



TÜRKİYE BİLİMSEL VE  
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL  
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

OSTU  
Fen Bilimleri Fak.  
KİMYA BİLİMİ

2002-191

PROJE NO: YDABÇAG-582-A

1-14 1979046 (13)

PROF. DR. ALİ GÖKMEZ

Yer Deniz ve Atmosfer Bilimleri Araştırma Grubu

Earth Marine and Atmospheric Sciences  
Researches Grant Group

**TAŞINABİLİR LAZER DİYOT/FİBER OPTİK  
SPEKTROMETRE GELİŞTİRİLMESİ VE  
FİTOPLANKTON ÖLÇÜMLERİNDE  
KULLANILMASI**

OSTU  
Fen Bilimleri  
Enstitüsü

2002-191

**PROJE NO: YDABÇAG-582-A**

1-14

1979046

13

**PROF.DR. ALİ GÖKMEN**

ARALIK 2001

ANKARA

## ÖNSÖZ

Doğal sularda fitoplankton yoğunluklarını ölçmek amacı ile uzaktan algılamalı bir spektrofloreometre geliştirilmiştir. Bu cihaz fitoplanktonların klorofil floresansını ölçmek üzere tasarlanmıştır. Klorofil floresansını uyarmak için 635 nm'de ışınım yapan bir lazer diyot kullanılmış, ışık bir fiber optik kablo ile ölçüm yapılacak ortama taşınmış ve geri saçılan floresans ışığı ikinci bir fiber optik kablo ile toplanarak taşınabilir bir monokromatöre bağlanmış ve bir foton çoğaltıcı tüp ile sayılmıştır. Ölçülen klorofil floresansı fitoplankton yoğunluğu ile ilişkilendirilmiş ve sistemin duyarlılığı irdelenmiştir. Bu çalışma TÜBİTAK YDABÇAG-582-A projesi ile desteklenmiştir.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
1. Özet/Abstract	5
2. Giriş	6
3. Gelişme	7
4. Sonuç	10
5. Kaynakça	14

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Lazer / Fiber optik floresans ölçüm düzeneği	7
Şekil 2. Fiber optik uzaktan algılama sistemi; a) fiber optik gönderici/algılayıcı başlık, b) gönderici/algılayıcı başlıkta fiber optik kabloların düzeni, c) ölçümlerin yapıldığı yansıtıcı boru ve ışık tuzağı.	8
Şekil 3. Foton sayıcı elektronik düzenek.	9
Şekil 4. Klorofil-a, fikosiyenin ve <i>A. nidulans</i> soğurma spektrumları.	11
Şekil 5. <i>A. nidulans</i> canlı hücrelerde ölçülen floresans spektrumu ve <i>A. nidulans</i> 'dan elde edilen klorofil-a floresans spektrumu.	12
Şekil 6. Klorofil-a kalibrasyon eğrisi.	13

## ÖZET

Bu projede deniz ve göllerde besin zincirinin ilk halkasını oluşturan tek hücreli, fotosentez yapan fitoplankton derişimlerini canlı hücrede ölçebilecek bir spektroflore metre geliştirilmiştir. Işık kaynağı olarak monokromatik ışıma yapan ve 5 V pille çalıştırılabilen lazer diyot kullanılmıştır. Lazer diyot 635 nm'de ışıma yapmaktadır ve klorofil-a molekülünü 685 nm'de floresans yapmak üzere uyarmaya elverişlidir. Lazer diyot ışığının ölçüm yapılacak yere taşınabilmesi için fiber optik kablo kullanılmıştır. Taşıyıcı ve algılayıcı iki ayrı fiber optik kablo kullanılarak iki ışığın birbiriyle etkileşmesi engellenmiştir. Lazer ışığını taşıyan fiber optik kablo demeti çapları 200 µm olan çok sayıda fiber kablodan oluşurken, floresans ışığını ölçüm sistemine taşıyan fiber optik kablo çapı 1000 µm olan tek bir fiber kablodan oluşmaktadır. Floresans ölçümü için mini bir monokromatör kullanılmıştır. Bir foton çoğaltıcı tüp monokromatör çıkış yarığına yerleştirilmiştir. Foton pulsları elektrik sinyallerine çevrilip sayılmaktadır. Spektroflore metreyi denemek için *A. nidulans* isimli bir alg kültür ortamında çoğaltılmış ve nicel analizleri yapılmıştır. Klorofil-a'nın ölçülebilme limiti 50 ng/L olarak bulunmuştur. Havuz suyundan alınan örneklerde fitoplankton ölçümleri yapılmış ve kalibrasyon eğrileri çizilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fitoplankton, klorofil-a, floresans, lazer diyot, fiber-optik, spektroflore metre, uzaktan algılama

## ABSTRACT

A spectrofluorometer was developed to measure the concentration of live phytoplanktons which constitute the primary food production in natural waters. A laser diode which emits monochromatic light at 635 nm was used as a light source. This wavelength is suitable for excitation of chlorophyll-a in phytoplanktons which emits fluorescence light at 685 nm. A fiber optic bundle consisting of a transmitter fiber optic cable to carry the excitation light to the measurement remote site, and a receiver fiber optic cable to carry the emitted fluorescence light back to the detection system was used. The transmitter and receiver fiber optic cables were mounted side-by-side to minimize the interference of laser light and fluorescence light. A mini monochromator was used to measure the fluorescence spectrum. A photomultiplier tube was placed on the exit slit of monochromator to detect the photons. Photon pulses were converted to electronic signals and counted. A blue-green algae, *A. nidulans* was grown in culture medium for measurement of live algae in water. The detection limit for chlorophyll-a was found as 50 ng/L. Moreover, the water samples were collected from a pool and phytoplankton activity was measured and calibration curve was plotted.

