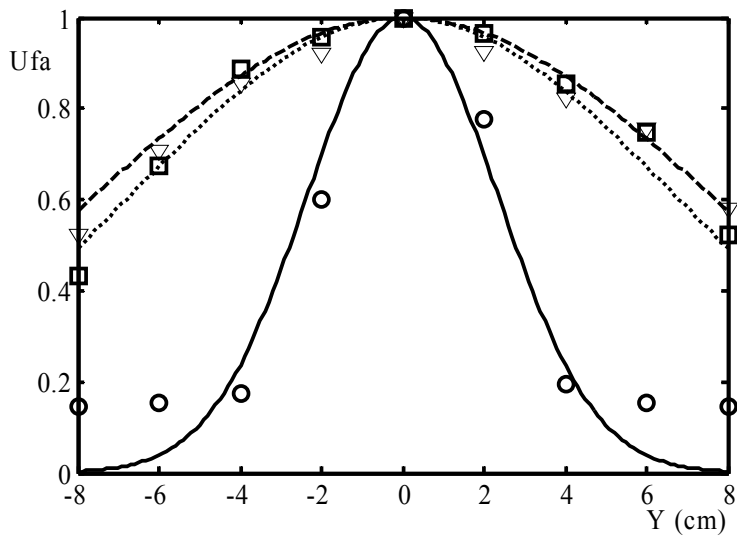
Her bir LED için elde edilen sonuçlar Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Bu grafiklerde havada elde edilen deneysel sonuçlar (o) ile ve bu değerlere en uygun eğri sürekli çizgi (—) ile, saf suda elde edilen deneysel sonuçlar (□) ile ve bu değerlere en uygun eğri (...) ile, deniz suyunda elde edilen deneysel sonuçlar (▽) ile ve bu değerlere en uygun eğri de kesikli çizgi (--) ile gösterilmiştir.



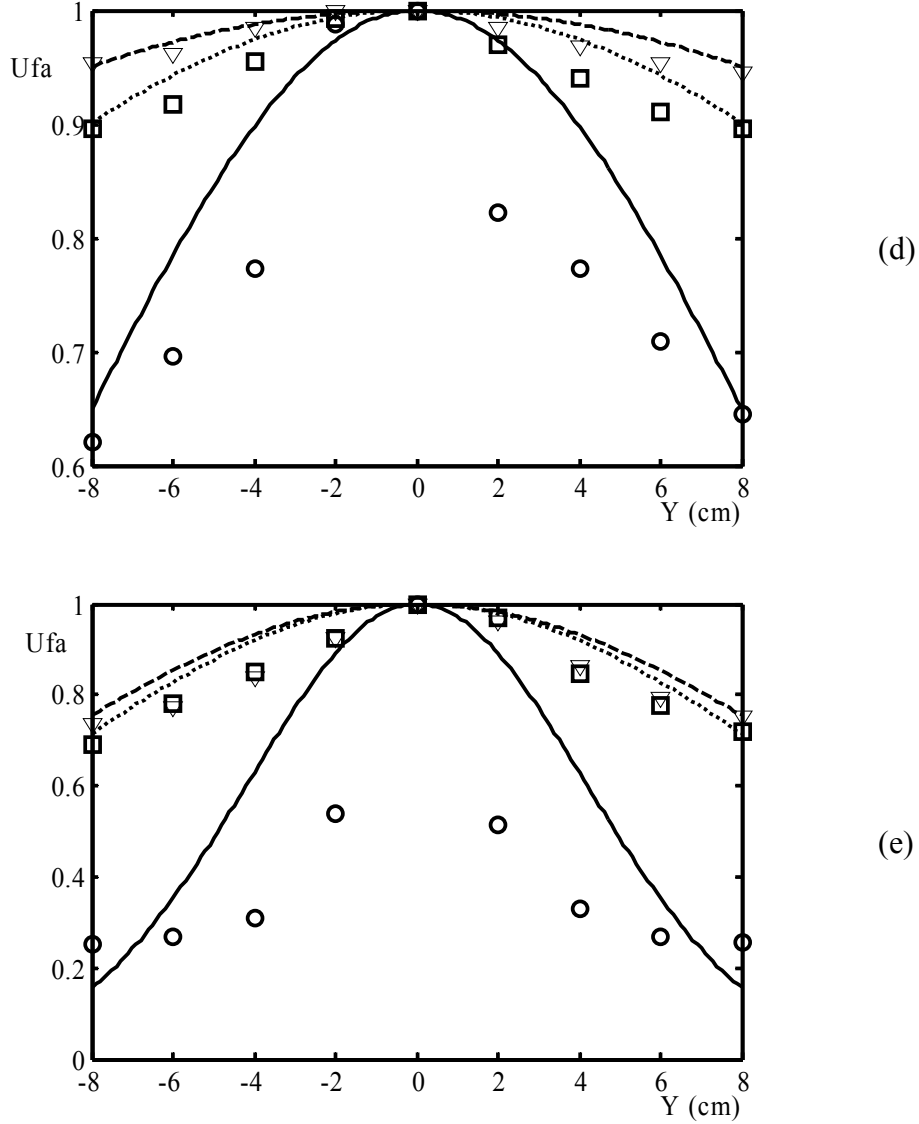
(a)



(b)



(c)

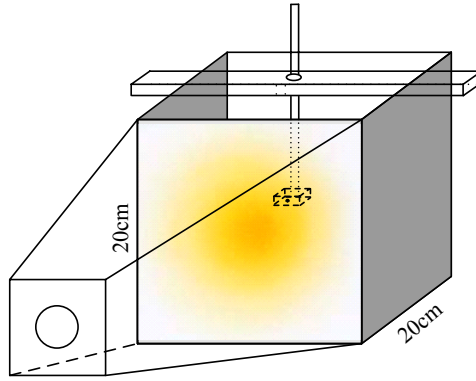


Şekil 4.4. 470nm (a), 505nm (b), 524nm (c), 558nm (d), 590nm (e) dalga boyu LED ışınlarının su içerisinde saçılması.

Bu grafiklerden de görüldüğü gibi suda saçılmada en etkili parametre su molekülleridir. Ancak suda bulunan parçacıklar da saçılmada etkilidir. Elde edilen grafiklerden yararlanarak su içerisindeki parçacıkların saçılma etkilerinden tespit edilebileceği sonucu çıkarılmıştır.

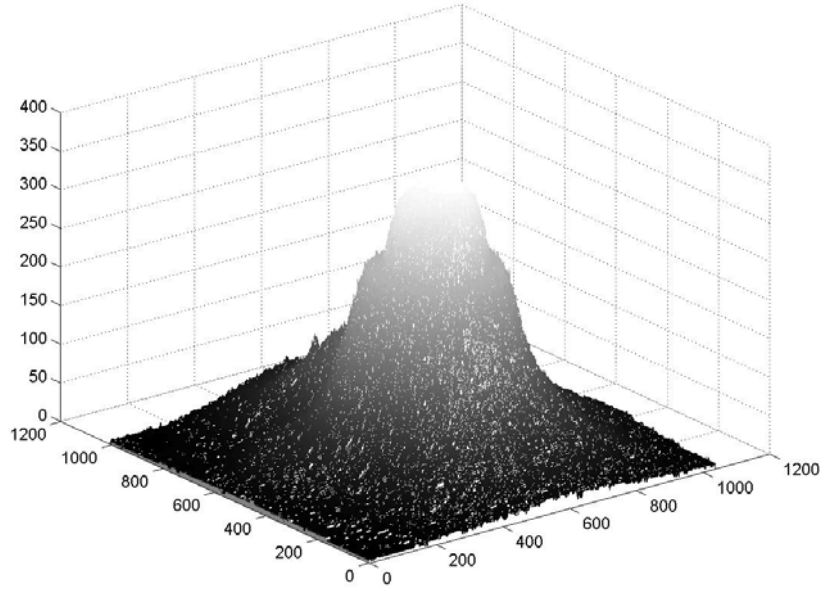
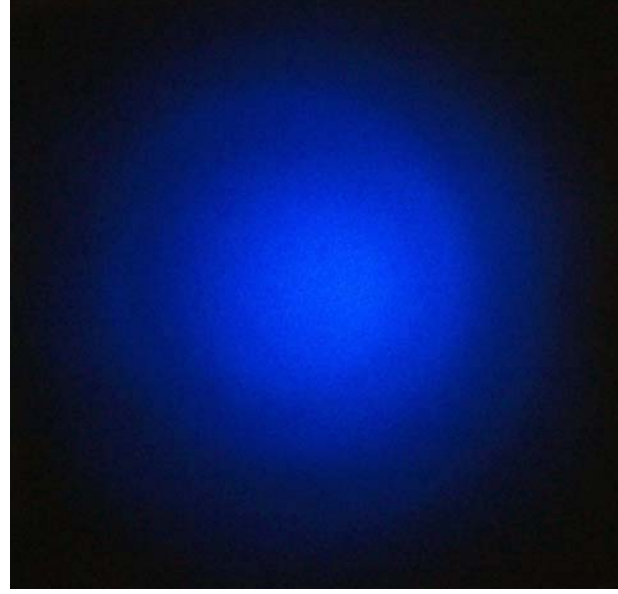
Sudaki maddelerin miktarı, ışığın emilmesinden hareketle hesaplanır (Kumar 2002). Ancak suda bulunan asılı duran katı maddeler ve organik tortular gibi bazı maddeler emilmede çok etkili olmazken saçılmada etkilidirler (Stramski ve ark. 2004).

Dolayısıyla bu maddeleri emilme spektrumlarına bakarak tespit etmek oldukça zordur. Bu maddeleri saçılma karakteristiklerinden tespit etmek daha kolaydır. Buradan hareketle saf suya çeşitli miktarlarda tuz ekleyerek ışın lekesinin yağlı kağıt üzerindeki görüntüsünden saçılma diyagramları incelenmiştir. Bunun için Şekil 4.16’da gösterildiği gibi deney düzeneği geliştirilmiştir. Deney düzeneği 20cmX20cmX20cm ebatlarında cam bir küvetten ve ışın vericiden oluşmuştur. Işın vericinin oluşturduğu ışın lekesi küvetin bir yüzeyine yapıştırılan asetat kağıdı üzerinde düşürülmüştür. Yüksek çözünürlüklü dijital fotoğraf makinesi ile görüntünün resmi alınmıştır. Ortamdaki ışığın fotoğraf makinesine etkilememesi için Şekil 4.5’de gösterildiği gibi bir düzenekten yararlanılmıştır. Ayrıca cam küvetin diğer üç yüzeyi siyah kağıt ile kapatılmıştır. Işın verici yağlı kağıdın bulunduğu yüzeyden yaklaşık 8cm uzağa yerleştirilmiştir. LED olarak 470nm dalga boylu LED kullanılmıştır. LED akımı 10mA olarak ayarlanmıştır.



Şekil 4.5. Işın lekesinin fotoğrafını almak için geliştirilmiş deney düzeneği.

6 lt saf suya sırasıyla 100gr, 300gr, 500gr, 700gr ve 900gr tuz ilave edilerek lekenin fotoğrafı alınmıştır. Matlab programında foto işaretin genliğine göre fotoğrafın zarfı elde edilmiştir. Matlab programı EK 2’de verilmiştir. Buradan hareketli de standart sapması hesaplanmıştır. Şekil 4.6’da 6lt suya 100gr tuz katıldığında elde edilen lekenin fotoğrafı ve bu fotoğrafın zarfı gösterilmiştir.

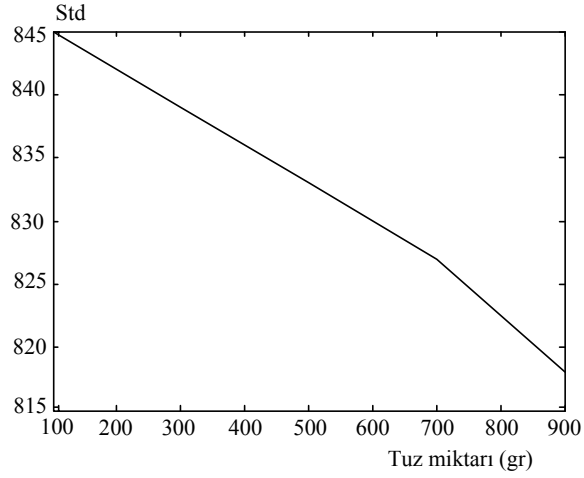


Şekil 4.6. Lekenin fotoğrafı ve zarfı.

