T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇME SUYUNDAKİ KİRLETİCİ İÇERİĞİN FİBER OPTİK YÖNTEMLE ALGILANMASI

Tezi Hazırlayan
Selçuk YÜCESOY

Tezi Yöneten
Yrd. Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Ağustos 2008
KAYSERİ

Yrd. Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU danışmanlığında **Selçuk YÜCESOY** tarafından hazırlanan "**İçme Suyundaki Kirletici İçeriğin Fiber Optik Yöntemle Algılanması**" adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

27/08/ 2008

JÜRİ :

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Aytekin BAĞIŞ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Cüneyt BERKDEMİR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU

ONAY :

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 05/09/2008 tarih ve 2008/28-20 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

05/ 09/ 2008

T.C. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü 1923

Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ
Müdür

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU'na, yüksek lisans eğitimim süresince bana emeği geçen Erciyes Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde görev yapan değerli hocalarıma, ayrıca deneysel çalışmalarım sırasındaki yardımları için Elektronik Yüksek Mühendisi Hayriye ALTURAL'a Kimya Mühendisi Seçil ULU'ya ve Biyolog Ayşegül TEMİZGÜL'e ve Domino Elektronik San. ve Tic. Ltd. Şti.'ye teşekkür ederim.

Hayatta desteklerini benden hiç esirgemeyen sevgili babam İsmail YÜCESOY'a, sevgili annem Kıymet YÜCESOY'a, değerli kardeşim Duygu YÜCESOY'a ve son olarak her zaman desteğini gördüğüm sevgili eşim İnşaat Yüksek Mühendisi Betül Üner YÜCESOY'a, teşekkürü bir borç bilirim.

İÇME SUYUNDAKİ KİRLETİCİ İÇERİĞİN FİBER OPTİK YÖNTEMLE ALGILANMASI

Selçuk YÜCESOY

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2008
Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU

ÖZET

İçme sularındaki tüm kirleticiler sağlık ve çevre için ciddi bir tehlike oluşturmaktadır. Temiz su kaynaklarının azalmaya başlamasıyla içme suyunda kirletici içeriğin izin verilen değerlere çekilmesi daha da önem kazanmıştır. Günümüzde sudaki kirleticilerin analizleri, numunelerin toplanıp hazırlanmasını gerektiren, analitik cihazlarla laboratuvar ortamında yapılmaktadır. Yerinde algılamaya uygun fiber optik sensörler ise yeni yaklaşımlar sunmaktadır. Fiber optik sensörler, bir girişi, elektriksel olarak yalıtkan bir ortam vasıtasıyla taşıyarak optik ya da elektrik sinyale dönüştüren, ucuz, hassas ve anında cevap veren algılama sistemleridir. Bu tezde, içme suyunda tuzlu çözelti algılamada kullanmak üzere, fiber optik sensör esaslı sistem tasarlanarak deneysel ölçümler yapılmıştır.

Bu çalışmanın ilk bölümünde; içme suyu değişkenleri ve kirleticileri üzerinde durulmuş, literatür taraması listelenmiş ve tezin amacı belirtilerek içeriği değerlendirilmiştir. İkinci bölümde; optik fiberin yapısı irdelenmiş ve optik ortamda iletimle ilgili temel kavramlar tanımlanmış ve fiberde zayıflama ve kayıplar konularına değinilmiştir. Üçüncü bölümde; fiber optik sensör sınıflandırmaları, fiber optik kimyasal sensörlerde kullanılan optik yöntemler ve algılama mekanizması anlatılmıştır. Dördüncü bölüm deneysel çalışmaları içermektedir ve farklı derişimlerdeki tuzlu çözeltilerin tasarlanan fiber optik ölçme düzeneğiyle ölçümlerini kapsamaktadır. Değişen çözelti konsantrasyonuyla sensör cevapları da bu bölümde verilmiştir. Son bölümde ise çalışmada elde edilen sonuçlar tartışılarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İçme Suyu, Sensörler, Fiber Optik, Algılama, Tuzlu İçerik

THE SENSING WITH FIBER OPTIC METHOD OF CONTAMINANTS IN THE DRINKING WATER

Selçuk YÜCESOY

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
M. Sc. Thesis, August 2008
Thesis Supervisor: Assist. Prof. Ömer Galip SARAÇOĞLU

ABSTRACT

All contaminants in drinking water can cause serious medical and environmental dangers. The major objective is to reduce the acceptable limits of contaminants in the drinking water on the basis of the fact that the fresh water sources are to be running low. Today, the analysis of contaminants in water by means of analytical devices requires sample collection and preparation in a laboratory. On site detection by fiber optic sensors allows new avenues. Fiber optic sensors transform any data to optical or electrical signals by means of an electically insulating medium. Also they can be designed as cost effective, sensitive and short response times. In this thesis, a fiber optic sensor system has been designed to sense the salty solution in the drinking water and experimental measurements have been made with this system.

In the first chapter of the thesis, the variables and contaminants of the drinking water have been carried out, the summary of literature has been listed and the content of the thesis has been given while the aim of the thesis has been pointed out. In the second chapter, the structure of an optical fiber has been introduced, basic concepts have been defined. Also, attenuation and losses in the optical fiber have been given in this chapter. In the third chapter, clasifications of optical fiber sensors, optical sensing methods in fiber optic chemical sensors and sensing mechanisms have been explained in detail. The fourth chapter consists of experimental works including the sensing of different concentrations of salty solution samples with the optical fiber measurements. The sensor responses with the varying concentration of the samples have been obtained. Results of the thesis have been discussed in the last chapter.