Keywords: Phytoplankton, chlorophyll-a, fluorescence, laser diode, fiber-optic, spectrofluorometer, remote sensing

## GİRİŞ

Dünyadaki toplam birincil besin üretiminin üçte biri okyanuslarda yaşayan ve fotosentez yapan fitoplanktonlar tarafından karşılanmaktadır. Fitoplanktonların yapısında bulunan klorofil ve benzer moleküllerin floresan ışması yaptığıının anlaşılmasından sonra floresans ölçümleri fotosentez yapan fitoplanktonların deniz ve göllerdeki derişimlerini ölçmek için kullanılmaya başlanmıştır (YENTSCH, 1963, LORENZEN, 1970).

Yapay ışık ile uyarılan floresan ışması bundan 35 yıl önce Lorenzen tarafından kullanılmıştır (LORENZEN, 1966). Doğal sulardaki fitoplankton derişimleri denizin belirli derinliklerinden alınan su örneklerinden filitrelenerek ayrılan alglerin klorofil ve diğer ışık soğuran molekülleri doğrudan (hücre içinde) ölçülebilmektedir (BABIN, 1996, BRICAUD, 1990).

Daha önce yapılan çalışmalarda güneş tarafından uyarılan klorofil floresansı deniz üzerinden uçan bir uçaktan ölçülmüştür (MORE, 1977, NEVILLE, 1977, TOPLISS, 1986). Deniz kıyılarındaki fitoplankton aktivitesi uzaydan Nimbus 7 uydusundan ve MIR uzay istasyonundan Karibe 88 projesi çerçevesinde ölçülmüştür (BADADEV, 1992). Uzaydan yapılan güneşle uyarılmış floresan ölçümlerinde klorofil ölçülebilme limiti 1 µg/L olarak belirlenmiştir. Dünya denizlerinde klorofil derişimi 1 µg/L değerinin üzerinde olan alan % 2 düzeyinde olup, okyanuslardaki toplam birincil üretiminin % 8'ine karşılık gelmektedir (ANTOINE, 1996).

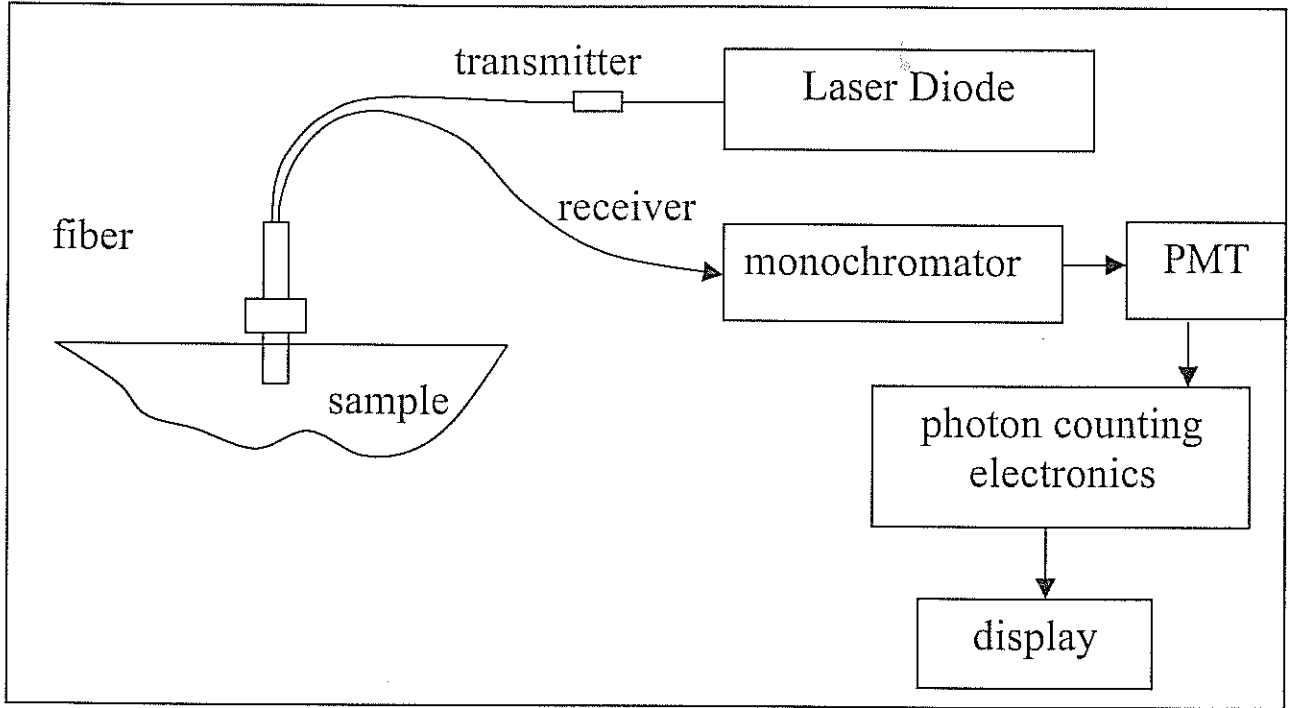
Fitoplanktonların uzaktan algılanmasında geliştirilen bir diğer yöntem, yapay ışık kaynakları kullanılarak uyarılan klorofil floresansının ölçülmesidir. Uçağa yerleştirilen Nd-YAG lazeri ile deniz yüzeyi 532 nm'deki lazer pulsları ile ışınlanmış ve fikoeritrin (phycoerithrin) floresansı 580 nm'de, klorofil floresansı ise 685 nm'de ölçülmüştür (HOGE, 1981). Bir başka çalışmada ise bir deniz araştırma gemisine yerleştirilen Ar-ion lazerinin ışığı fiber optik kablo ile denizin istenilen derinliğine indirilip, geri saçınan klorofil floresansı aynı fiber optik kablo ile gemiye iletilerek ölçülmüştür (COWLES, 1989).