Çizelge 4.1’de tuz miktarı ve ortalama standart sapma (std) değerleri gösterilmiştir. Tuz miktarı ile standart sapmanın değişimi Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

Tuz miktarı (gr)	100	300	500	700	900
Standart sapma	845	839	833	827	818

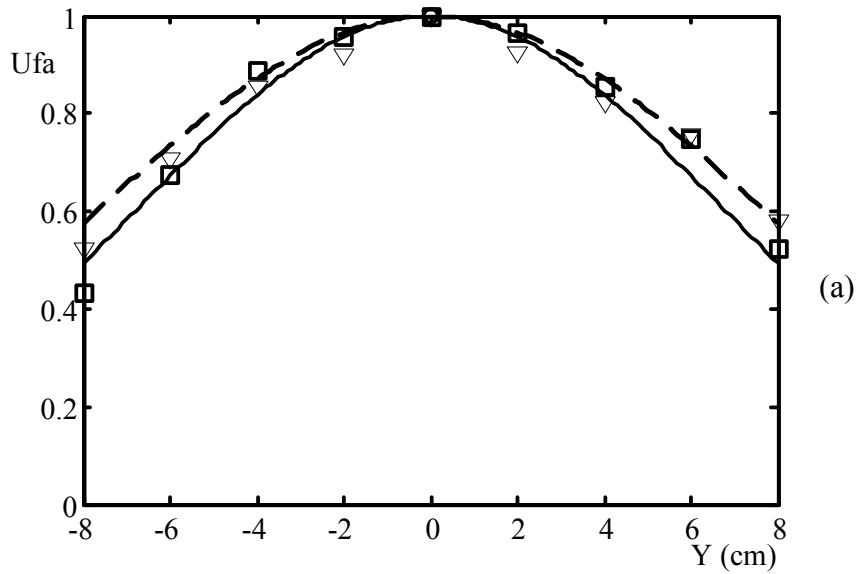
Çizelge 4.1. tuz miktarı ve ortalama standart sapma (std) değerleri.



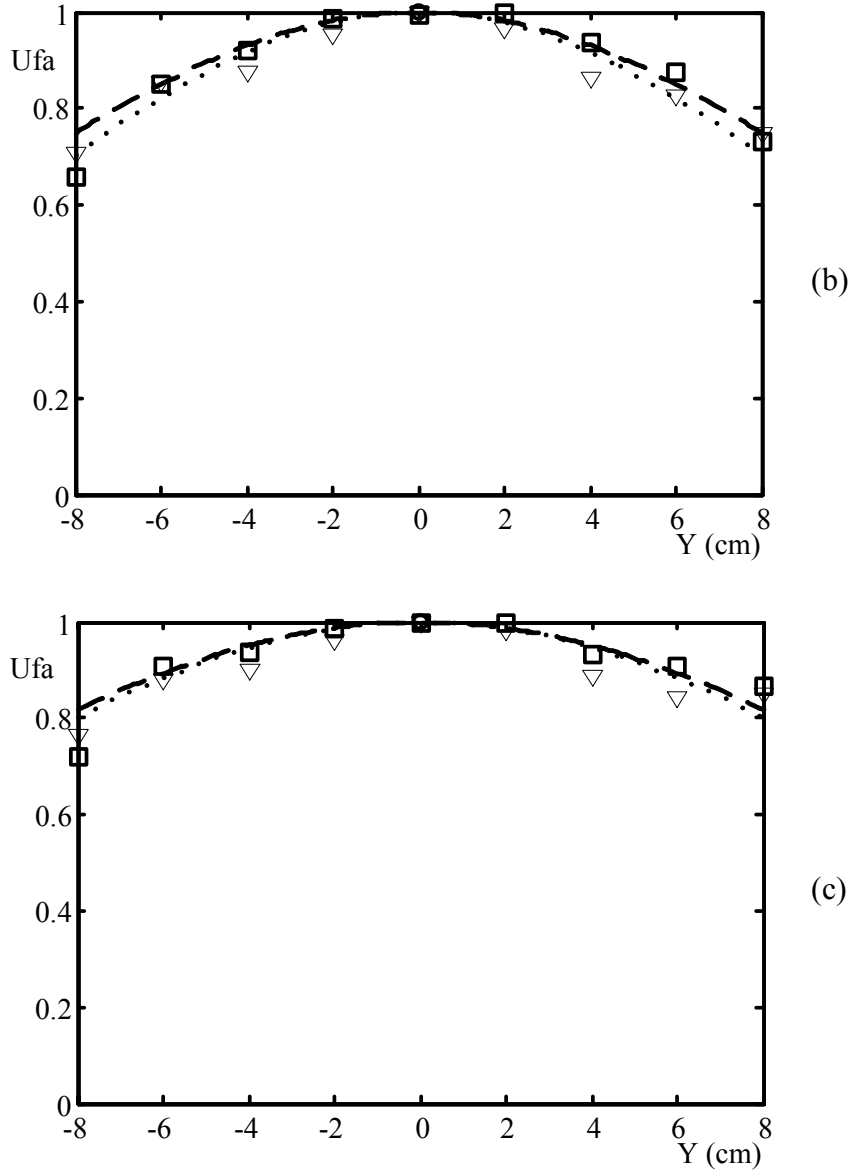
Şekil 4.7. Tuz miktarı ile standart sapmanın değişimi.

Şekil 4.7'den de görüldüğü gibi tuz miktarı arttıkça (başka bir deyişle yoğunluk arttıkça) standart sapma azalmaktadır.

Saçılmada ışın şiddeti de etkilidir. Bunu incelemek için 524nm dalga boylu LED kullanılarak 100mA, 200mA ve 300mA olmak üzere üç farklı akımda saf suda ve deniz suyunda ölçümler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.8'de gösterilmiştir.







Şekil 4.8. 524nm dalga boyu ışığın 100mA (a), 200mA (b) ve 300mA (c) için saçılma diyagramları.

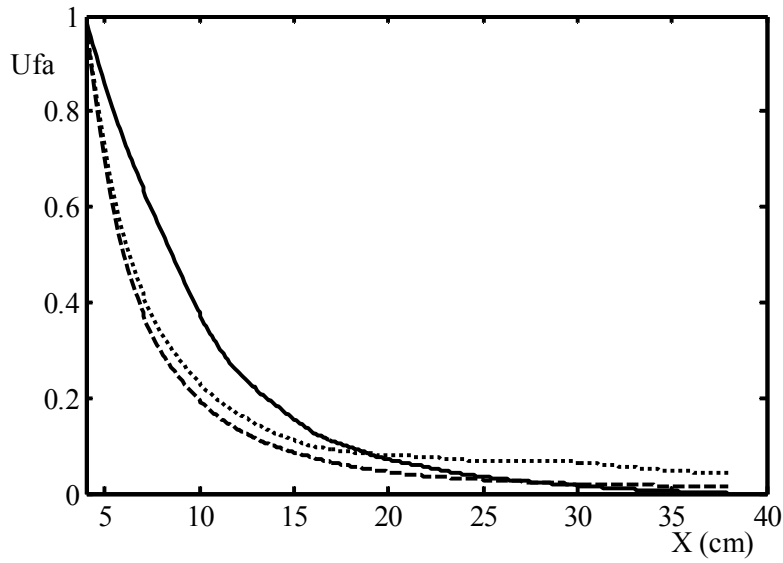
Şekil 4.8'den de görüldüğü gibi ışın şiddeti arttıkça parçacıkların etkisi azalmaktadır.

#### 4.4. Optik ışınların su içerisinde zayıflaması

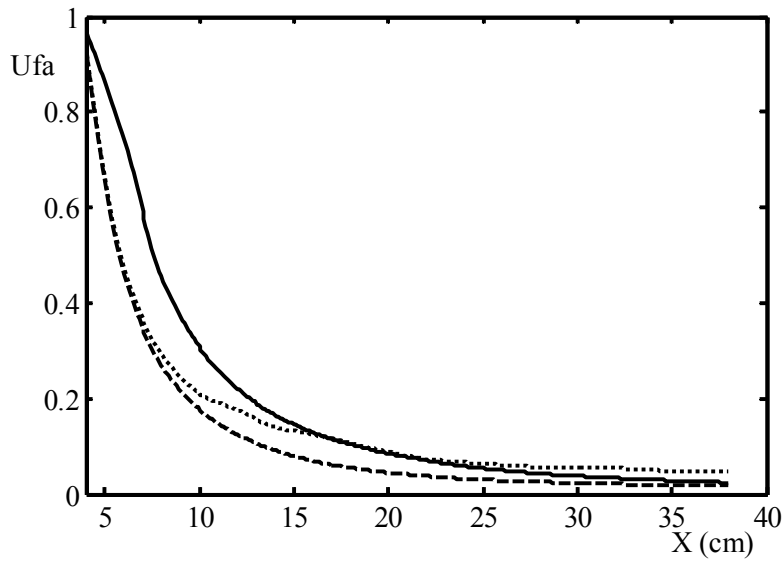
Optik ışınların su içinde zayıflaması Şekil 3.1'deki deney düzeneği kullanılarak incelenmiştir. Denemelerde 470nm, 505nm, 524nm, 558nm, 590nm dalga boyu LED'ler kullanılmıştır. Işın verici ve fotoalıcı aynı ekseninde yerleştirilmiştir. Fotoalıcı ışın vericiden 2cm adımlarla uzaklaştırılarak 4cm ile 38cm arasında 18 noktada

ölçümler yapılmıştır. Hataları azaltmak için her nokta için ölçümler 10'ar kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır. Ölçümlerde LED akımı 100mA alınmıştır.

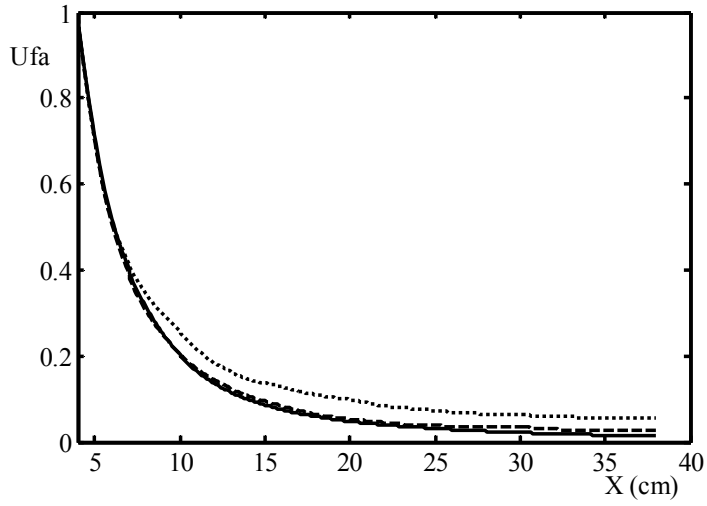
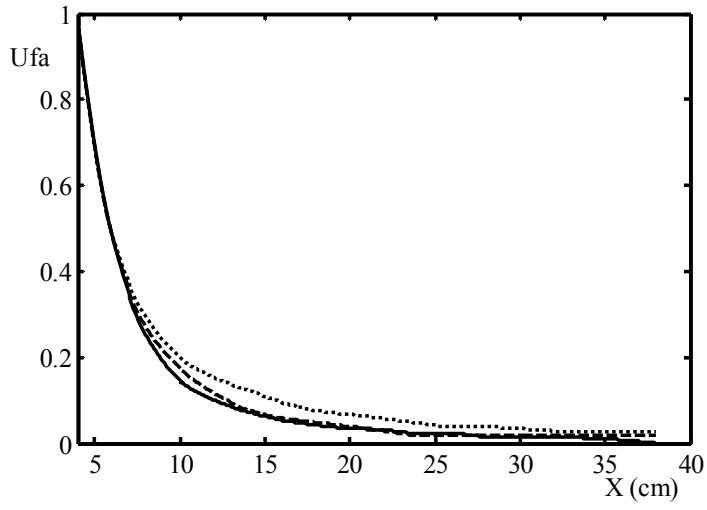
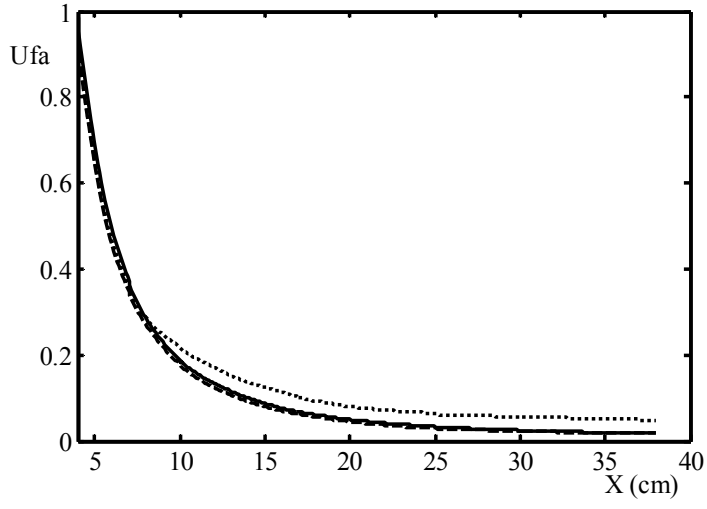
Her bir LED için elde edilen sonuçlar Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Bu grafiklerde havada elde edilen deneysel sonuçlar sürekli çizgi (—) ile, saf suda elde edilen deneysel sonuçlar (...) ile, deniz suyunda elde edilen deneysel sonuçlar kesikli çizgi (--) ile gösterilmiştir.