Keywords: Drinking Water , Sensors, Fiber Optic, Sensing, Salty Solution

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY ……...……...i
TEŞEKKÜR.....ii
ÖZET.....iii
ABSTRACT.....iv
KISALTMALAR.....viii
SİMGELER.....ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....x

1. BÖLÜM
GENEL BAKIŞ.....1
1.1. Giriş.....1
1.1.1. Su ve Su Kirliliği.....2
1.1.2. Su Kirleticilerin Sınıflandırılması.....3
1.2. Literatür Bilgisi.....7
1.3. Tezin Amacı.....10
1.4. Tezin İçeriği.....10

2. BÖLÜM
OPTİK ORTAMDA İLETİM.....11
2.1. Optik Fiber Yapı ve İletim Prensibi.....11
2.2. Optik Fiber Sınıflandırma ve İletim Parametreleri.....12
2.2.1. Tam İç Yansıma.....13
2.2.2. Kabul Açısı ve Nümerik Açıklık.....15
2.3. Optik Fiberde Zayıflama ve Kayıplar.....18
2.3.1. Modal Dağılım Kayıpları.....19
2.3.2. Soğurma Kayıpları.....20
2.3.3. Malzeme ya da Rayleigh Saçılma Kayıpları.....20
2.3.4. Yayılım Kayıpları.....20
2.3.5. Kromatik Dağılım.....21
2.3.6. Bağlaşım Kayıpları.....21

2.4. Optik Fiber Türleri 24
2.4.1. Camsı Optik Fiber 24
2.4.2. Plastik Optik Fiber (POF) 24
2.4.3. Plastik Yelekli Silika Optik Fiber (PCS) 24
2.5. Fiber Optik Sistemlerin Üstünlükleri 25

3. BÖLÜM
FİBER OPTİK KİMYASAL SENSÖRLER VE ALGILAMA 26
3.1. Algılama ve Sensörler 26
3.2. Fiber Optik Sensörler (FOS) 28
3.2.1. Fiber Optik Sensörlerin Sınıflandırılması 28
3.2.1.1. İç Etkileşimli (Intrinsic) Sensörler 28
3.2.1.2. Dış Etkileşimli (Extrinsic) Sensörler 29
3.2.1.3. Sönen Alanlı (Evanescent) Sensörler 29
3.3. Fiber Optik Sensörlerde Algılama Prensibi 31
3.4. Fiber Optik Kimyasal Sensörler (FOKS) 31
3.4.1. FOKS ile Algılama 32
3.5. FOKS'lerde Kullanılan Optik Yöntemler 33
3.5.1. Soğurma (Absorbance) 33
3.5.3. Lüminesans 35
3.5.4. Saçılma (Scattering) 36

4. BÖLÜM
FİBER OPTİK YÖNTEMLE TUZLU İÇERİK ALGILANMASI 38
4.1. Deneysel Çalışmanın Amacı 38
4.2. Fiber Optik Ölçüm Düzeneği 39
4.3. Algılama Bölgesinin Hazırlanması 40
4.4. Ölçülecek Numunelerin Kırılma İndisleri Tayini 43
4.5. Fiber Optik Yöntemle Yapılan Tuzlu Çözelti Ölçümleri 44
4.5.1. $CaCl_2$ Numuneleri 47
4.5.2. KCl Numuneleri 48

4.5.3. $MgCl_2$ Numuneleri 49
4.5.4. NaCl Numuneleri 49

5. BÖLÜM
SONUÇLAR ve ÖNERİLER 51
KAYNAKLAR 52
ÖZGEÇMİŞ 56

KISALTMALAR

FOS	:	Fiber Optik Sensör
FOKS	:	Fiber Optik Kimyasal Sensör
PMAA	:	Polymethylmetcrylate
LED	:	Işık Yayan Diyot (Light Emmiting Diode)
TIR	:	Tam İç Yansıma (Total Internal Reflection)
NA	:	Nümerik Açıklık
POF	:	Plastik Optik Fiber
PCS	:	Plastik Yelekli Fiber (Plastic Cladding Fiber)
TSE	:	Türk Standatları Ensitüsü
WHO	:	Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)
EPA	:	ABD Çevre Koruma Ajansı (U.S. Environmental Protection Agency)
EMI	:	Elektromanyetik Girişim (Electromagnetic Interference)
WAN	:	Geniş Alan Ağ (Wide Area Network)
Hz	:	Hertz
KHz	:	Kilohertz
GHz	:	Gigahertz
FBG	:	Fiber Bragg Grating
LPG	:	Long Period (uzun peryotlu) Grating
ISA	:	Instrument Society Of America
RGB	:	Renk Uzayı (Red Green Blue)
AC	:	Alternatif Akım
DC	:	Doğru Akım
$CaCl_2$	:	Kalsiyum Klorür
KCl	:	Potasyum Klorür
$MgCl_2$	:	Magnezyum Klorür
NACl	:	Sodyum Klorür

SİMGELER

n	:	Kırılma indisi
n_1	:	Öz kırılma indisi
n_2	:	Yelek kırılma İndisi
c	:	Işık hızı (Vakum)
v_n	:	Işığın n kırılma indisli ortamdaki hızı
λ	:	Işığın dalga boyu
b	:	Öz çapı
φ_c	:	Kritik açı
θ_a	:	Kabul açısı
$\sin\alpha_{maks}$	:	Maksimum kabul açısı
Δ	:	Bağıl kırılma indis farkı
V	:	Normalize frekans
A	:	Soğurma (Absorbsiyon)
C	:	Çözelti konsantrasyonu (mol/l)
ε	:	Molar soğurma katsayısı (l/mol/cm)
N	:	Uyarılan mod sayısı
P	:	Güç
dB	:	Desibel sayısı
pH	:	Çözeltinin asitlik veya bazlık derecesi
^{0}C	:	Santigrad derece
l	:	Litre