Bu projede 635 nm'de ışma yapan lazer diyot ışığı bir fiber optik kablo demeti ile ölçüm yapılacak yere taşınmakta ve fitoplanktonların uyarılması ile oluşan klorofil floresansı başka bir fiber optik kablo ile geri taşınıp bir spektrometre ile ölçülmektedir. Fiber optik kablo demeti gönderici ve algılayıcı iki fiber optik kablonun birleşiminden oluşmuştur. Gönderici ve

algılayıcı fiber optik kablolar birbirleriyle hiç etkileşmemekte ve lazer ışığının floresans ışığını taşıyan fiber optik kabloya girmesi önlenmektedir. Geliştirilen lazer floresans spektrometresini denemek için bir mavi-yeşil alg türü olan *A. nidulans* kültür ortamında yetiştirilmiş ve ölçümler yapılarak cihazın duyarlılığı belirlenmiştir. Ayrıca havuz suyundan alınan örneklerde fitoplankton derişimleri doğrudan ölçülmüştür.

## GELİŞME

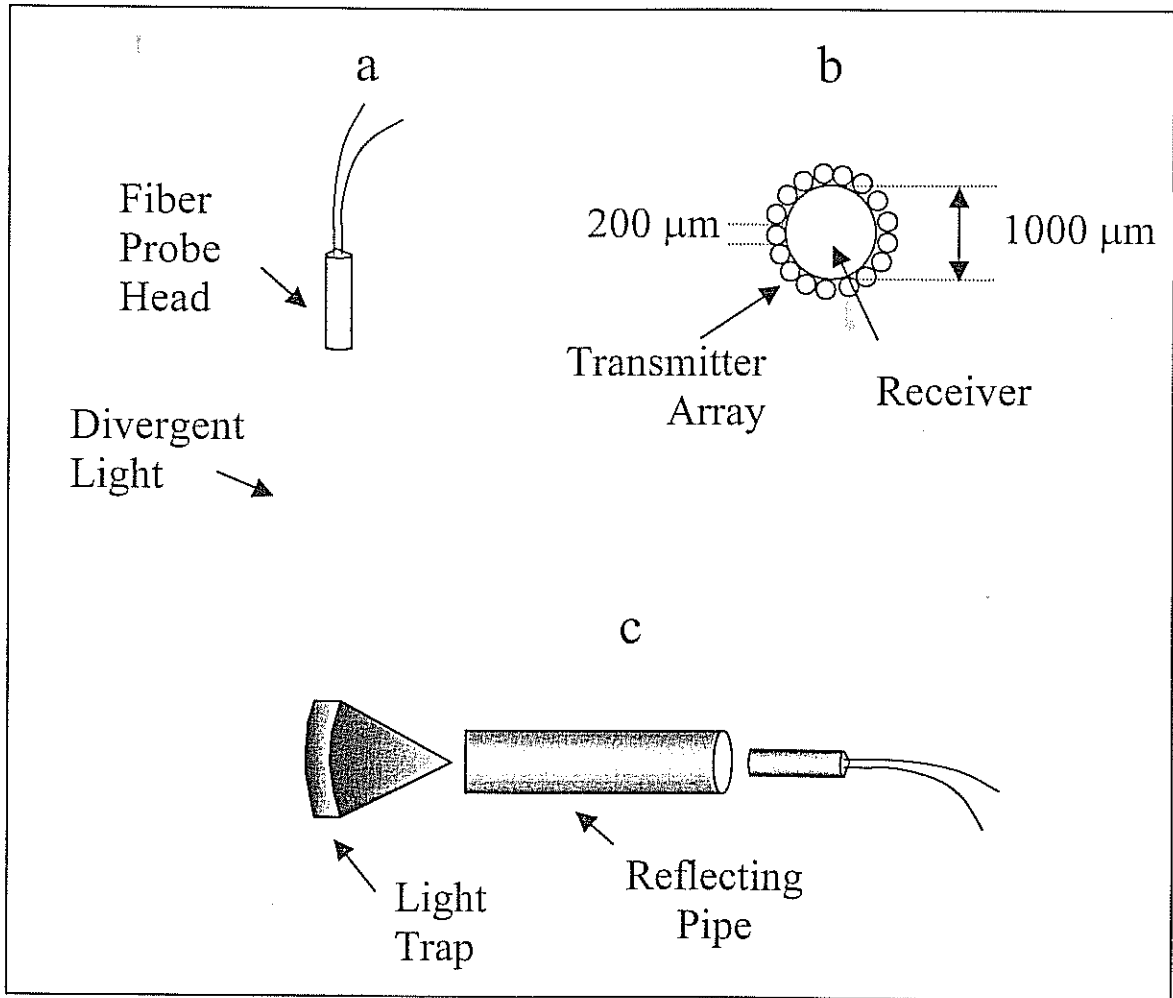
Bu proje kapsamında geliştirilen geri saçınımlı lazer floresans spektrometresinin şeması Şekil 1'de gösterilmiştir. OZ Optics firmasından satın alınan 7 mW ışık gücünde modüler lazer diyot ışık kaynağı kullanılmıştır. Lazer diyot 635 nm'de monokromatik ışığa yapmaktadır. Modüler cihaz küçük bir pervane ile soğutulmakta ve lazer diyotun sıcaklığı kararlı tutulmaktadır. Çapı 200 µm olan 50 cm uzunluğunda fiber optik kablo lazer diyot modülünün ucuna monte edilmiştir. Fiber optik kablonun ucunda diğer fiber optik kablolarla birleştirmeye uygun bir konnektör bulunmaktadır. Lazer diyot modülünde ışığı modüle etmek için BNC konnektörlü bir kablo bulunmaktadır. Buraya bağlanacak kare dalga sinyal ile lazer ışığı senkron olarak açılıp kapanabilmektedir.