(a)

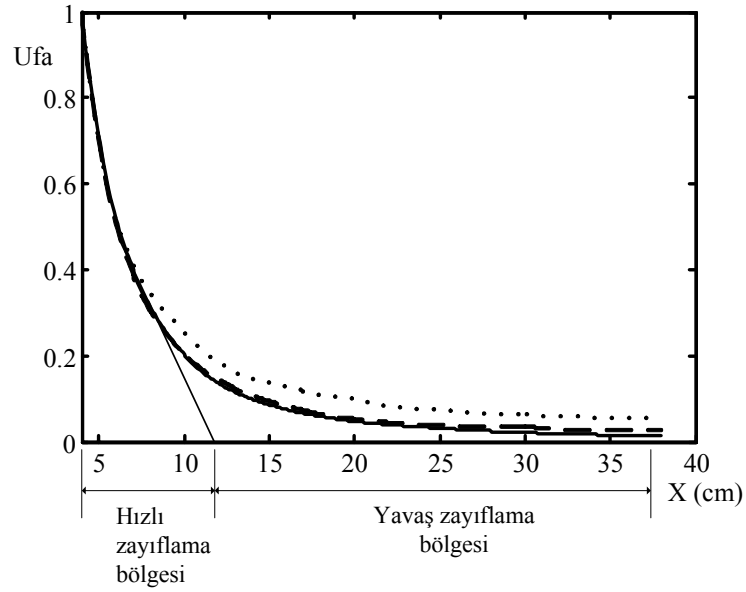


(b)



Şekil 4.9. 470nm (a), 505nm (b), 524nm (c), 558nm (d), 590nm (e) dalga boyu LED ışınlarının su içerisinde zayıflaması.

Elde edilen grafikler Şekil 4.10’da gösterildiği gibi iki bölgeye ayrılabilir. Birinci bölge hızlı zayıflama bölgesi ikinci bölge ise yavaş zayıflama bölgesi olarak adlandırılabilir. Şekil 4.9’deki grafiklerden görüldüğü gibi hızlı zayıflama bölgesinde 470nm ve 505nm dalga boylu LED’lerde havada suya göre daha hızlı zayıflarken 524nm, 558nm ve 590nm için ise hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Yavaş zayıflama bölgesinde ise tüm LED’lerde saf suda daha yavaş zayıfladığı görülmüştür. Yavaş zayıflama bölgesinde her bir LED için foto işaretin zayıflama eğimleri hesaplanmış ve Çizelge 4.2’de verilmiştir.



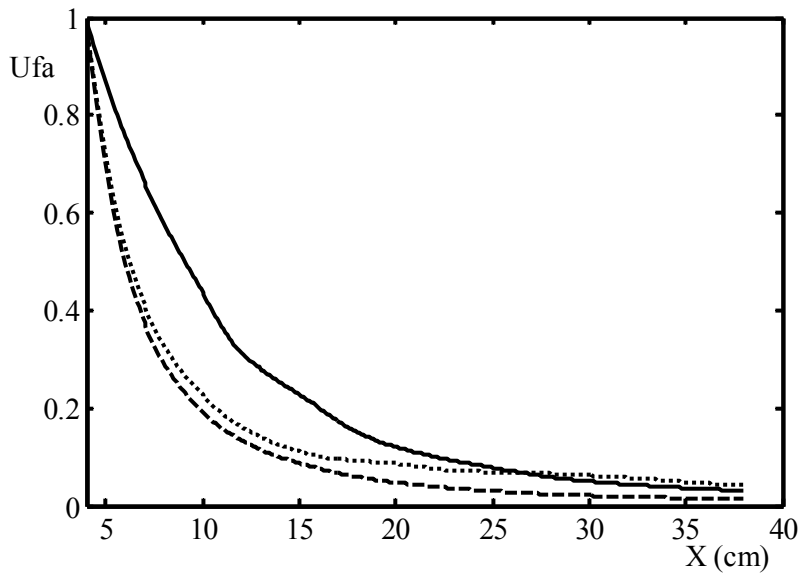
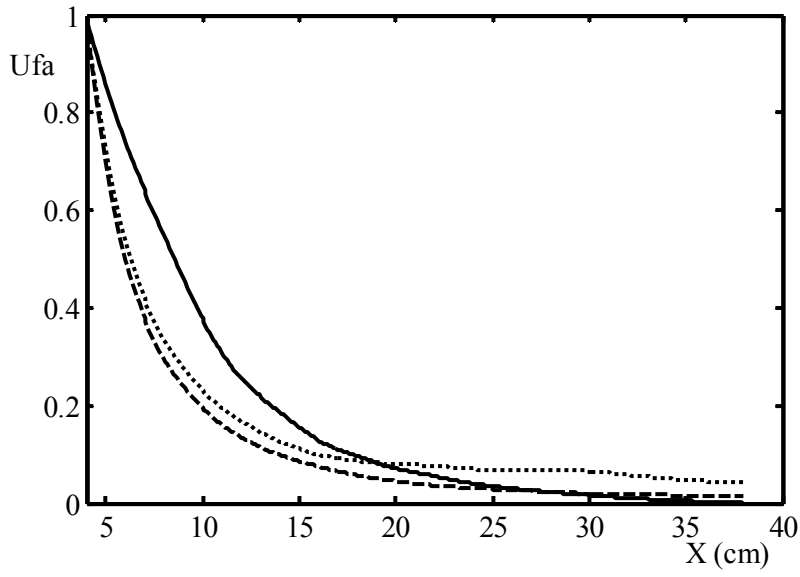
Şekil 4.10. Zayıflama eğrisinin iki bölgeye ayrılması.

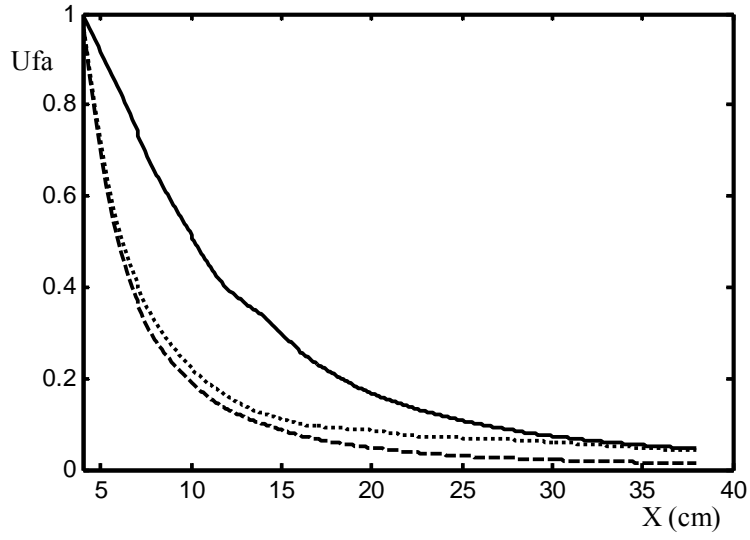
Çizelge 4.2. Yavaş zayıflama bölgesinde her bir LED için düşme eğimleri.

Ortam	470nm	505nm	524nm	558nm	590nm
Hava	0,174	0,212	0,114	0,060	0,130
Deniz suyu	0,078	0,089	0,084	0,054	0,120
Saf su	0,056	0,082	0,080	0,050	0,056

#### 4.5. Optik ışınların su içerisinde zayıflamasında ışın şiddetinin etkisi

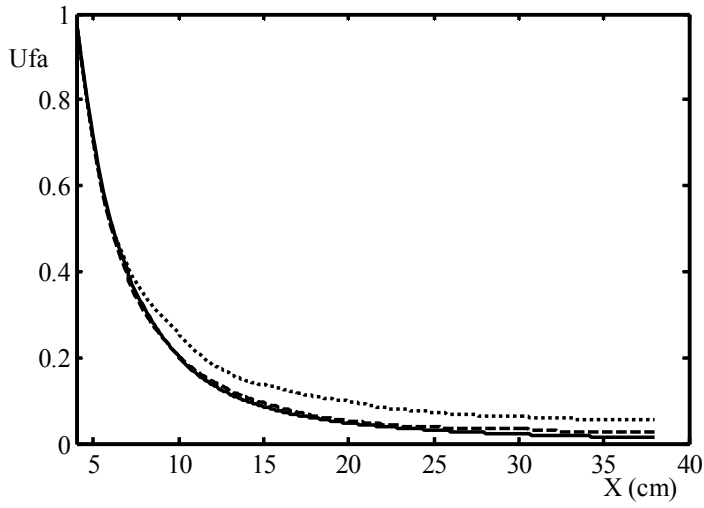
Işın şiddetinin zayıflamaya etkisini araştırmak için 470nm ve 590nm dalga boylu LED'ler kullanılarak 100mA, 200mA ve 300mA için ölçümler yapılmıştır. 470nm dalga boylu LED için elde edilen sonuçlar Şekil 4.11'de verilmiştir. 590nm dalga boylu LED için elde edilen sonuçlar ise Şekil 4.12'de verilmiştir.



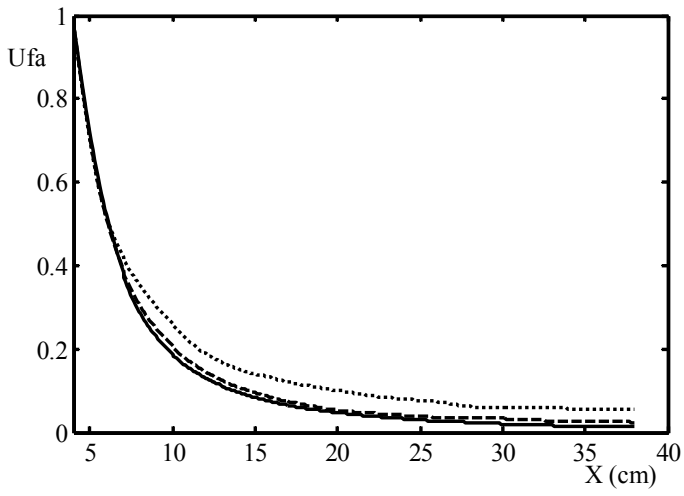


(c)

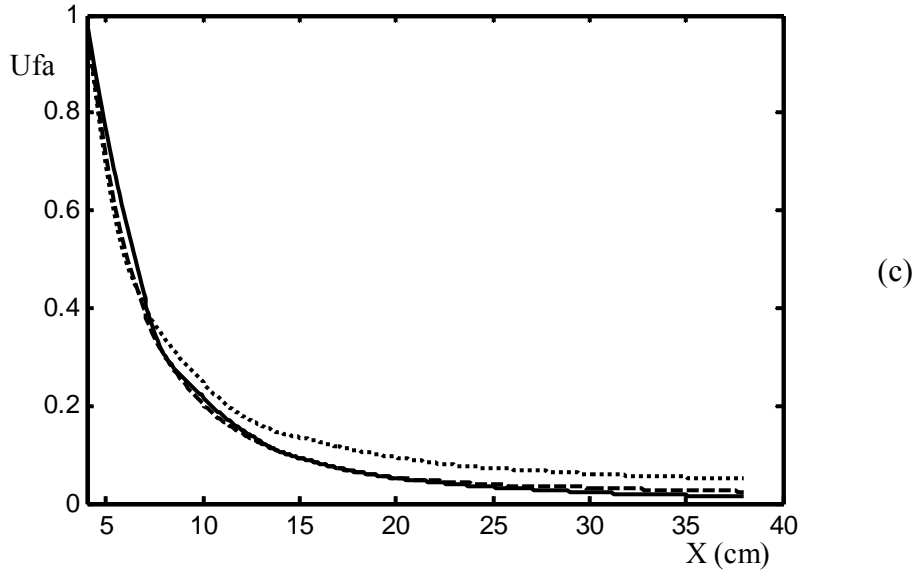
Şekil 4.11. 470nm dalga boylu LED için elde edilen sonuçlar.



(a)



(b)



Şekil 4.12. 590nm dalga boylu LED için elde edilen sonuçlar (Musayev ve Tekin 2006).