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. FOS'lerin Ölçülen Büyüklüğe Göre Dünyadaki Kullanım Yüzdeleri. 8

Şekil 1.2. FOS'lerin İçerdiği Teknolojiye Göre Dünyadaki Kullanım Yüzdeleri. 9

Şekil 2.1. Bir Optik Fiberin Yapısı. 11

Şekil 2.2. a) Tek Modlu Optik Fiber b) Çok Modlu Basamak İndisli Optik Fiber c) Çok Modlu Gradyan İndisli Optik Fiber. 12

Şekil 2.3. Farklı Yoğunluklardaki Ortamların Ara Yüzeyine Gelen Işık Işınlarının Oluşturduğu Kritik Açı Ve Tam İç Yansıma Olayları. 14

Şekil 2.4. Elektromanyetik Dalgayı Tam Yansımayla Kılavuzlayan İdeal Optik Fiber. 15

Şekil 2.5. Kabul Konisi Ve Kabul Açısı (θ_a). 15

Şekil 2.6. Kabul Açısından Daha Küçük Bir Açıyla Fibere Giren Işın. 17

Şekil 2.7. Bağlaşım Kayıpları Gösterimleri a) Yanal Ayarsızlık b) Aralık Ayarsızlığı c) Açısal Ayarsızlık d) Yüzey Kusuru. 23

Şekil 3.1. FOS'lerin Sınıflandırılması; a) İç Etkileşimli (Aktif) Sensörler b) Dış Etkileşimli (Pasif) Sensörler c) Sönen Alanlı Sensörler. 30

Şekil 3.2. Optik Fiber Algılama Sisteminin Temel Öğeleri. 31

Şekil 3.3. Basit Bir Spektrofotometrenin Elemanları 33

Şekil 3.4. Fotonların Ortam Tarafından Soğurulmasıyla Daha Yüksek Enerji Seviyelerine Yükselen Atomlar. 35

Şekil 3.5. Jablonski Diyagramı; Soğurma, Floresans Ve Fosferesans Işık Yayılmalarının Gösterimi. 36

Şekil 4.1. Deney Düzeneğinde Kullanılan Elektronik İşaret İşleme Devresi. 39

Şekil 4.2. Uygulamalarda Kullanılan Ölçü Devresi. 40

Şekil 4.3. Kullanılan POF Yelek Sıyrılmadan Önceki Gösterimleri. 41

Şekil 4.4. Kullanılan POF Yelek Sıyrıldıktan Sonraki Gösterimleri. 42

Şekil 4.5. Optik Fiberin Sensör Olarak Kullanımı. 42

Şekil 4.6. Deney Düzeneğiyle Yapılan Numune Ölçümleri İçin Hazırlık. 45

Şekil 4.7. Deney Düzeneğinin Yeni Ölçümler İçin Distile Suyla Temizlenmesi. 45

Şekil 4.8. Deney Düzeneğinin Temizlenmesi ve Kurutulması Aşaması. 46

Şekil 4.9. $CaCl_2$ Numuneleri Sensör Cevapları. 47

Şekil 4.10. KCl Numuneleri Sensör Cevapları. 48

Şekil 4.11. $MgCl_2$ Numuneleri Sensör Cevapları. 49

Şekil 4.12. NaCl Numuneleri Sensör Cevapları. 50

1. BÖLÜM

GENEL BAKIŞ

1.1. Giriş

Yeraltı suları ve içme suyundaki kirleticilerle diğer zararlı bileşikler, insan ve çevre sağlığı için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. İçme suyunun küresel ısınma ve çeşitli etkenler neticesinde azalması ve temiz olarak canlıların ihtiyacına sunulması gereksinimi, bilimsel çalışmaları, sulardaki kirleticileri algılayabilen daha hızlı ve hassas sonuçlara ulaştırabilen yeni yaklaşımlara yöneltmektedir.

Son yıllarda, su içerisinde kirletici içeriğin algılanmasında kimyasal etkenler kullanılmadan farklı yapılardaki sensörler kullanılarak yerinde, hızlı ve yanılma payı düşük çalışmalar yapılmıştır. Optik fiberler, ışık taşımadaki yüksek verimlilikleri ve büyük bant genişlikleri nedeniyle, son yıllarda sensör uygulamalarının önemli elemanlarından biri olmuştur. Bu özellikleri fiber optik sensörleri, geleneksel sensörlere göre daha önemli yapmıştır. Özellikle, yüksek duyarlılıkları ve daha düşük hata oranlarına sahip olmaları nedeniyle, optik fiberli sensörlerle su içinde algılama yapılmasını dikkat çekici hale getirmiştir.

Fiber optik sensörlerde (FOS) çalışma esası, ışın demetinin bir parametresinin, ölçümü yapılacak olgu ile değiştirilmesi ilkesine dayanmaktadır. Ölçülecek parametre (sıcaklık, basınç, mekanik baskı, gerginlik gibi) fiziksel, kimyasal veya biyolojik bir parametre olabilir. Modüle edilen optik işaretin özellikleri; güç, frekans, faz ve kutuplanma durumuna göre farklılık göstermektedir.

1.1.1. Su ve Su Kirliliği

Çevre ve Orman Bakanlığının su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre [1] su kirliliği; su kaynağının kimyasal, fiziksel, bakteriyolojik, radyoaktif ve ekolojik özelliklerinin olumsuz yönde değişmesi şeklinde gözlenen ve doğrudan ve/veya dolaylı olarak biyolojik kaynaklarda, insan sağlığında, balıkçılıkta, su kalitesinde ve suyun diğer amaçlarla kullanılmasında engelleyici bozulmalar yaratacak madde veya enerji atıklarının boşaltılmasıdır.