Şekil 1. Lazer / Fiber optik floresans ölçüm düzeneği

Lazer ışığını ölçüm yapılacak ortama taşımak ve bu ortamda oluşan floresan ışığını geri taşımak için kullanılan fiber optik kablo demeti iki kısımdan oluşmaktadır. Çapları 200 µm

olan ve çok sayıda fiber optik kablodan oluşan demet lazer ışığını iletmek için kullanılmaktadır. Lazer diyot modülüne bağlı olan fiber optik kablo ise bu gönderici fiber optik kabloya konnektörle bağlanmaktadır. Alıcı fiber optik kablo ise çapı 1000  $\mu\text{m}$  olan tek bir fiber optik kablodur. Bu iki fiber optik kablunun birer uçları birbirinden bağımsız ancak diğer uçları Şekil 2.a'da gösterildiği gibi birleştirilmiştir. Algılayıcı olan fiber optik kablo ortada, çapı küçük olan taşıyıcı kablolar ise alıcı fiber optik kablunun etrafını saracak biçimde yerleştirilmiştir (Şekil 2.b). Lazer ışığı çevreye yerleştirilen taşıyıcı fiber optik kablolardan yayılmakta ve önünde ışık yansıtıcı bir cisim yoksa alıcı fiber optik kablo ile ölçüm sistemine taşınmamaktadır. Ancak fiber optik kablo başı içinde fitoplankton bulunan bir kabada daldırıldığında geri saçılan klorofil floresansı alıcı fiber optik kablo ile monokromatöre taşınmaktadır.

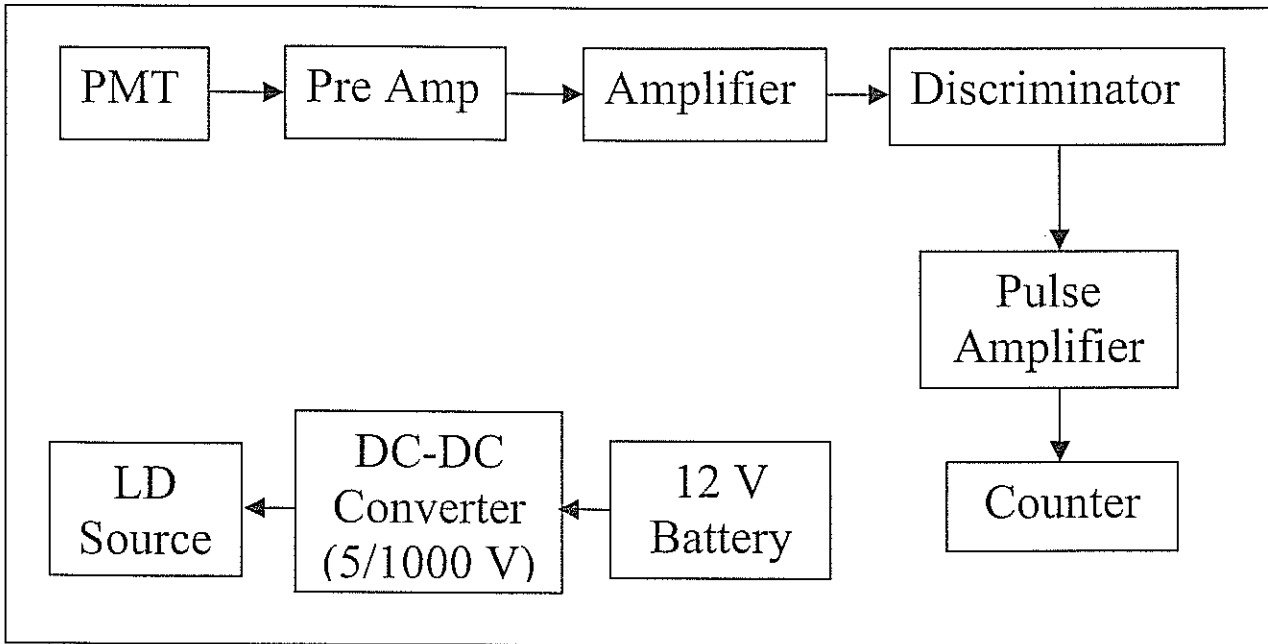


Şekil 2. Fiber optik uzaktan algılama sistemi; a) fiber optik gönderici/algılayıcı başlık, b) gönderici/algılayıcı başlıkta fiber optik kabloların düzeni, c) ölçümlerin yapıldığı yansıtıcı boru ve ışık tuzağı.