Şekil 4.11 ve 4.12'den görüldüğü gibi 470nm dalga boylu LED için akım artıkça (dolayısıyla ışın şiddeti) yavaş zayıflama bölgesi azalmaktadır. 590nm dalga boylu LED için ise önemli bir değişiklik olmamaktadır. Sonuç olarak yavaş zayıflama bölgesi, ışın şiddetine ve dalga boyuna bağlıdır.

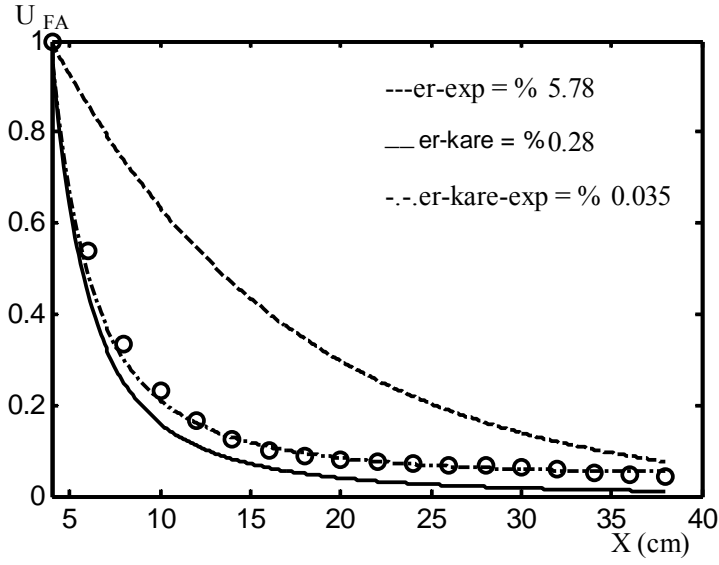
#### 4.6. Işın şiddetinin su içerisinde mesafe ile zayıflamasının matematiksel ifadesi

Optik ışınların su içerisinde zayıflaması Beer Lambert yasası ile ifade edilebilir (Li ve ark. 2007). Ancak uzak mesafeler için Beer Lambert yasası yeterli değildir. H. Bradner ışın şiddetinin mesafe ile değişiminin (Bradner, 1992),

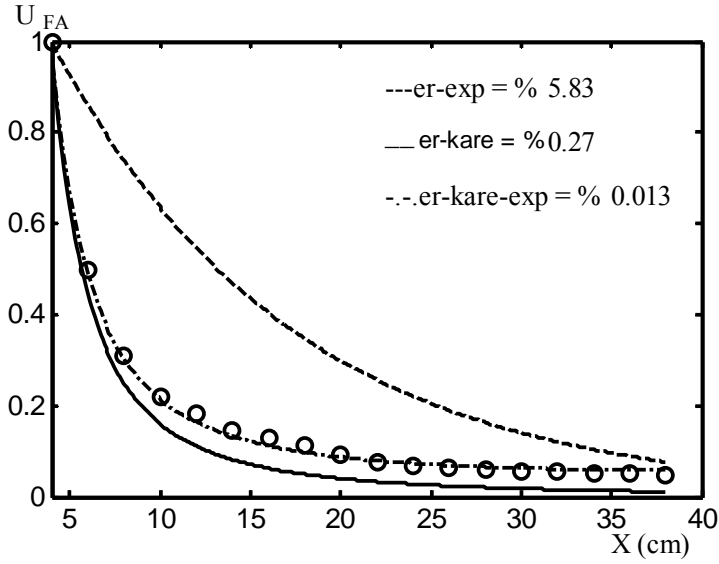
$$P(L) \sim \frac{1}{L^2} \exp(-cL) \quad (4.1)$$

ifade ile orantılı olduğunu göstermiştir. Daha sonra Anassontzis ve ark. da mesafe ile değişimin (4.1) eşitliği ile ifade edilebileceğini söylemişlerdir (Anassontzis ve ark. 1994). Balkanov ve arkadaşları lazer ile yaptıkları denemelerde ışın şiddetinin mesafe değişiminin (4.1) eşitliğindeki gibi olduğunu deneysel olarak göstermişlerdir (Balkanov ve ark. 1999).

Tez çalışmasında, LED ışınları için de mesafe ile değişim deneysel olarak incelenmiştir. LED akımı 100mA alınmıştır. Deneysel sonuçların  $\exp(-cL)$ ,  $1/L^2$  ve  $\frac{1}{L^2}\exp(-cL)$  fonksiyonları ile ifade edilmesi durumunda oluşan hatalar belirlenmiştir. Şekil 4.13'de saf suda 470nm, 505nm, 524nm, 558nm ve 590nm dalga boyulu LED'ler için elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Şekil 4.14'de de deniz suyunda elde sonuçlar gösterilmiştir.

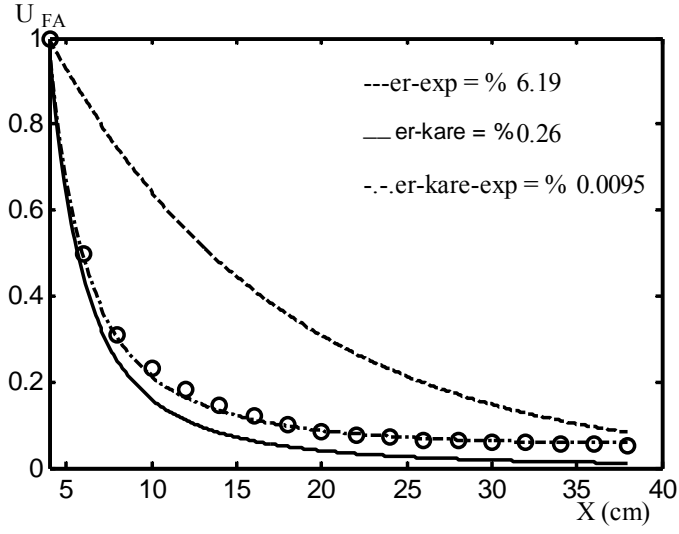


(a)

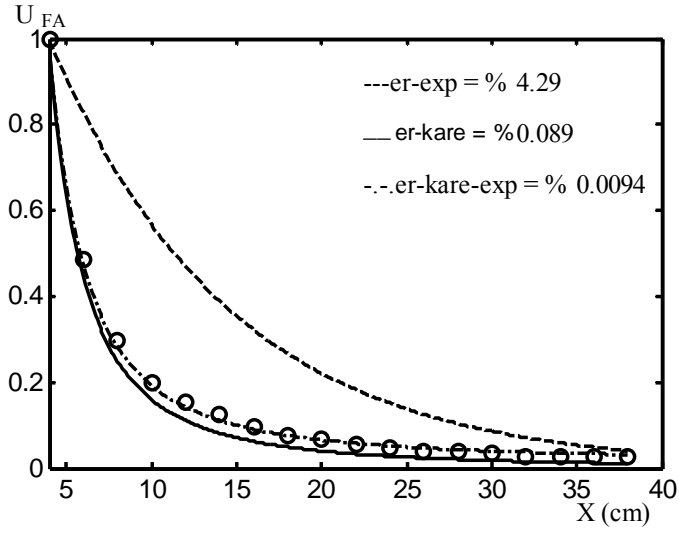


(b)

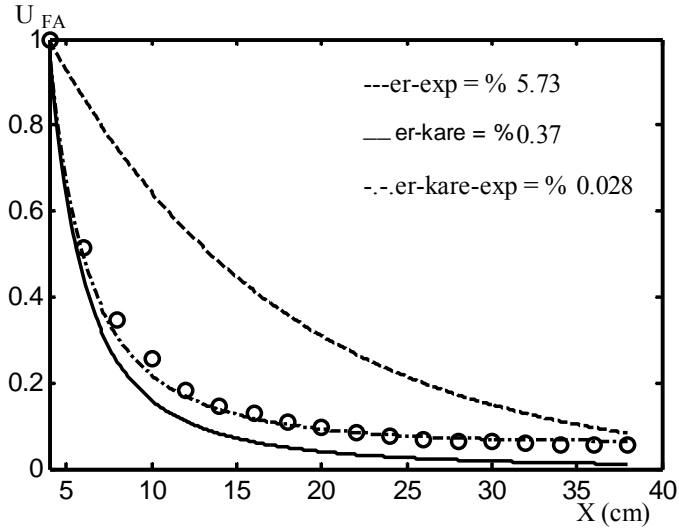




(c)

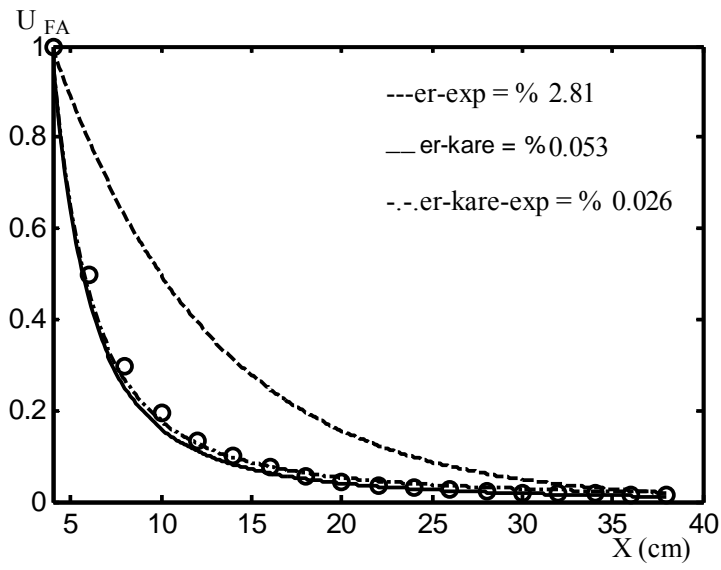


(d)

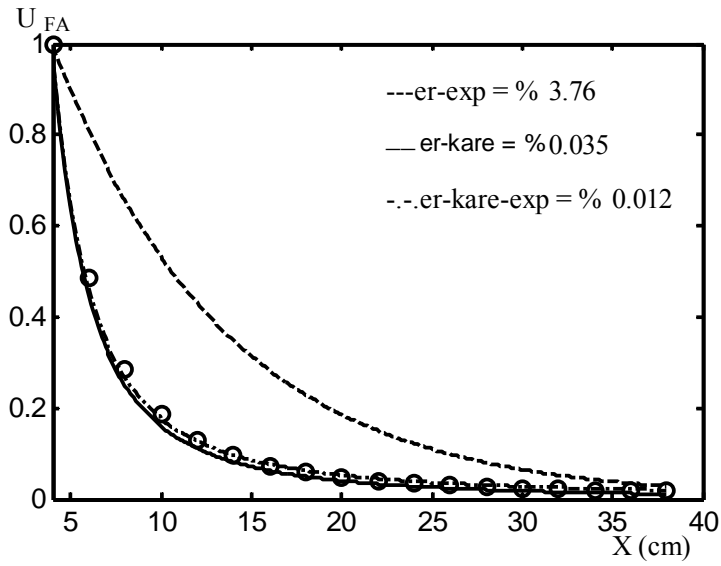


(e)

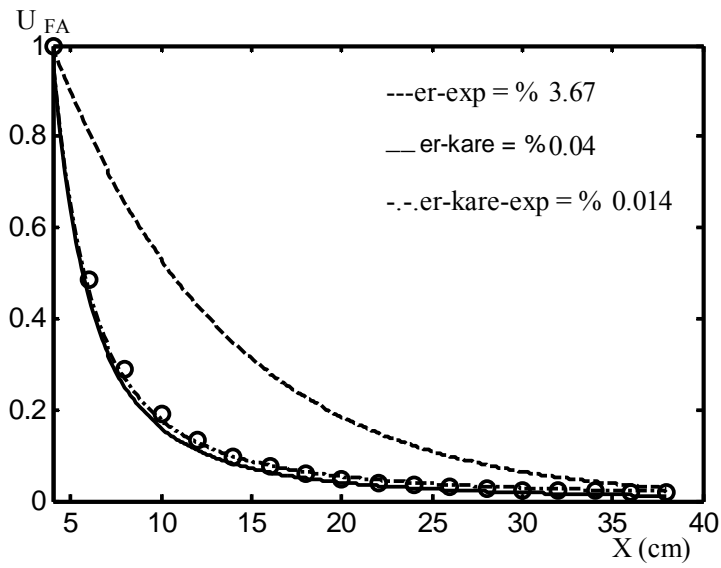
Şekil 4.13. Saf suda 470nm (a), 505nm (b), 524nm (c), 558nm (d), 590nm (e) dalga boyu LED ışınlarının su içerisinde zayıflaması.