Su, canlıların yaşamı için vazgeçilmezdir. Canlı organizmaların % 60-90'ı sudan oluşmaktadır. Canlılar için bu kadar önemli olan tatlı su doğada çok kısıtlı olarak bulunmaktadır. Dünyanın %70' inin sularla kaplı olmasına karşın, içilebilir, canlı organizmaların kullanabileceği tatlı su kaynakları bunun yalnızca %1' i kadardır. Bu kadar kısıtlı olan su kaynaklarının kirletilmeden korunabilmesi canlılığın sürebilmesi için çok gereklidir. Su ancak temiz ve sağlıklı olduğu durumda yararlı olabilir. Değişik doğal kaynaklardan (yağmur, kar ve dolu gibi meteor suları, yeryüzü ve yeraltı suları) elde edilebilen su, havzalarda depolandıktan sonra arıtılarak şebeke aracılığıyla kullanıcıya ulaştırılır. Su farklı biçimlerde kirlenir ve kirli su, çevre ve insan sağlığını değişik biçimlerde etkileyip yaşamı tehlikeye sokabilmektedir [2].

İnsanlar dünya yüzeyinde var olduklarından beri doğrudan suya bağımlı kalmışlardır. Ancak suyun doğal bir kaynak oluşu iyi anlaşılmadığı için, kullanımı ve tüketimi sırasında ekolojik dengesinde kirlenmeler meydana gelmiştir. Sanayileşmenin artması, tarımda kullanılan ilaçların çeşitlerinin çoğalması ve hızlı bir şekilde gelişen kentleşme ile kimyasal atıkların bilinçsizce çevreye bırakılması, toprak ve yeraltı sularında ciddi kirlenmelere yol açmıştır. Fakat su kirliliği konusunun önemli bir konu olduğu anlaşılmaya başlandığında, bu kirlilik üzerine farklı bilimsel çalışmalar ile yaklaşılmıştır. Bu konulardan biri de suyun uçucu organik bileşikler tarafından kirletilmesidir. Özellikle toprak ve yeraltı suyunun klorlu ve bromlu uçucu organik bileşiklerle kirletilmesinin önemi çok fazla olup çalışmalar bu konu üzerinde yoğunlaştırılmıştır [3].

Su kirliliği denince, sadece su üzerinde görülen katı parçalar veya suların içine atılan maddeler anlaşılmamalı, bunun yanı sıra bırakılan organik madde miktarları ile su içinden çekilen oksijen miktarları da göz ardı edilmemelidir. Organik maddelerin su içindeki artışlarından dolayı ötrifikasyon hızlanmakta ve oksijen azlığı da H_2S oluşumunu zamanla hızlandırmaktadır. Ayrıca, inorganik maddelerin suda bulunması, bakteri oluşumunu destekler. Bakteri oluşumu da suda bulanıklığı arttırır. Örneğin N, P gibi maddeleri kullanan algler büyüyerek suda bulanıklığa sebep olurlar [3].

1.1.2. Su Kirleticilerin Sınıflandırılması

Kentsel, endüstriyel, tarımsal ve doğal kirleticiler bir su kaynağına boşaldıktan sonra büyük ölçülerde özelliklerini kaybeder ve heterojen bir karışım oluştururlar. Akarsuda, doğal temizlenme sürecinde kirleticiler, beş tip olarak sınıflandırılabilirler [3]:

1. Organik
2. Mikrobiyolojik
3. Radyoaktif
4. Isısal kirleticiler
5. İnorganik kirleticiler

1) *Organik Kirleticiler:* Su ortamındaki kirleticilerin büyük bir kısmını oluştururlar. Bazı endüstriyel atıklar ve kentsel atıkların çoğu bozulabilir, kararsız organik maddelerdir. Doğada ölü bitki ve hayvanlardan meydana gelen organik maddeler, canlılar tarafından hızla diğer canlıların kullanılabileceği kararlı maddelere dönüştürülürler (biyolojik yaşam zinciri). Bu yaşam zincirinin bir dönüşümü için gerekli oksijen, akarsu tarafından sağlanır. Bu nedenle organik kirletici yükü, biyokimyasal dönüşüm için gerekli olan oksijen miktarının bir fonksiyonu olarak ölçülebilir. Bu tip kirleticiler içerisinde, insanlar tarafından bilinçsizce ortama verilen sentetik ve uçucu organik bileşikler de yer almaktadır.

2) *Mikrobiyolojik Kirleticiler:* Mikrobiyolojik kirleticilerin en önemlileri; bakteriler, virüsler ve insanda hastalık yapan diğer mikroorganizmalardır. Bu kirleticilerin esas kaynağı; şehir pis suyu, yağmur suları ve hayvanlardır. Bazı endüstrilerin atıklarında,

kullanılan hammaddeye bağlı olarak mikroorganizmalar bulunabilir. Bir kişiden suya günde yaklaşık 200 milyon koliform bakteri karıştığı düşünülürse, birkaç pis su boşaltım noktasından suya ne kadar büyük bir kirletici yükü verildiği kolayca görülür.

3) *Radyoaktif Kirleticiler:* İnsan sağlığı açısından büyük tehlike yaratan radyoaktif kirleticiler, kaynakta kesin olarak kontrol edilmelidirler. Günümüz teknolojisinde radyoaktif madde kullanımındaki artış, enerji üretiminde nükleer santrallerin kullanılması ve yapılan nükleer denemeler, genelde yeryüzü su kaynaklarındaki radyoaktif kirlenmeyi artırmaktadır. Bu tür kirlenmelerde suya ve çevreye neden olabilecek etkiler diğer kirleticilere göre çok daha etkili olacağı için, radyoaktif kirleticilerin mümkün olduğunca ileri teknolojilerle çalışarak suya ve toprağa karışması engellenmektedir.