Taşıyıcı fiber optik kablodan çıkan lazer ışığı 11 derecelik bir açı ile yayılmakta ve ışığın şiddeti uzaklığın karesi ile ters orantılı azalmaktadır. Işık yoğunluğunu belirli bir düzeyde tutabilmek için içi parlak bir boru kullanılarak lazer ışığı yansımalarla çapı 0.5 cm çapında, 5 cm uzunluğunda bir silindir hacmine sınırlandırılmıştır. Yansıtıcı borunun çıkış tarafına karartılmış koni biçiminde bir ışık kapanı koyulmuş, lazer ışığının geri yansımaları ve alıcı fiber optik kablodan monokromatöre ulaşması engellenmiştir. Floresans ölçme verimini arttıran bu düzenek Şekil 2.c’de gösterilmiştir.

Floresans ışımalarını lazer ışığından ayırmak için Edmunds Optic firmasının ürettiği Mini-Chrom model, 4.85x5.89x13.9 cm boyutlarında, dalga boyu 200-800 nm elle ayarlanabilen bir monokromatör kullanılmıştır. Bu monokromatör Erciyes Üniversitesi’nden ödünç alınmıştır. Monokromatör giriş ve çıkış yarıkları sabit olup 300  $\mu\text{m}$ ’dir. Grating odak uzaklığı 74 mm olup doğrusal saçınımı 7.2 nm/mm’dir. Monokromatörün çıkış yarığına Hamamatsu marka, R928 model bir Foton Çoğaltıcı Tüp (Photo Multiplier Tube), FÇT yerleştirilmiştir. Çok duyarlı bir ölçüm için fotonları tek tek sayabilecek bir elektronik düzenek kurulmuştur. Foton saymak için kurulan elektronik devre elemanları Şekil 3’de gösterilmiştir. FÇT ye uygulanan 1000 V



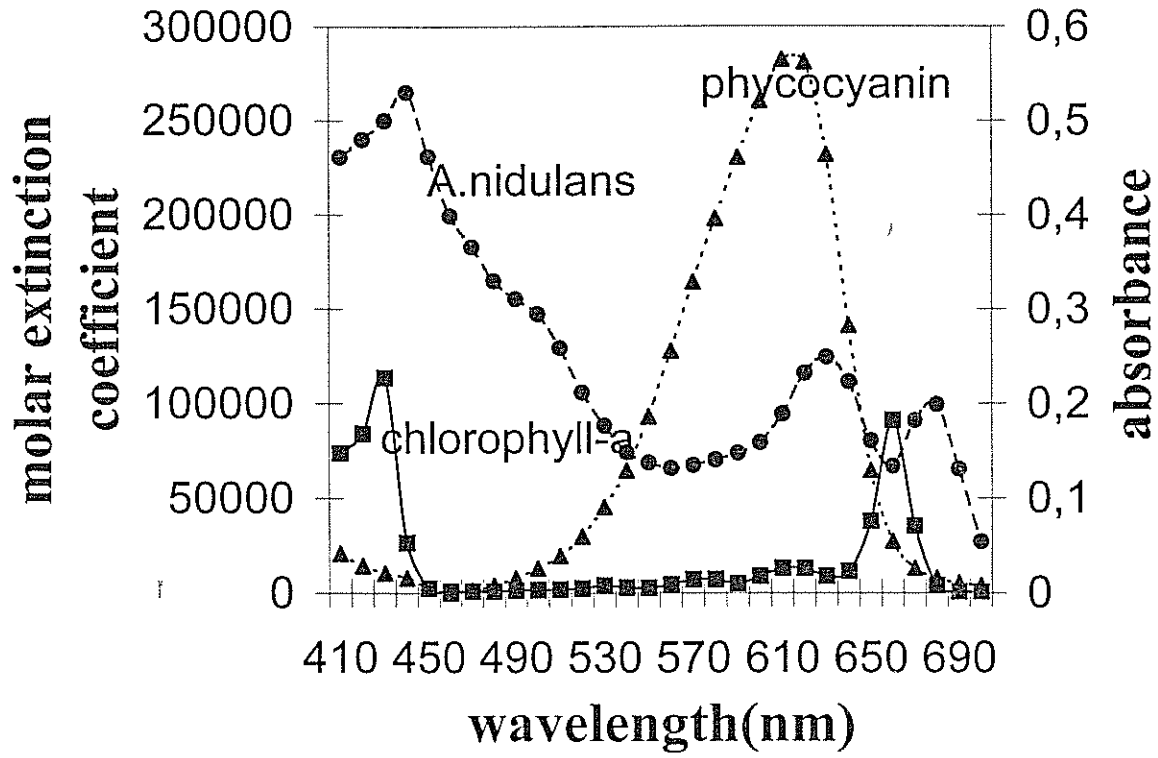
Şekil 3. Foton sayıcı elektronik düzenek.