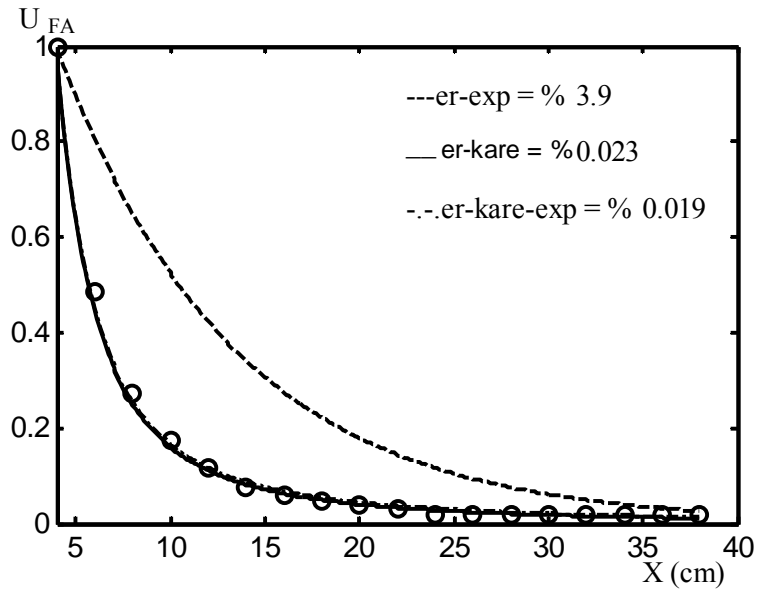
(a)



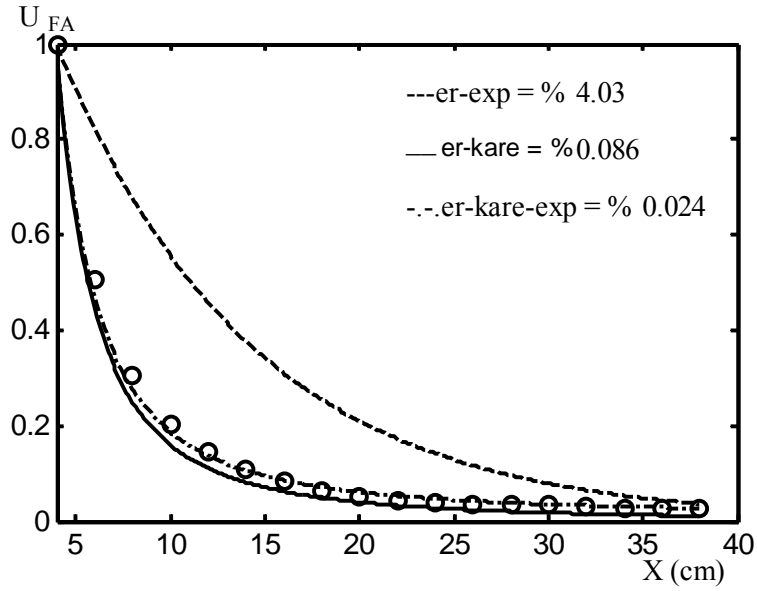
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 4.14. Deniz suyunda 470nm (a), 505nm (b), 524nm (c), 558nm (d), 590nm (e) dalga boylu LED ışınlarının su içerisinde zayıflaması.

Şekil 4.13 ve 4.14'den görüldüğü gibi saf suda ve deniz suyunda LED ışınların mesafe ile zayıflamasının (4.1) eşitliği ile ifade edilmesinin doğru olacağı görülmektedir.

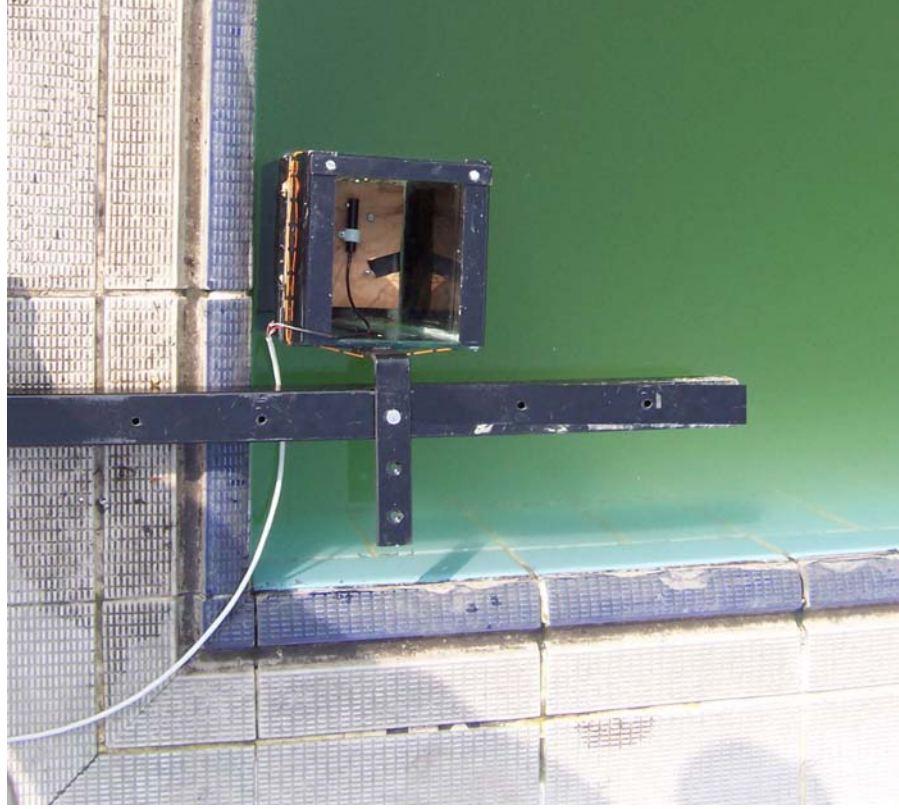
#### 4.7. Lazer ışının su içerisinde yayılımı

Küçük cam küvette ışınların yayılımı incelendikten sonra uzun mesafelerde ışınların yayılımını incelemek için Bursa Yıldırım Belediyesi spor tesislerindeki yüzme havuzu kullanılmıştır. Işın verici olarak 635nm dalga boylu lazer kaynağı kullanılmıştır. Kullanılan lazerin optik ve elektriksel özellikleri Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Denemelerde kullanılan lazerin optik ve elektriksel özellikleri.

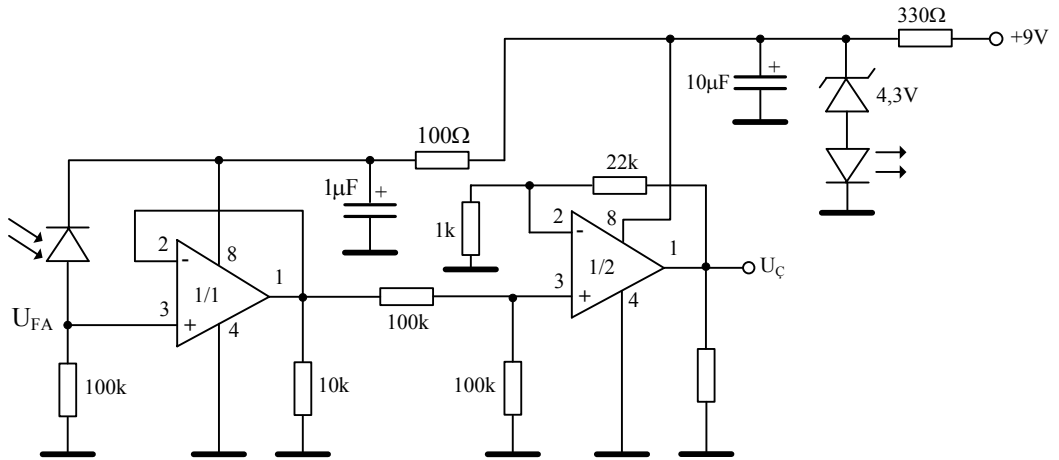
parametre	Değer
Dalga boyu	635nm
Besleme gerilimi	3V
Işın çapı	5mm
Çalışma akımı	<50mA

635nm dalga boylu lazer 3V’luk DC gerilimle çalışmaktadır. Bundan dolayı lazer ayarı gerilim kaynağından sürülmüştür. Işın verici bölgesinin fotoğrafı Şekil 4.15’de gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Işın verici bölgesinin fotoğrafı.

Fotoalıcı olarak kuvvet denemelerinden kullanılan fotoalıcı kullanılmıştır. Fotoalıcı devresi ise Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Fotoalıcı devresi kuvvet denemelerinde kullanılan fotoalıcı devresine benzemektedir. Sadece DC'de çalışıldığından tepe dedektör kısmı yoktur.



Şekil 4.16. Fotoalıcı devresi.

Fotoalıcı bölgesinin fotoğrafı Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Fotoalıcı bölgesinin fotoğrafı.

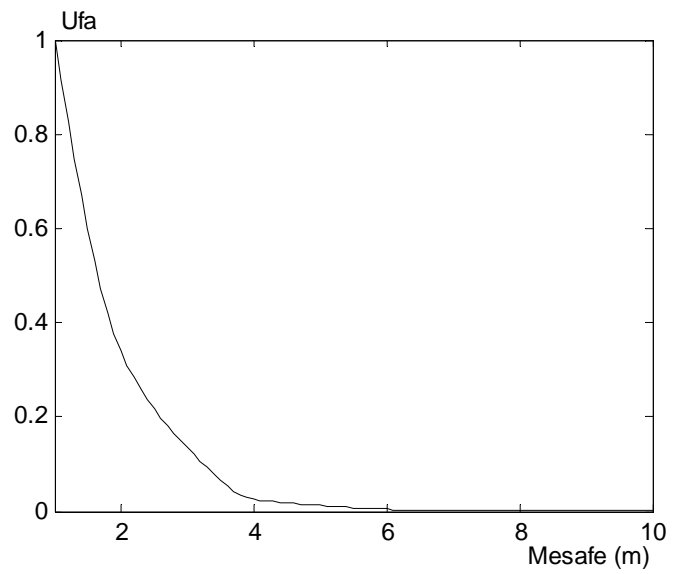
Deney düzeneğinin fotoğrafı Şekil 4.18’de gösterilmiştir. Ortamdaki ışık kaynaklarının etkilerini azaltmak için denemeler akşam yapılmıştır. Denemelerde fotoalıcı bölgesi sabit tutulup ışın verici bölgesi 1m arayla hareket ettirilmiş fotoalıcı devresinin çıkışında elde edilen işaretler kaydedilmiştir. Işın vericinin ve fotoalıcının yerleşimlerinden kaynaklanan hataları azaltmak için her bir nokta için ölçümler 5’er kez tekrarlanmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.19’de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçların  $\exp(-cL)$ ,  $1/L^2$  ve  $\frac{1}{L^2}\exp(-cL)$  fonksiyonları ile ifade edilmesi durumunda oluşan hatalar Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Lazer ışının suda yayılımının fonksiyonlara göre hata değerleri.

$\exp(-cL)$	$1/L^2$	$\frac{1}{L^2} \exp(-cL)$
0,372	0,074	0.071



Şekil 4.18. Deney düzeneğinin fotoğrafı.



Şekil 4.19. Lazer ışını için fotoalıcıda elde edilen işaretin mesafe ile değişim.

## 5. TARTIŞMA

Tez çalışmasında, optik spektrumun görünür bölgesindeki kvazimonokromatik ışınların su ortamında yayılımı incelenmiştir. Bu araştırmaları gerçekleştirmek için öncelikle su ortamında ışınların yayılımının teorik modeli geliştirilmiştir. Teorik modelde ilk defa kvazimonokromatik ışınlar için Beer Lambert ve  $L^2$  yöntemleri ortak kullanılmıştır. Böylece aynı anda hem emilme hem de saçılma etkileri dikkate alınmıştır.

Deneysel araştırmaları gerçekleştirmek için bir deney düzeneği geliştirilmiştir. Deney düzeneği kvazimonokromatik spektrumlu 470nm, 505nm, 524nm, 558nm ve 590nm dalga boylu LED'lerde, ışın verici bölgesinden, ışın verici devresinden, cam küvetten, fotoalıcı bölgesinden, fotoalıcı kuvvetlendirici devresinden oluşmaktadır.

Tez çalışmasında saf ve deniz suyu kullanılmıştır. Saf su, Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan saf cihazından alınmıştır. Deniz suyu ise Yalova sahilinden alınmış ve su içerisinde bulunan bileşenler tablo halinde verilmiştir.