4) *Isısal Kirleticiler:* Çeşitli endüstriler, üretim süreçlerinde soğutma suyu kullanırlar. Üretim süreci sonunda ısınmış olarak alıcı ortama gelen bu sular ısısal kirleticileri oluştururlar. Isısal kirleticiler genellikle su ortamındaki biyolojik yaşamı etkilerler. Su içinde tek hücrelinin yaşaması için 1 L. su içinde eriyik oksijenin 1,5 miligram olması gerekir ve 4,5-5 cm. boyunda bir balığın yaşaması için 1 L. de en azından 5,5 miligram erimiş oksijen bulunma şartı vardır. Ancak kıyılarda bir enerji reaktörü faaliyet halinde ise yoğunlaştırıcılarda dolaşan suyun ısısının 7 ^{0}C indirilmeden ham suya bırakılması, WHO (Dünya Sağlık Örgütü) standartlarına ve 1380 sayılı Su Ürünleri Kanunu'na ve Anayasa'nın 56. maddesine ters düşmektedir. Şayet yoğunlaştırıcılardan çıkan su 7 ^{0}C üzerinde ham suya bırakılırsa su içi canlıları şok tesiri görerek ölmekte ve su içi beslenme zincirinin ekolojik halkası bozulmaktadır.

5) İnorganik Kirleticiler: İnorganik kirleticiler su kaynaklarına, çözünmüş, kolloidal ve askıdaki katı madde halinde karışırlar. Endüstriyel, kentsel, tarımsal ve doğal kaynaklardan gelen bu kirleticiler kalıcı niteliktedir ve organik kirleticiler gibi biyokimyasal olarak bozulmazlar. Askıdaki katı maddeler ve kolloidal halinde bulunan inorganik maddelerin çoğu ilave temizleme sistemlerinde tutulabilirler. Bazı inorganik maddeler, örneğin klorürler, kalıcı, birikici ve temizlenmeye direnç gösteren maddelerdir. İnorganik maddelerin çoğu da su kaynaklarında çökerek birikintilere neden olurlar. Su kaynaklarında bulunan inorganik kirleticiler, aslında toprakta bulunan

arsenik, baryum, flor, sülfat, radon, radyum ve selenyum gibi elementlerden oluşmaktadır. Endüstriyel faaliyetler de, metallerin yüzey sularına karışmasına katkıda bulunurlar. Fosfat, nitrat gibi parametrelere genellikle gübre kullanılan tarım alanlarındaki su kaynaklarında rastlanır. İnorganik maddeler, içme sularına korozyon (aşınma) nedeniyle de karışmış olabilirler [2].

Tablo 1.1.'de farklı standartlara göre içme suyunda izin verilen en yüksek değerler gösterilmektedir. Literatürde özellikle pH, ağır metal, bakteriler ve sertlik üzerine birçok araştırmalar gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, kirletici içerik olarak seçilen Kalsiyum (Ca), Potasyum (K), Magnezyum (Mg), Sodyum (Na) değişkenlerinin Klor (Cl) ile bileşik halde hazırlanarak ölçümlere geçilmesi amaçlanmıştır. Bileşik halindeyken tuz olarak adlandırılan bu kimyasal elementler suda kolay iyonlarına ayrışması sebebiyle tercih edilmiştir. Tuzların su içerisinde az miktarda bulunması ve canlının bunu su yoluyla almasının herhangi bir sakıncası yokken, yüksek oranlarda alındığında vücutta biriken tuz insan ve canlı sağlığı açısından çok ciddi sonuçlar doğurabilmektedir.

Tablo 1.1. İçme Suyu Standartları.

	Türk Standartları (TSE 266)	**Dünya Sağlık Örgütü (WHO)**	**ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA)**
Bulanıklık	25	5	5
Koliform Bakteri	<1	0	<1
Organik kimyasal parametreler (mg/l)			
Trihalometanlar		400	100
İnorganik kimyasal parametreler (mg/l)			
Alüminyum, Al	0,2	0,2	1
Arsenik, As	0,05	0,05	0,05
Baryum, Ba	0,3		1
Kadmiyum, Cd	0,01	0,01	0,01
Krom (Toplam)	0,05	0,05	0,05
Florür, F	1,5	1,5	0,7-2,4
Kurşun, Pb	0,05	0,05	0,05
Civa, Hg	0	0	0
Nitrat, NO_3	50	50	45
Selenyum, Se	0,01		0,01
Gümüş, Ag	0,01		0,05
Antimon, Sb	0,01		0,01
Berilyum, Be			0
Asbest > 10 mik			7.000.000 lif/l
Estetik parametreler (mg/l)			
Klorür, Cl	600	250	250
Renk (Birim)	20	15	15
Bakır, Cu	3		1
Deterjanlar	0,2		0,5
Demir, Fe	0,2		0,3
Mangan, Mn	0,05	0,5	0,05
Koku Eşik Değeri			3 br
pH	6,5-9,2	6,5-8,8	6,5-8,5
Sülfat,SO_4	250	250	250
TDS	1500	1000	500
Çinko, Zn	5		5
İlave parametreler (mg/l)			
Kalsiyum, Ca	200		
Sertlik, $CaCO_3$		500	
Magnezyum, Mg	50		
Potasyum, K	12		
Sodyum, Na	175	200	
Bakiye Klor	0,1-0,5	5	
Amonyum, NH_4	0,05-0,5	1,5	