gerilim Pico Elektronik firmasından satın alınan dc-dc çeviriciden elde edilmektedir. Dc-dc çevirici modülünün girişi 5 V sabit voltaj ile beslendiği takdirde çıkış gerilimi 1000 V olmaktadır. Giriş gerilimi değiştirilerek çıkış gerilimi 500-1000 V arasında ayarlanabilmektedir. Ön yükselticide (Pre-Amp) FÇT'den gelen akım sinyalleri gerilime çevrilip yükseltilmektedir. Yükseltici'de (Amplifier) ise bu foton sinyalleri tepesi 10 V olacak şekilde yükseltip şekillendirilmektedir. Seçici birimde (Discriminator) ise belirli bir gerilimin üzerindeki sinyaller, gerilimi 0-5 V arasında değişen mantık (logic) sinyallerine çevrilmekte ve sayıcı (Counter) birimi tarafından sayılmaktadır. Yukarıda açıklanan elektronik sinyal çevirimleri Nükleer Instrument Module (NIM) elektronik modülleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ancak tüm bu devreler tümleşik bir kart üzerinde tasarlanarak taşınabilir bir modül haline getirilecektir.

## SONUC

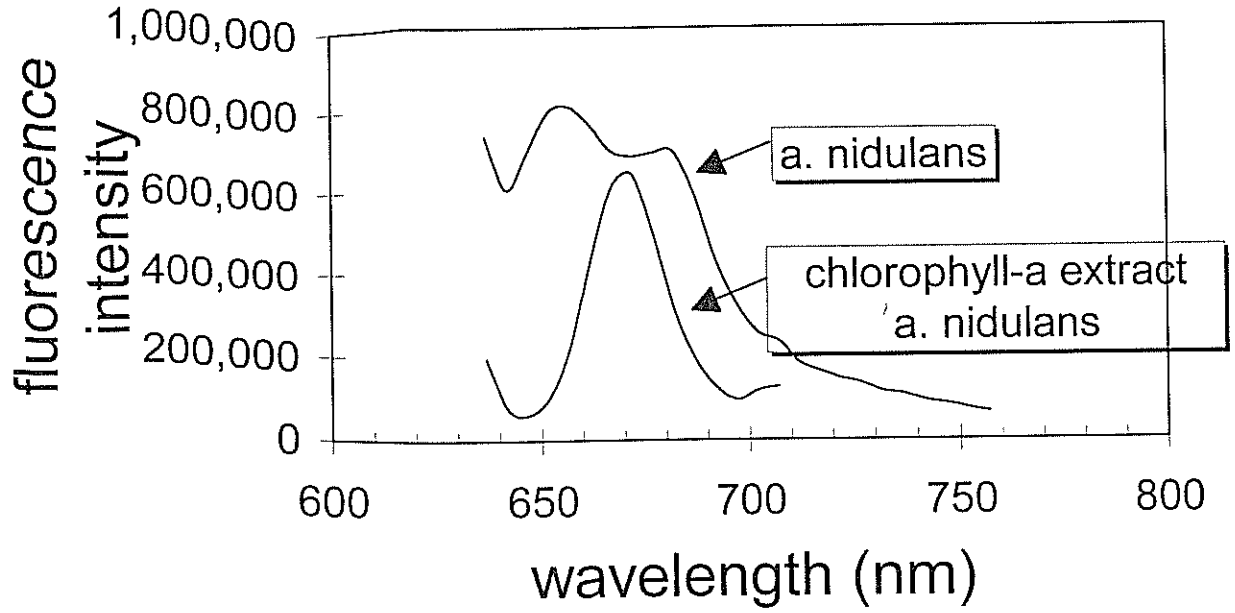
Fotosentez yapan tek hücreli fitoplanktonlar klorofil-a, fikosiyenin (phycocyanin), fikoeritrin (phycoerithrin) gibi moleküller ışığı 400-700 nm arasında soğurmakta ve daha uzun dalgaboylarında floresan ışığı yaymaktadır. Soğurulan ışığın belirli bir kısmı kimyasal enerjiye çevrilerek hücre içinde depolanmakta geri kalanı ise ısı ve floresan ışığı olarak salınmaktadır.

Bir mavi-yeşil alg türü olan *A. nidulans* Avusturya Üniversitesinde agar kültüründe alınmış ve laboratuvarımızda üretilmiştir. *A. nidulans* soğurma spektrumu laboratuvarımızda bulunan Shimadzu UV-160 spektrometresi tarafından ölçülmüş ve spektrum Şekil 4'de gösterilmiştir. Burada klorofil-a'nın 430 ve 660 nm'deki iki soğurma bandı görülmektedir. *A. nidulans* içindeki bir diğer floresans ışımaya yapan molekül fikosiyenin soğurma bandı 620 nm'de görülmektedir. *A. nidulans* kültürü 630 nm'de uyarıldığı zaman hem fikosiyenin hem de klorofil-a floresansı gözlenmektedir.