Tez çalışmasında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Su ortamında darbeli kvazimonokromatik ışınların hem emilmesini hem de saçılmasını dikkate alan analitik denklem elde edilmiştir.
2. Işın vericilerin su içerisinde saçılması incelenmiştir. Işın vericiden 20cm mesafede, ışın vericinin ekseninin sağında ve solunda 8cm uzaklığa kadar foto işaret ölçülmüştür. Saf su ve deniz suyundaki saçılmalar havaya göre çok fazladır. Su içerisinde ışığı saçan temel parametre su molekülleridir. Ancak suda bulunan diğer bileşenler de saçılmayı etkilemektedir.
3. Su içerisinde bulunan parçacıkların saçılma karakteristiklerinden hareketle tespit edilebileceği gösterilmiştir. Bunun için bir deney düzeneği geliştirilmiş ve çeşitli



yoğunluklar için ışın lekesinin standart sapması belirlenmiştir. 6 lt saf suya sırasıyla 100gr, 300gr, 500gr, 700gr ve 900gr tuz ışın lekesinin standart sapması incelenmiştir. 100gr tuz için standart sapma 845, 300gr tuz için 839, 500gr tuz için 833, 700gr tuz için 827 ve 900gr tuz için ise 818 olarak ölçülmüştür. Bu değerlerden de görüldüğü gibi tuz miktarı arttıkça standart sapma azalmaktadır. Standart sapmanın yoğunluk ile değişimi grafiksel olarak Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

4. Optik ışınların su içerisinde saçılmasında ışın şiddeti etkilidir. Işın şiddeti 50cd ile 150cd arasında arttıkça parçacıkların etkisi azalmaktadır.
5. Kvazimonokromatik geniş ışıma diyagramlı ışın vericilerin ışınlarının su içerisinde mesafe ile zayıflaması iki bölgeden oluştuğu gösterilmiştir. Birinci bölge hızlı zayıflama bölgesi ikinci bölge ise yavaş zayıflama bölgesidir. Yavaş zayıflama bölgesinde optik ışınlar havaya göre daha yavaş zayıflar. Her bir LED için bu bölgede hava, saf su ve deniz suyunda düşme eğimleri ayrı ayrı hesaplanmış ve aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Bu tablodan da görüldüğü gibi düşme eğimi saf suda en azdır.

	Düşme eğimi				
Ortam	470nm	505nm	524nm	558nm	590nm
Hava	0,174	0,212	0,114	0,060	0,130
Deniz suyu	0,078	0,089	0,084	0,054	0,120
Saf su	0,056	0,082	0,080	0,050	0,056

6. Yavaş zayıflama bölgesi ışın şiddetine ve dalga boyuna bağlıdır. 470nm dalga boylu LED ışınları için ışın şiddeti 50cd ile 150cd arasında arttıkça yavaş zayıflama bölgesi artarken 590nm dalga boylu LED ışınları için ise bir değişiklik olmamaktadır.

7. Kvazimonokromatik ışınların saf su ve deniz suyunda mesafe ile değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki ışın şiddetinin mesafe ile değişimi  $P(L) \sim \frac{1}{L^2} \exp(-cL)$  ifadesi ile orantılı olduğu gösterilmiştir.
8. Uzun mesafelerde ışın şiddetinin mesafe ile değişimini incelemek için 635nm dalga boylu kırmızı nokta lazer kullanılmıştır. Lazer ışınları için de  $P(L) \sim \frac{1}{L^2} \exp(-cL)$  ifadesinin geçerli olduğu gösterilmiştir.

Sonuç olarak doktora tezinin bilime katkısı aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Saf su ve deniz suyunda ışığı saçılmasında temel etken su molekülleridir. Ancak, suda bulunan diğer bileşenler de saçılmayı etkilemektedir. Su içerisinde bulunan parçacıklar saçılma karakteristiklerinden hareketle tespit edilebileceği gösterilmiştir. Özellikle emilmede fazla etkili olmayıp saçılmada daha çok etkili olan parçacıkların tespitinde alternatif bir yöntem olarak kullanılabilir.
2. Optik ışınların su içerisinde saçılmasında ışın şiddeti etkilidir. Işın şiddeti 50cd ile 150cd artıkça parçacıkların etkisi azalmaktadır.
3. Optik ışınlar su içerisinde yayılırken belli bir mesafeden sonra havaya göre daha yavaş zayıflar. Bu mesafe 470nm dalga boylu LED için 100mA LED akımında 18cm, 200mA LED akımında 26cm ve 300mA LED akımında ise 36cm olarak tespit edilmiştir. Bu mesafe ışın şiddetine ve ışın vericinin dalga boyuna bağlıdır.
4. Kvazimonokromatik ışınların saf su ve deniz suyunda mesafe ile değişimi  $P(L) \sim \frac{1}{L^2} \exp(-cL)$  ifadesi ile orantılı olduğu gösterilmiştir. Benzer şekilde lazer ışınları için de aynı denklem geçerlidir.

## KAYNAKLAR

AIKEN, J., S. J. HUDSON, J. P. VESSEY, 1994. The measurement of optical attenuation in sea water. OCEANS'94. "Oceans Engineering for Today's Technology and Tomorrow's Preservations", Vol:2, p. 689-693, 13-16 September 1994.

ANASSONTZIS, E. G., IOANNOU, P., KOURKOUMELIS, CHR. RESVANIS, L. K., BRADNER, H., 1994. Measurement of light transmissivity in clear and deep sea water, Nucl. Instrum. Methods A 349, 242-246

BABIN, M., A. MOREL, SICRE, V. F., F. FELL, D. STRAMSKI, 2003. Light scattering properties of marine particles in coastal and open ocean waters as related to the particle mass concentration, Limnol. Oceanogr., 48(2), 843-859.

BAILEY, B.C., J. H. BLATT, F. M. CAIMI, 2003. Radiative transfer modeling and analysis of spatially variant and coherent illumination for undersea object detection. IEEE Journal Of Oceanic Engineering, 28 (4):570-582.

BALKANOV, V., BELOLAPTIKOV I., BEZRUKOV L., ve ark. 1999. In situ measurement of optical parameters in Lake Baikal with the help of a Neutrino telescope. Applied Optics, 38 (33):6818-6825.

BALKANOV, V., BELOLAPTIKOV I., BEZRUKOV L., ve ark. 2003. Simultaneous measurements of water optical properties by AC9 transmissometer and ASP-15 inherent optical properties meter in Lake Baikal. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 498:231-239.

BARTLETT, J. S., K. J. VOSS, S. SATHYENDRANATH, A. VODACEK, 1998. Raman scattering by pure water and seawater. Applied Optics, 37 (15): 3324-3332.

BRADNER, H., 1992. Attenuation of light in clear deep ocean water. Proceedings of the 2nd NESTOR INTERNATIONAL WORKSHOP.

CAPONE A., T. DIGAETANOC, A. GRIMALDID, R. HABELE, D. Lo PRESTID, E. MIGNECOF, R. MASULLOA, F. MOROC, M. PETRUCETTIB, C. PETTAG, P. PIATTELLIF, N. RANDAZZOD, G. RICCOBENEF, E. SALUSTIB, P. SAPIENZAF, M. SEDITAF, L. TRASATTIH, L. URSELLAC. 2002. Measurements of light transmission in deep sea with the AC9 trasmissometer, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 487:423-434.

DROZDOWSKA, V., S. BABICHENKO, A. LISIN, 2002. Natural water fluorescence characteristics based on lidar investigations of a surface water layer polluted by an oil film; the Baltic cruise. Oceanologia, 44 (3), pp. 339-354.

ESTES, L. E., G. FAIN, J. D. HARRIS, 1996. Laser beam propagation through the ocean's surface. OCEANS'96. MTS/IEEE. "Prospects for the 21st Century". Conference Proceedings, Volume:1 , Page(s): 87 -94, 23-26 Sept. 1996.

FRY, E. S. 2000. Visible and near-ultraviolet absorption spectrum of liquid water: comment. *Applied Optics*, 39 (16):2743-2744.

HU, C., K. J. VOSS, 1997. In situ measurements of Raman scattering in clear ocean water. *Applied Optics*, 36 (27): 6962-6967.

KUDRYAVTSEVA, A. D., N. V. TCHERNİEGA, 2002. Spatial, spectral, and temporal characteristics of stimulated light scattering in water. *Journal of Russian Laser Research*, Volume 23, Number 3.

KUMAR, P.S., S. T. LEE, C.P.G. VALLABHAN, V.P.N. NAMPOORI, P. RADHAKRISHNAN, 2002 Design and development of an LED based fiber optic evanescent wave sensor for simultaneous detection of chromium and nitrite traces in water, *Optics Communications*, 214, 25–30.

LI, J., D. R. ALEXANDER, H. ZHANG, U. PARALÌ, D. W. DOERR, J. C. BRUCE III, H. WANG, 2007. Propagation of ultrashort laser pulses through water, *Optics Express*, Vol. 15, No. 4, 1939-1945.

LITJENS, R. A. J., T. I. QUICKENDEN, C. G. REEMAN. 1999. Visible and near-ultraviolet absorption spectrum of liquid water. *Applied Optics*, 38 (7): 1216-1223.

MISHCHENKO, M. I., J. W. HOVENIER, L. D. TRAVIS, 2000. Light scattering by nonspherical particles. Theory, measurements, and applications. San Diego, Academic Press, 2000.

MOBLEY, Curtis D., 1994. *Light and Water*, Academic Press.

MOREL, A. 1974. Optical properties of pure water and pure seawater, Chap.1. In: *Optical Aspects of Oceanography*. Jerlov and Nielsen, Academic Press, 1-24.

MUSAYEV, E., *Optoelektronik Devreler ve Sistemler*, Birsen yayınevi, 1999.

MUSAYEV, E., TEKİN, İ., 2006. LED ışınların su ortamından geçmesinin araştırılması. *Elektrik – Elektronik – Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, ELECO'06*, 6-10 Aralık, Bursa.

PEGAU, W. S., D. GRAY, J. R. V. ZANEVELD. 1997. Absorption and attenuation of visible and near-infrared light in water: deponce on temperature and salinity. *Applied Optics*, 36 (24):6035-6046.

QUICKENDEN, T. I., C. G. FREEMAN, R. A. LITJENS. 2000. Some comments on the paper by Edwards S. Fry on the visible and near-ultraviolet absorbption spectrum of liquid water. *Applied Optics*, 39 (16):2740-2742.

SCHROEDER, M., BARTH, H., REUTER, R., 2003. Effect of inelastic scattering on under water daylight in the ocean: model evaluation, validation, and first results. *Applied Optics*, 42 (21):4244-4260.

SOGANDARES, F. M., E. S. FRY. 1997. Absorption spectrum (340-640nm) of pure water. I. Photothermal measurements. *Applied Optics*, 36 (33):8699-8709.

STAVN, R. H. 1993. Effects of Raman Scattering across the visible spectrum in clear ocean water: a Monte Carlo study. *Applied Optics*, 32 (33): 6853-6863.

STAVN, R. H., TIMOTHY R. K. 2004. Suspended mineral particle distributions in high-energy coastal environments: Optical implications, *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 109.

STRAMSKI, D., E. BOSS, D. BOGUCKI, K. J. VOSS, 2004. The role of seawater constituents in light backscattering in the ocean, *Progress in Oceanography* 61 p.27–56.

SVABERG, S. 2001. *Atomic and Molecular Spectroscopy, Basic Aspects and Practical Applications*. Springer.

TASSAN, S. ve G. M. FERRARI. 1995. Proposal for the measurement of backward and total scattering by mineral particles suspended in water. *Applied Optics*, 34 (36): 8345-8353.

UIGA E., 1995. *Opoelectronics*, Prentice Hall, 1995

VAN DE HULST, H. C., 1981. *Light scattering by small particles*. Dover Publications.

VOUNTAS, M., A. RICHTER, F. WITTROCK, and J. P. BURROWS, 2003. Inelastic scattering in ocean water and its impact on trace gas retrievals from satellite data. *Atmos. Chem. Phys.*, 3, 1365–1375.

WHITCOMB, L., D. YOERGER, H. SINGH, J. HOWLAND. 1999. *Advances in Underwater Robot Vehicles for Deep Ocean Exploration: Navigation, Control, and Survey Operations*. *Robotics Research 9: Proceedings of the Ninth International Symposium of Robotics Research (ISRR'99)*, October 9-12, Snowbird, Utah, USA.

WOZNIAK, S. B., STRAMSKI, D., 2004. Modeling the optical properties of mineral particles suspended in seawater and their influence on ocean reflectance and chlorophyll estimation from remote sensing algorithms, *Applied Optics*, Vol. 43 No.17, 2004, 3489-3503.