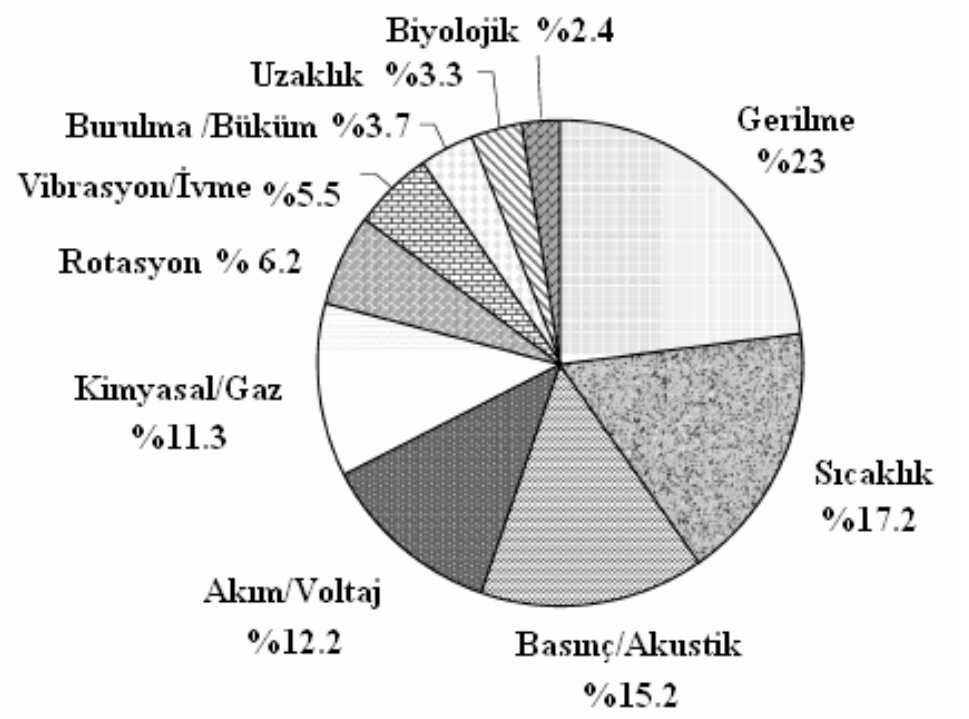
1.2. Literatür Bilgisi

Fiber optik sensörlerle algılama üzerinde yapılan çalışmalar otuz yıldan fazla geçmişe sahiptir. Çeşitli uygulamalar ve büyüklükler için farklı fikirlerle fiber optik sensör (FOS) kavramına yaklaşılmış ve konuyla ilgili birçok teknik geliştirilmiştir. Günümüze kadar birçok farklı fikirle farklı teknikler üzerinde çalışılmasına rağmen, sadece belirli tipteki fiber optik sensörler ticari başarıya ulaşmıştır. Fiber optik sensörlerin elektromanyetik girişimden bağışıklık, yüksek hassaslık, küçük boyut, hafiflik gibi avantajlarının varolmasına karşın FOS'ler birçok uygulama alanında elektronik ölçüm gibi halihazırda kullanılan teknolojilerle rekabet halindedirler. Diğer sensör sistemlerini kullanan endüstrideki son kullanıcılar için, FOS'lerin piyasada rağbet gören geleneksel sistemler üzerindeki üstünlüklerinin açıkça resmedilip uygulamaya sokulması gerekmektedir. Son sensör kullanıcıları, sensörün içerdiği teknolojiden daha çok, kullandıkları alanları için makul fiyatlı iyi performansta bir sensör arzu ederler. FOS sistemlerinin bazen algılama ve sinyal işleme gibi sistemin tüm ihtiyaçlarını karşılayacak düzeyde olması istenmektedir. Bu sistemler, bazı uygulamalarda (elektrik koruma röle örneğinde olduğu gibi) büyük sistemlerin alt sistemleri olarak kullanılmakta, bazısında ise (fiber optik akım sensöründe ve optik jiroskoplarda olduğu gibi) diğer bir FOS olan optik hacim sensörleri ile rekabet halinde olduğu durumlarla karşılaşılmaktadır. Bu gibi zorluklara rağmen FOS'ler yapılan önemli ölçüdeki çalışmalar neticesinde birçok uygulamada ilk tercih sebebi olmaya doğru ilerlemektedir [4-7].

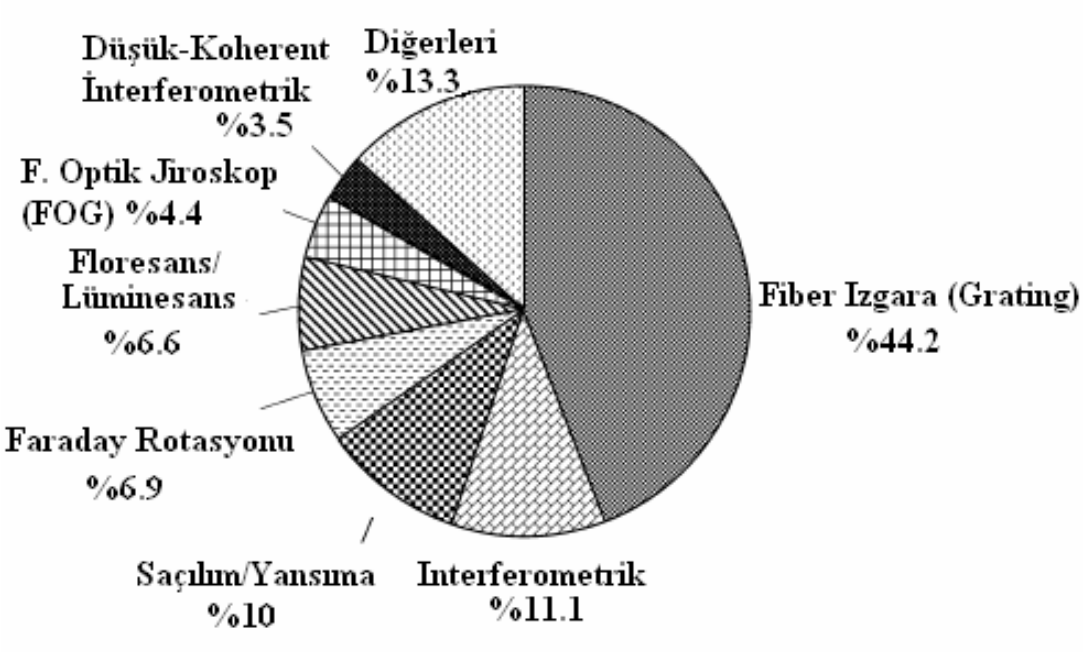
Şekil 1.1.'de, 15. Fiber Optik Sensör Konferansı'nda (OFS–15 IEEE Katalog no 02EX533) yayımlanmış FOS'lerin ölçülen büyüklük bakımından dünyadaki kullanım yüzdeleri gösterilmiştir. Konferans, Mayıs 2002'de Portland, Oregon, Amerika'da gerçekleştirilmiştir. FOS alanındaki bu en geniş kapsamlı konferansta yine beş sene öncesine göre gerilme ve sıcaklık, ölçülen büyüklük bakımından aynı orandaydı [8]. Bu veriye göre günümüzde de oranların korunduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Şekil 1.2.'de ise yine aynı konferansta sunulan FOS'lerin içerdiği teknolojiye göre kullanım yüzdeleri gösterilmiştir. Fiber ızgara (grating) sensörlerinin üzerinde en çok çalışılan konu başlığı olduğu açıkça gözükmektedir. Bunlardan başka fiber optik jiroskop (FOG) ve Faraday rotasyonu temelli fiber optik akım sensörleri yine diğer önemli çalışma