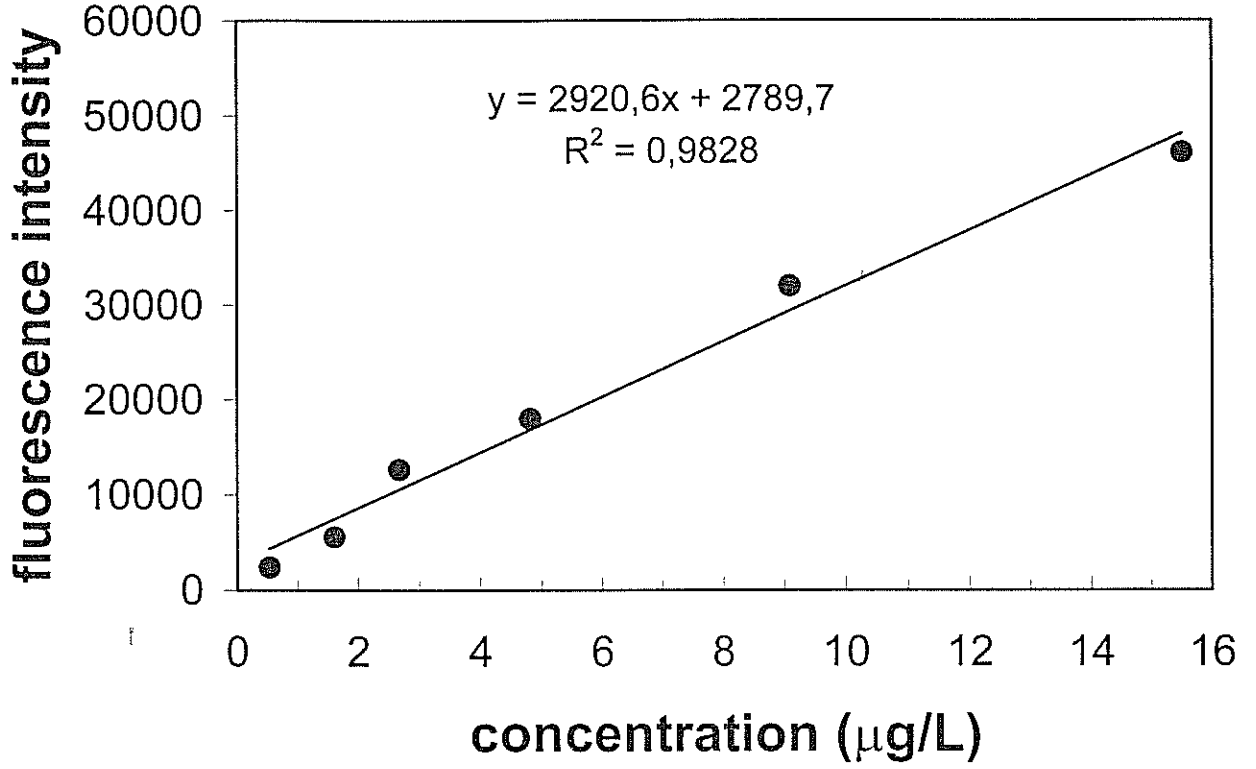
Şekil 4. Klorofil-a, fikosiyanin ve *A. nidulans* soğurma spektrumları.

*A. nidulans* kültüründe yapılan floresan ölçümleri Şekil 5’de gösterilmiştir. Fitoplanktonların uyarılması 635 nm’deki lazer diyot ile yapılmış, floresans ölçümleri 640-700 nm arasında gerçekleştirilmiştir. Floresan spektrumu 650 nm’de fikosiyanin, 685 nm’de klorofil-a bandları görülmektedir. *A. nidulans* kültüründen saf olarak elde edilen klorofil-a floresans spektrumu da aynı şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5. *A. nidulans* canlı hücrelerde ölçülen floresans spektrumu ve *A. nidulans*'dan elde edilen klorofil-a floresans spektrumu.

ODTÜ'de Mühendislik Merkez Binası, MM binası, önündeki havuzdan alınan örneklerde yapılan ölçümlerde ise fitoplankton floresan spektrumunda fikosiyenin bulunmamış sadece klorofil-a ölçülmüştür. Havuz suyundaki fitoplankton filitre edilmiş, klorofil-a eter çözeltilisine alınmış ve derişimi ölçülmüştür. Bilinen klorofil-a derişimine göre havuz suyu örneği seyreltilerek kalibrasyon eğrisi hazırlanmış ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Kalibrasyon eğrisinin korelasyon katsayısı  $r^2=0.98$  olarak bulunmuştur.



Şekil 6. Klorofil-a kalibrasyon eğrisi.

Geri saçınımlı lazer floresans spektrofotometresinin *A. nidulans* alg kültürü kullanılarak yapılan ölçüm limiti (detection limit) aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır (BOUMANS, 1991);

$$C_L = 2\sqrt{2} \times 0.01 \times RSDB \frac{C_0}{SBR} \quad 1$$

Burada, RSDB (relative standard deviation of background) taban sinyalinin standard sapmasının,  $\sigma_b$ , taban sinyaline,  $x_b$ , oranını göstermektedir;

$$RSDB = \frac{\sigma_b}{x_b} 100 \quad 2$$

SBR (signal-to-background) ise ölçülen floresans sinyalinin,  $x_a$ , taban sinyaline,  $x_b$ , oranı olarak tanımlanmaktadır;

$$SBR = \frac{x_a}{x_b} \quad 3$$

Klorofil-a'nın derişimi,  $C_0$ ,  $\mu\text{g/L}$  olarak verilmektedir.