<http://www.lsbu.ac.uk/water/molecule.html>

## EK-1: Matlab programı

```
clc,clear,close all;
a=zeros(10,1); x=zeros(10,1);h=zeros(10,1);d=zeros(18,1);e=zeros(18,1);f=zeros(18,1);y=zeros(18,1);

a=[63.5 67.5 151.9 175 169.8 146 130.2 97.5 64.5]; %mavi saf suda 100mA X=14cm
b=[120 136.5 160.5 191 178.5 164.5 142.3 116 103]; %yeşil saf suda 200mA X=22cm
c=[120.5 145 156.5 174 170.5 160.5 147.5 125 110.5]; %sarı saf suda 300mA X=24cm
ah=[62 63 67 134.7 568.5 353.4 82.5 65 63]; %100mA X=14cm, havada
bh=[62 65 77.7 189.8 412.7 325.3 142.5 74 65]; %200mA X=20cm, havada
ch=[62 67 89 240.2 348 284.3 150.2 80 66]; %200mA X=24cm, havada
ad=[63 93 126.5 154 155.5 138 120.5 97 64]; %mavi deniz suda 100mA X=14cm
bd=[84.5 113.5 143.5 161.5 149.5 135.5 123.5 121 87.5]; %mavi deniz suda 200mA X=18cm
cd=[97 116.5 140.5 162.5 146 135.5 124 116 97.5]; %mavi deniz suda 300mA X=20cm

d=[924.4 525 350.1 260.5 204.9 169.8 146 134.8 129.5 126 120.5 118.5 118 116.5 110 103.5 99
95.5] %Mavi saf suda Y=0 için X mesafesi ile genliğin değişimi. ILED=100mA
e=[1621.5 887.1 574 412.5 312.7 254.5 217.9 203.9 195.2 178.5 169.5 166.6 162.5 156.5 149.5
140.5 131.5 125] %Mavi saf suda Y=0 için X mesafesi ile genliğin değişimi. ILED=200mA
f=[1754.4 951.3 614 439.8 332.1 268.5 230.5 215.6 205.8 188 180 176.5 170.5 162.5 154.5 145.5
136.5 130.5] %Mavi saf suda Y=0 için X mesafesi ile genliğin değişimi. ILED=300mA
dh=[2515 1893 1440.3 1024.3 730.6 568.5 427.7 349.5 289.5 252.3 216 192 174 159 145 135.2
127 119.8] %Mavi havada Y=0 için X mesafesi ile genliğin değişimi. ILED=100mA
eh=[2989 2278 1760 1341 976 804 651 500 413 354 309 268 231 207 188 173 160 150] %Mavi
havada Y=0 için X mesafesi ile genliğin değişimi. ILED=200mA
fh=[2524 2113 1674.2 1327.9 1037.6 891.5 703.6 570.1 473 402.5 348 304.8 269.4 241.2 218.9
200 185 172] %Mavi havada Y=0 için X mesafesi ile genliğin değişimi. ILED=300mA
dd=[1028.8 543.3 347.5 249.5 190.5 155.5 132.5 115.5 103.5 95 90 86 82 79 77 76 74 73]
%Mavi deniz suyunda Y=0 için X mesafesi ile genliğin değişimi. ILED=100mA
ed=[1579.4 813.1 504.3 352.1 264.5 211.5 175.5 149.5 132 119.5 109 102 95.5 91.5 88 85 83
82] %Mavi saf suda Y=0 için X mesafesi ile genliğin değişimi. ILED=200mA
fd=[1850.7 942.6 573 405.4 296.4 239 195 166 146 130 119 110 104 98 94 90 88 86] %Mavi saf suda
Y=0 için X mesafesi ile genliğin değişimi. ILED=300mA

at=[61 61 62 61 61.5 63.5 66.5 76.5 83.5 91.5 89 88 89
91.5 92 92 91.5 89.5
61 64 62 63 77.6 97.5 111.5 104.5 101 102.5 106.5 105.5 100.5
101 98 96.5 95 93
69 66 117.8 185.8 158.1 151.9 144.5 127.2 116.5 113.5 110.5 110 106.5
108.5 107 103.5 100 97.5
579.1 467.7 350.6 252.8 203.2 175 154.8 142.5 134.5 129.5 124.5 120.5 115
116.5 110.5 104.5 99.5 96
924.4 525 350.1 260.5 204.9 169.8 146 134.9 129.5 126 120.5 118.5 118
116.5 110 103.5 99 95.5
381.2 390.2 262.3 209 171.6 146 129 121.5 117.5 117.5 114 114 112
111 105 100.5 97 94
86 75 115.6 158.5 166 118.5 116.5 107.5 104 104 105.5 104.5 104.5
105.5 101.5 97.5 95 92.5
61 69.5 66 67 79.5 97.5 100.5 105 98 91 91 92.5 94.5
95.5 95.5 94 91.5 89.5
61 61 64 64.5 63.5 64.5 69 76 82 83.5 88 89 87
87 87 87 87 87

]; % Mavi saf suda ILED=100mA
aht=[65.1 64 62 62 62 62 62 62 62 62 62 62 62
62 63 63 62 62.2 63
76.3 63 63 63 63 63 62 63 63 63 64 64 64.2
64.5 65 64.2 65.2 65
66.3 66 65.3 66 66 67 68 69 70 70 71.5 73.5 76.6
78.2 79 79.8 79.8 82
```

83.3	87	97.4	106.2	117	134.7	143.4	154.4	154.8	149.9	146.4	140.5	136.2
	132.2	126.7	122.9	118	113.2							
2515	2413	1540.3	1024.3	730.6	568.5	427.7	349.5	289.5	252.3	216	192	174
	159	145	135.2	127	119.8							
102.4	123.2	183.1	249.5	324.6	353.4	348.3	288.3	248.4	220	195.2	177.4	164.9
	153.3	143.9	134.2	127	121							
70	69.8	70	73.2	77	82.5	92.4	101.2	109.6	118.9	123.5	131.1	134.8
	134.5	130	121	114	109							
64	64	64.4	64.5	65	65	66	67	68	70	73.5	77	79
	81.1	84	86	87	89.5							
62.1	62.5	62	63	63	63	62	63	63	64	64	64.3	65
	66.2	67.5	68	70	70.8]	% Mavi havada ILED=100mA						

x=[-8 -6 -4 -2 0 2 4 6 8];

y=[4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38];

a=a/175

b=b/191

c=c/174

d=d/924.4

e=e/1621.5

f=f/1754.4

ah=ah/568.5

bh=bh/412.7

ch=ch/348

dh=dh/2515

eh=eh/2989

fh=fh/2524

ad=ad/155.5

bd=bd/161.5

cd=cd/162.5

dd=dd/1028.8

ed=ed/1579.4

fd=fd/1850.7

i=-8:0.1:8

j=4:0.1:38

za=interp1(x,a,i,'pchip')

zb=interp1(x,b,i,'pchip')

zc=interp1(x,c,i,'pchip')

zd=interp1(y,d,j,'pchip')

ze=interp1(y,e,j,'pchip')

zf=interp1(y,f,j,'pchip')

zah=interp1(x,ah,i,'pchip')

zbh=interp1(x,bh,i,'pchip')

zch=interp1(x,ch,i,'pchip')

zad=interp1(x,ad,i,'pchip')

zbd=interp1(x,bd,i,'pchip')

zcd=interp1(x,cd,i,'pchip')

zdh=interp1(y,dh,j,'pchip')

zeh=interp1(y,eh,j,'pchip')

zfh=interp1(y,fh,j,'pchip')

zdd=interp1(y,dd,j,'pchip')

zed=interp1(y,ed,j,'pchip')

zfd=interp1(y,fd,j,'pchip')

```

%set(gcf, 'Position', [300 200 450 300])
%set(gca, 'FontSize', 10)
%set(gca, 'LineWidth', 2);
%set(gcf, 'LineWidth', 1.5)
%set(p2, 'LineWidth', 1.5)

%figure(1), plot(x, ah, 'or')
%figure(1), title('Mavi LEDin havada, 100mA, 200mA ve 300mA için yayilimi ve yayilimin teorik grafigi')
%hold
%plot(x, bh, 'og')
%plot(x, ch, 'ob')

xgah=-8:0.1:8;
coeff=fmins('gafitah',[1 1]);
kah1=coeff(1); kah2=coeff(2)
ygah=kah1*exp(-kah2*xgah.^2);
ygah=ygah/max(ygah)
%plot(xgah,ygah,'r')

xgbh=-8:0.1:8;
coeff=fmins('gafitbh',[1 1]);
kbh1=coeff(1); kbh2=coeff(2)
ygbh=kbh1*exp(-kbh2*xgbh.^2);
ygbh=ygbh/max(ygbh)
%plot(xgbh,ygbh,'g')

xgch=-8:0.1:8;
coeff=fmins('gafitch',[1 1]);
kch1=coeff(1); kch2=coeff(2)
ygch=kch1*exp(-kch2*xgch.^2);
ygch=ygch/max(ygch)
%plot(xgch,ygch,'b')
eah=(zah-ygah)
eahk=sum(eah.^2)
eaho=eahk/1.61

ebh=(zbh-ygbh)
ebhk=sum(ebh.^2)
ebho=ebhk/1.61

ech=(zch-ygch)
echk=sum(ech.^2)
echo=echk/1.61

%set(gcf, 'Position', [300 200 450 300])
%set(gca, 'FontSize', 10)
%figure(2), plot(x, a, 'or')
%figure(2), title('Mavi LEDin saf suda 100mA, 200mA ve 300mA için yayilimi ve yayilimin teorik grafigi')
%hold
%plot(x, b, 'og')
%plot(x, c, 'ob')

k=-8:0.1:8
xga=-8:0.1:8;
coeff=fmins('gafita',[1 1]);
ka1=coeff(1); ka2=coeff(2)
yga=ka1*exp(-ka2*xga.^2);
yga=yga/max(yga)

```



```

%plot(xga,yga,'r')

xgb=-8:0.1:8;
coeff=fmins('gafitb',[1 1]);
kb1=coeff(1); kb2=coeff(2)
ygb=kb1*exp(-kb2*xgb.^2);
ygb=ygb/max(ygb)
%plot(xgb,ygb,'g')

xgc=-8:0.1:8;
coeff=fmins('gafitc',[1 1]);
kc1=coeff(1); kc2=coeff(2)
ygc=kc1*exp(-kc2*xgc.^2);
ygc=ygc/max(ygc)
%plot(xgc,ygc,'b')
ea=(za-yga)/za
eb=(zb-ygb)/zb
ec=(zc-ygc)/zc

%set(gcf, 'Position', [300 200 450 300])
%set(gca, 'FontSize',10)
%figure(3), plot(x,ad,'or')
%figure(3), title('Mavi LEDin deniz suyunda 100mA, 200mA ve 300mA için yayilimi ve yayilimin teorik
grafigi')
%hold
%plot(x,bd,'og')
%plot(x,cd,'ob')

n=-8:0.1:8
xgad=-8:0.1:8;
coeff=fmins('gafitad',[1 1]);
kad1=coeff(1); kad2=coeff(2)
ygad=kad1*exp(-kad2*xgad.^2);
ygad=kad1*exp(-kad2*xgad.^2);
ygad=ygad/max(ygad)
%plot(xgad,ygad,'r')

xgbd=-8:0.1:8;
coeff=fmins('gafitbd',[1 1]);
kbd1=coeff(1); kbd2=coeff(2)
ygbd=kbd1*exp(-kbd2*xgbd.^2);
ygbd=ygbd/max(ygbd)
%plot(xgbd,ygbd,'g')

xgcd=-8:0.1:8;
coeff=fmins('gafitcd',[1 1]);
kcd1=coeff(1); kcd2=coeff(2)
ygcd=kcd1*exp(-kcd2*xgcd.^2);
ygcd=ygcd/max(ygcd)
%plot(xgcd,ygcd,'b')

ead=(zad-ygad)/zad
ebd=(zbd-ygbd)/zbd
ecd=(zcd-ygcd)/zcd

set(gcf, 'Position', [300 200 450 300])
set(gca, 'fontname', 'Times New Roman', 'fontsize', 11)
figure (4), p1=plot(x,ah,'ok')
x1=-0.1; y1=6
t1=text(y1,x1,'Y (cm)')