konularıdır. Fiber optik kimyasal sensörleri (FOKS) veya biyosensörler de günümüzde üzerinde birçok çalışmaların yapıldığı önemli bir FOS konusudur. Soğurma (absorbance), yansıma (reflectance), lüminesans, yansıtan indis değişimi veya ışık saçılması (scaterring) prensiplerine dayalı O_2, pH, CO_2, amonyak, deterjan, böcek ilacı ve nem gibi değişkenleri ölçmeyi amaçlayan birçok çalışma mevcuttur [7, 9-14].

Birçok durumda optik fiberlerin numune içindeki ölçüm noktasına ışık iletmek gibi basitçe kullanımları vardır [15]. Bazı durumlarda ise geliştirilmiş sensör teknolojisi kullanan fiber bragg grating (FBG) sıcaklık sensörü gibi uygulamalarla biyolojik testler yapılmıştır [16]. FOKS'lere güzel bir örnek teşkil edecek olan uzun peryot ızgaraların (Long Period Grating-LPG'lerin) kullanımında [17, 18] öz modunu yelek moduna kuplajlayarak fiberin kendisi FOS'de anahtar rol oynamaktadır. Eğer optik fiberin yelek ve dış kaplaması soyulursa, fiber dışındaki algılanacak malzemenin kırılma indisi değişiminden yelek modunda sönen alan esaslı algılama gerçekleşmiş olur [19].



Şekil 1.1. FOS'lerin Ölçülen Büyüklüğe Göre Dünyadaki Kullanım Yüzdeleri.



Şekil 1.2. FOS'lerin İçerdiği Teknolojiye Göre Dünyadaki Kullanım Yüzdeleri.

Sönen alan soğurma esaslı sensörlerin çalışma prensibini aşağıdaki esaslara dayanarak açıklamak mümkündür. Işık, iki dielektrik ortam arasındaki ara yüzeyde toplam iç yansımaya uğrarsa, küçük kırılma indisli ortamda, ara yüzeyden uzaklaştıkça üstel olarak sönen bir alan oluşur. Optik fiberlerde ışık ışınlarının iletimi de, öz/yelek arasındaki ara yüzeyde meydana gelen tekrarlı toplam iç yansımalarla gerçekleştiğinden, küçük kırılma indisli yelekte üstel olarak sönen bir alanın varlığı söz konusudur. Tekrarlı yansımalar, öz/yelek ara yüzeyinden uzaklaştıkça üstel olarak zayıflayan bu alanın, optik fiberin başından sonuna kadar yelek bölgesinde taşınmasını sağlar. Bu özellik sayesinde, ışığın optik fiberdeki yolunu kesintiye uğratmadan ve optik fiberin dalga kılavuzlama özelliğini bozmadan "optik dalga-dış ortam" etkileşmesinin mümkün olduğu bir algılama mümkün olabilir.

Çeşitli kimyasal özelliklerin ve konsantrasyonun belirlenmesinde kullanılmak üzere çok sayıda sönen alan soğurmalı fiber optik sensör literatürde göze çarpmaktadır [20-24]. Fakat oldukça az sayıda çalışmacı, bu tip sensörleri teorik olarak modelleme gereği duymuştur. Bunlar da, çıkış ifadesini modellemek üzere Beer kanununu ve kısmen optik fiberin parametrelerini kullanmışlardır [23, 24].

1.3. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında amaç, öncelikle, optik fiberle algılama esasını incelemek, çevre ve insan sağlığı açısından tehlikeli boyutlara ulaşan içme suyundaki bazı kirleticilerin doğrudan, hızlı, yerinde algılanması olayının FOS mekanizmalarıyla değişimlere duyarlı, ucuz ve hızlı bir uygulama gerçekleştirilmesini sağlamayı araştırmaktır.

1.4. Tezin İçeriği

Tez çalışmasında öncelikle, optik fiberler ve fiber optik kimyasal sensörlerle algılama üzerine temeller araştırılmıştır. Daha sonra içme suyunda algılamaya geçilmiş ve içme suyunu kirletici içerikleri algılamada kullanılan yöntemler üzerinde durulmuştur. Farklı derişimlerdeki tuzlu çözeltilerin kırılma indisleri belirlenmiş, tasarlanan FOS sistemiyle, bu çözeltilerin içerisindeki tuz tespit edilmeye çalışılmıştır.