İçinde fitoplankton bulunmayan örnekten alınan ölçümlerde ortalama taban sinyali ve standard sapmaları  $x_b=235.302$  and  $\sigma_b=1.349$  olarak bulunmuştur. İçindeki klorofil-a derişimi  $0.6 \mu\text{g/L}$  olan *A. nidulans* alg kültürü ile yapılan ölçümde sinyal  $x_a=43.968$  olarak ölçülmüştür. Boş örnek ve alg kültürü kullanılarak yapılan floresans ölçümlerinden RSDB=5.74 % and SBR=0.187 olarak hesaplanmıştır. Canlı *A. nidulans* kültürü ile yapılan lazer spektrofloreometresinin ölçüm limiti  $0.052 \mu\text{g/L}$  olarak bulunmuştur. Laboratuvarımızda geliştirilen geri saçınımlı lazer spektrofloreometresinin duyarlılığının uzaktan algılamalı klorofil ölçümlerinde elde edilen  $1 \mu\text{g/L}$  değerinden çok daha iyi olduğu anlaşılmaktadır.

Bu proje kapsamında taşınabilir bir lazer spektrofloreometresi geliştirilmesi için çalışılmış ve laboratuvar şartlarında denemeler yapılmıştır. Ancak ilk proje önerisinde istenilen kaynak TÜBİTAK tarafından kısılarak verilebildiği için proje son şekline getirilerek doğada denemeleri yapılamamıştır. Yeterince kaynak sağlandığı takdirde cihaz uzaktan kontrollü olarak, doğal ortamda klorofil ölçümleri yapabilecek hale getirilebilir. Uydu telefon iletişiminin Türkiye’de kullanımının mümkün olduğu günümüzde uzaktan kontrol edilebilen bir sistemin kurulması mümkün olabilecektir. Ayrıca TÜBİTAK tarafından geliştirilen uzaydan algılama projesi çerçevesinde elde edilecek verilerin deniz ve göllerden spektrofloreometre ile doğrudan elde edilecek verilerle ilişkilendirilmesi önem taşımaktadır.

## KAYNAKÇA

- ANTOINE, D., Andre, J.M. and Morel, A., Global Biogeochemical Cycles, 10, 57-69, (1996).
- BABIN, M., Morel, A., and Gentili, B., International Journal of Remote Sensing, 17(12), 2417-2448, (1996).
- BADAEV, V.V., Vasilev, L.N., Palevin, V.N., Solomokha, V.K., and Zimmerman, G., Soviet Journal of Remote Sensing, 9, 805-818, (1992).
- BOUMANS, P.W.J.M., Spectrochimica Acta, , 46B, 917-939, (1991).
- BRICAUD, A. and Stramski, D., Limnology and Oceanography, 35(3), 562-582, (1990).
- HOGUE, F.F., and Savift, R.N., Applied Optics, 20, 3197-3205, (1981).
- COWLES, T.J., Mourn, J.N., Desidero, R.A. and Angel, S.M., Applied Optics, 28(3), 595-600, (1989).
- LORENZEN, C.J., Deep-Sea Research, 13, 223-227, (1966).
- LORENZEN, C.J., Limnology and Oceanography, 15, 479-480, (1970).

MORE, A., and Prieur, L., Limnology and Oceanography, 22, 709-722, (1977)

NEVILLE, R.A., and Gower, J.F.R., Journal of Geophysical Research, 82, 3487-3493,  
(1977).

TOPLISS, B.J. and Platt, T., Deep-Sea Research, 33, 849-864, (1986).

YENTSCH, C.S. ve Menzen, D.W., Deep-Sea Research, 10, 221-231, (1963).

## PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

<b>Proje Kodu: YDABÇAG-582-A</b>
<b>Proje Başlığı:</b> <b>TAŞINABİLİR LAZER DİYOT/FİBER OPTİK SPEKTROMETRE GELİŞTİRİLMESİ VE FİTOPLANKTON ÖLÇÜMLERİNDE KULLANILMASI</b>
<b>Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar:</b> <b>Prof. Dr. Ali GÖKMEN, Tarık BAYTEKİN</b>
<b>Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:</b> <b>Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü</b>
<b>Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:</b> <b>TÜBİTAK, Orta Doğu Teknik Üniversitesi</b>
<b>Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 1999-2001</b>
<b>Öz</b> <p>Doğal sularda fitoplankton yoğunluklarını ölçmek amacı ile uzaktan algılamalı bir spektrofloreometre geliştirilmiştir. Bu cihaz fitoplanktonların klorofil floresansını ölçmek üzere tasarlanmıştır. Klorofil floresansını uyarmak için 635 nm'de ışına yapan bir lazer diyot kullanılmış, ışık bir fiber optik kablo ile ölçüm yapılacak ortama taşınmış ve geri saçılan floresans ışığı ikinci bir fiber optik kablo ile toplanarak taşınabilir bir monokromatörle 685 nm'de ölçülmüştür. Klorofil floresansı fitoplankton yoğunluğu ile ilişkilendirilmiş ve sistemin duyarlılığı irdelenmiştir. Bu çalışma TÜBİTAK YDABÇAG-582-A projesi ile desteklenmiştir.</p>
<b>Anahtar Kelimeler:</b> <b>Fitoplankton, klorofil-a, floresans, lazer diyot, fiber-optik, spektrofloreometre, uzaktan algılama</b>
<b>Projeden Kaynaklanan Yayınlar:</b>
<b>Bilim Dalı: Kimya</b> <b>Doçentlik B. Dalı Kodu: 201</b>