```

```

set(t1, 'FontSize', 11, 'FontName', 'Times New Roman')
x1=0.9; y1=-10
t1=text(y1,x1,'Ufa')
set(t1, 'FontSize', 11, 'FontName', 'Times New Roman')
%figure(4), title('Mavi LEDin havada, saf suda ve deniz suyunda 100mA için yayilimi ve yayilimin teorik
grafigi')
hold
p2=plot(x,a,'sk')
p3=plot(x,ad,'vk')
p4=plot(xgah,ygah,'-k')
p5=plot(xga,yga,':k')
p6=plot(xgad,ygad,'--k')
set(gca,'LineWidth',1.5)
set(p1,'LineWidth',1.5)
set(p2,'LineWidth',1.5)
set(p3,'LineWidth',1)
set(p4,'LineWidth',1.5)
set(p5,'LineWidth',1.5)
set(p6,'LineWidth',1.5)

set(gcf, 'Position', [300 200 450 300])
set(gca, 'fontname', 'Times New Roman', 'fontsize', 11)
figure(5), p7=plot(x,bh,'ok')
x1=-0.1; y1=6
t1=text(y1,x1,'Y (cm)')
set(t1, 'FontSize', 11, 'FontName', 'Times New Roman')
x1=0.9; y1=-10
t1=text(y1,x1,'Ufa')
set(t1, 'FontSize', 11, 'FontName', 'Times New Roman')
%figure(5), title('Mavi LEDin havada, saf suda ve deniz suyunda 200mA için yayilimi ve yayilimin teorik
grafigi')
hold
p8=plot(x,b,'sk')
p9=plot(x,bd,'vk')
p10=plot(xgbh,ygbh,'-k')
p11=plot(xgb,ygb,':k')
p12=plot(xgbd,ygbd,'--k')
set(gca,'LineWidth',1.5)
set(p7,'LineWidth',1.5)
set(p8,'LineWidth',1.5)
set(p9,'LineWidth',1)
set(p10,'LineWidth',1.5)
set(p11,'LineWidth',1.5)
set(p12,'LineWidth',1.5)

set(gcf, 'Position', [300 200 450 300])
set(gca, 'fontname', 'Times New Roman', 'fontsize', 11)
figure(6), p13=plot(x,ch,'ok')
x1=-0.1; y1=6
t1=text(y1,x1,'Y (cm)')
set(t1, 'FontSize', 11, 'FontName', 'Times New Roman')
x1=0.9; y1=-10
t1=text(y1,x1,'Ufa')
set(t1, 'FontSize', 11, 'FontName', 'Times New Roman')
%figure(6), title('Mavi LEDin havada, saf suda ve deniz suyunda 300mA için yayilimi ve yayilimin teorik
grafigi')
hold
p14=plot(x,c,'sk')
p15=plot(x,cd,'vk')
p16=plot(xgch,ygch,'-k')

```

```

p17=plot(xgc,ygc,':k')
p18=plot(xgcd,ygcd,'--k')
set(gca,'lineWidth',1.5)
set(p13,'LineWidth',1.5)
set(p14,'LineWidth',1.5)
set(p15,'LineWidth',1)
set(p16,'LineWidth',1.5)
set(p17,'LineWidth',1.5)
set(p18,'LineWidth',1.5)

set(gcf, 'Position', [300 200 450 300])
set(gca, 'fontname', 'Times New Roman', 'fontsize', 11)
zdh=zdh-min(zdh)
zdh=zdh/max(zdh)

zd=zd-min(zdh)
zd=zd/max(zd)

zdd=zdd-min(zdh)
zdd=zdd/max(zdd)

figure(7), p19=plot(j,zdh,'-k')
x1=-0.1; y1=35
t1=text(y1,x1,'X (cm)')
set(t1, 'FontSize', 11, 'FontName', 'Times New Roman')
x1=0.9; y1=0
t1=text(y1,x1,'Ufa')
set(t1, 'FontSize', 11, 'FontName', 'Times New Roman')
%figure(7), title('Mavi LEDin havada, saf suda deniz suyunda 100mA icin zayiflamasi')
hold
%p192= plot(y,dh,'ok')
p20=plot(j,zd,':k')
%p202= plot(y,d,'xk')
p21=plot(j,zdd,'--k')
%p212= plot(y,dd,'sk')
set(gca,'lineWidth',1.5);
set(p19,'LineWidth',1.5)
set(p20,'LineWidth',1.5)
set(p21,'LineWidth',1.5)

set(gcf, 'Position', [300 200 450 300])
set(gca, 'fontname', 'Times New Roman', 'fontsize', 11)
figure(8), p22=plot(j,zeh,'-k')
x1=-0.1; y1=35
t1=text(y1,x1,'X (cm)')
set(t1, 'FontSize', 11, 'FontName', 'Times New Roman')
x1=0.9; y1=0
t1=text(y1,x1,'Ufa')
set(t1, 'FontSize', 11, 'FontName', 'Times New Roman')
%figure(8), title('Mavi LEDin havada, saf suda deniz suyunda 200mA icin zayiflamasi')
hold
p222= plot(y,eh,'ok')
p23=plot(j,ze,':k')
p24=plot(j,zed,'--k')
set(gca,'lineWidth',1.5);
set(p22,'LineWidth',1.5)
set(p23,'LineWidth',1.5)
set(p24,'LineWidth',1.5)

```

```

set(gcf, 'Position', [300 200 450 300])
set(gca, 'fontname', 'Times New Roman', 'fontsize', 11)
figure(9), p25=plot(j,zfh,'-k')
x1=-0.1; y1=35
t1=text(y1,x1,'X (cm)')
set(t1, 'FontSize', 11,'FontName', 'Times New Roman')
x1=0.9; y1=0
t1=text(y1,x1,'Ufa')
set(t1, 'FontSize', 11,'FontName', 'Times New Roman')
%figure(9), title('Mavi LEDin havada, saf suda deniz suyunda 300mA icin zayiflamasi')
hold
p252= plot(y,fh,'ok')
p26=plot(j,zf,':k')
p27=plot(j,zfd,'--k')
set(gca,'lineWidth',1.5);
set(p25,'LineWidth',1.5)
set(p26,'LineWidth',1.5)
set(p27,'LineWidth',1.5)

```

```

%set(gcf, 'Position', [300 200 450 300])
%set(gca, 'fontname', 'Times New Roman', 'fontsize', 11)
%figure(10), plot(j,zdh,'r')
%figure(10), title('Mavi LEDin havada 100mA, 200mA ve 300mA icin zayiflamasi')
%hold
%plot(j,zeh,'g')
%plot(j,zfh,'b')

```

```

%set(gcf, 'Position', [300 200 450 300])
%set(gca, 'fontname', 'Times New Roman', 'fontsize', 11)
%figure(11), plot(j,zd,'r')
%figure(11), title('Mavi LEDin saf suda 100mA, 200mA ve 300mA icin zayiflamasi')
%hold
%plot(j,ze,'g')
%plot(j,zf,'b')

```

```

%set(gcf, 'Position', [300 200 450 300])
%set(gca, 'fontname', 'Times New Roman', 'fontsize', 11)
%figure(12), plot(j,zdd,'r')
%figure(12), title('Mavi LEDin deniz suyunda 100mA, 200mA ve 300mA icin zayiflamasi')
%hold
%plot(j,zed,'g')
%plot(j,zfd,'b')
set(gcf, 'Position', [300 200 450 300])
set(gca, 'fontname', 'Times New Roman', 'fontsize', 11)
figure(13)
de(dh)
%figure(13), title('Mavi LEDin havada 100mA icin zayiflamasi')
set(gca, 'fontname', 'Times New Roman', 'fontsize', 11)
figure(14)
de(eh)
%figure(14), title('Mavi LEDin havada 200mA icin zayiflamasi')
set(gca, 'fontname', 'Times New Roman', 'fontsize', 11)
figure(15)
de(fh)
%figure(15), title('Mavi LEDin havada 300mA icin zayiflamasi')
set(gca, 'fontname', 'Times New Roman', 'fontsize', 11)
figure(16)
de(d)
%figure(16), title('Mavi LEDin saf suda 100mA icin zayiflamasi')

```

```

set(gca, 'fontname', 'Times New Roman', 'fontsize', 11)
figure(17)
de(e)
%figure(17), title('Mavi LEDin saf suda 200mA icin zayiflamasi')
set(gca, 'fontname', 'Times New Roman', 'fontsize', 11)
figure(18)
de(f)
%figure(18), title('Mavi LEDin saf suda 300mA icin zayiflamasi')
set(gca, 'fontname', 'Times New Roman', 'fontsize', 11)
figure(19)
de(dd)
%figure(19), title('Mavi LEDin deniz suyunda 100mA icin zayiflamasi')
set(gca, 'fontname', 'Times New Roman', 'fontsize', 11)
figure(20)
de(ed)
%figure(20), title('Mavi LEDin deniz suyunda 200mA icin zayiflamasi')
set(gca, 'fontname', 'Times New Roman', 'fontsize', 11)
figure(21)
de(fd)
%figure(21), title('Mavi LEDin deniz suyunda 300mA icin zayiflamasi')
set(gca, 'fontname', 'Times New Roman', 'fontsize', 11)

```

```
i=-8:0.1:8
```

```

zat(1,:)=interp1(x,at(:,1),i,'pchip')
zat(2,:)=interp1(x,at(:,2),i,'pchip')
zat(3,:)=interp1(x,at(:,3),i,'pchip')
zat(4,:)=interp1(x,at(:,4),i,'pchip')
zat(5,:)=interp1(x,at(:,5),i,'pchip')
zat(6,:)=interp1(x,at(:,6),i,'pchip')
zat(7,:)=interp1(x,at(:,7),i,'pchip')
zat(8,:)=interp1(x,at(:,8),i,'pchip')
zat(9,:)=interp1(x,at(:,9),i,'pchip')
zat(10,:)=interp1(x,at(:,10),i,'pchip')
zat(11,:)=interp1(x,at(:,11),i,'pchip')
zat(12,:)=interp1(x,at(:,12),i,'pchip')
zat(13,:)=interp1(x,at(:,13),i,'pchip')
zat(14,:)=interp1(x,at(:,14),i,'pchip')
zat(15,:)=interp1(x,at(:,15),i,'pchip')
zat(16,:)=interp1(x,at(:,16),i,'pchip')
zat(17,:)=interp1(x,at(:,17),i,'pchip')
zat(18,:)=interp1(x,at(:,18),i,'pchip')

```

```

zaht(1,:)=interp1(x,aht(:,1),i,'pchip')
zaht(2,:)=interp1(x,aht(:,2),i,'pchip')
zaht(3,:)=interp1(x,aht(:,3),i,'pchip')
zaht(4,:)=interp1(x,aht(:,4),i,'pchip')
zaht(5,:)=interp1(x,aht(:,5),i,'pchip')
zaht(6,:)=interp1(x,aht(:,6),i,'pchip')
zaht(7,:)=interp1(x,aht(:,7),i,'pchip')
zaht(8,:)=interp1(x,aht(:,8),i,'pchip')
zaht(9,:)=interp1(x,aht(:,9),i,'pchip')
zaht(10,:)=interp1(x,aht(:,10),i,'pchip')
zaht(11,:)=interp1(x,aht(:,11),i,'pchip')
zaht(12,:)=interp1(x,aht(:,12),i,'pchip')
zaht(13,:)=interp1(x,aht(:,13),i,'pchip')
zaht(14,:)=interp1(x,aht(:,14),i,'pchip')
zaht(15,:)=interp1(x,aht(:,15),i,'pchip')
zaht(16,:)=interp1(x,aht(:,16),i,'pchip')
zaht(17,:)=interp1(x,aht(:,17),i,'pchip')
zaht(18,:)=interp1(x,aht(:,18),i,'pchip')

```

**EK-2: Matlab programı**

```
clc
a=imread('DSC_1676.jpg');
agray=rgb2gray(a);
agray=double(agray);
h = ones(3,3)/10;
a_pre=round(filter2(h,agray));
apreu=uint8(a_pre);
% % apply the average filter to noisy image
% figure
% imshow(apreu);
% figure
% colormap(gray);
%mesh(a_pre);
[size_x size_y]=size(a_pre);
[xmax ymax]=max(a_pre);
maxind=round(mean(find(xmax==max(xmax))));
orta=a_pre(maxind,:);
gss=[];
for i=1:size_y
    gss=[gss repmat(i,1,round(orta(i)))];
end
std(gss)
x=[100 300 500 700 900];
y=[845 839 833 827 818];
plot(x,y)
```

**TEŞEKKÜR**

Doktora tezimin hazırlanmasında çok emeği bulunan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Eldar MUSAYEV'e, tezin gelişimindeki katkılarından dolayı Tez İzleme Komitesi'nin değerli üyeleri Sayın Prof. Dr. Güneő YILMAZ ve Sayın Doç. Dr. Muhitdin AHMETOĞLU'na sonsuz teşekkür ederim.

## ÖZGEÇMİŞ

İsmail TEKİN, 12 Haziran 1974 yılında Aydın ilinin Bozdoğan ilçesinin Olukbaşı köyünde doğdu. İlk ve orta eğitimini köyünde tamamladı. Lise eğitimini Bozdoğan Lisesi'nde tamamladı. 1992 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümünü kazandı. 1997 yılında aynı bölümden Elektronik Mühendisi olarak mezun oldu. Yaklaşık 8 ay özel sektörde çalıştıktan sonra 1997 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı ve aynı anabilim dalına Araştırma Görevlisi olarak atandı. 1999 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı ve aynı yıl doktora eğitimine başladı ve halen Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.