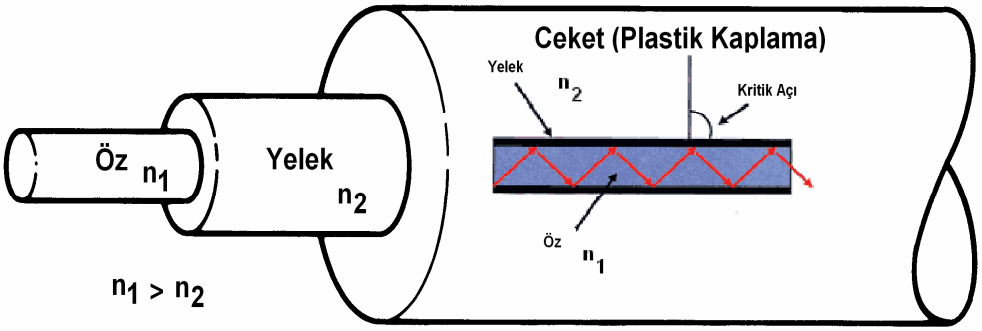
2. BÖLÜM

OPTİK ORTAMDA İLETİM

2.1. Optik Fiber Yapı ve İletim Prensibi

Bir optik fiber yapı; tam iç yansıma olayından yararlanarak ışığı kendi içinde taşıyarak ileten, silika, cam veya özel polimerler (PMMA) gibi az kayıplı malzemeden imal edilen silindirik şekilde dielektrik dalga kılavuzudur [25].

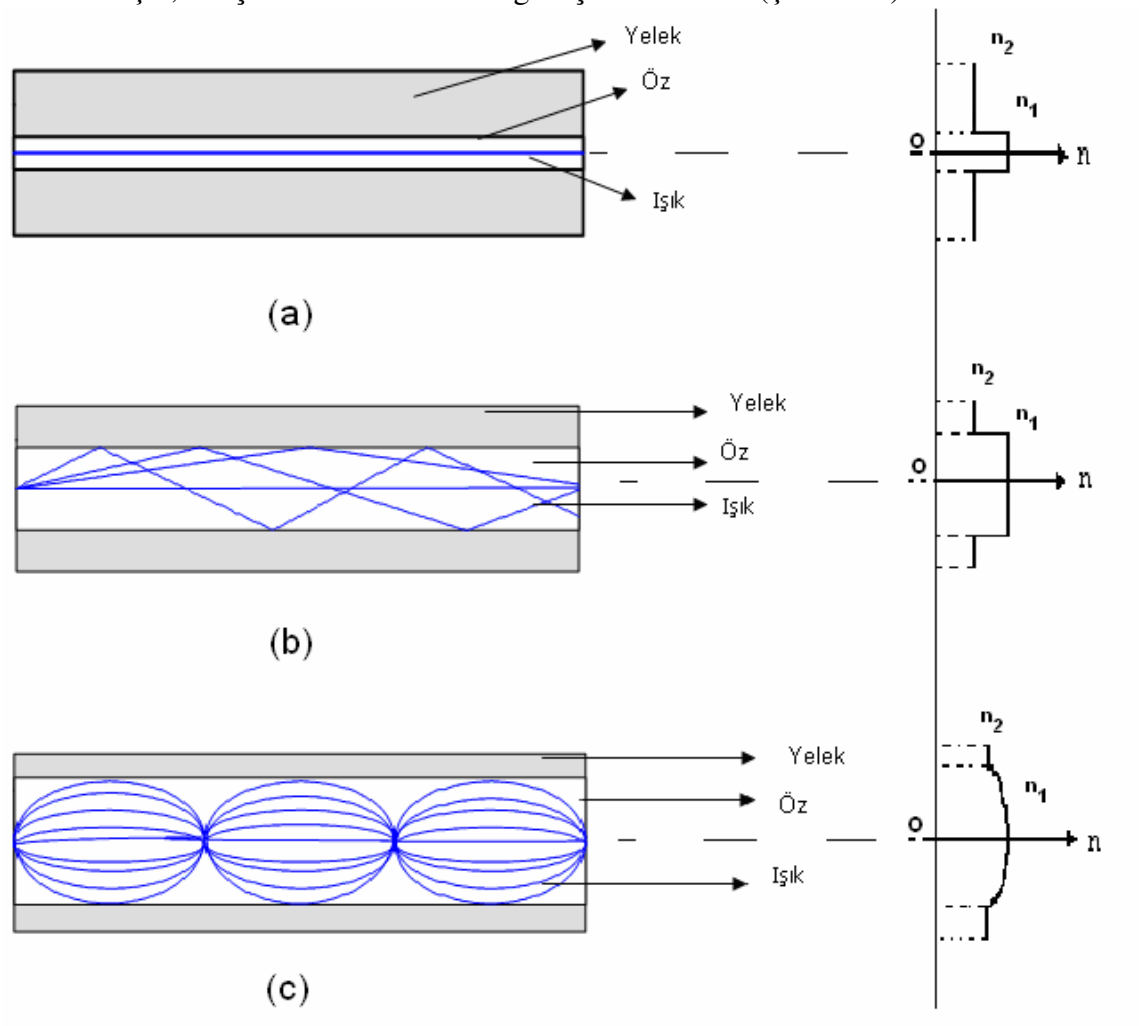
Optik fiberler, modern haberleşme veri iletişimi başta olmak üzere, öz çapı 8-60 mikrometre arasında değişerek iletişim, sağlık bilimleri, savunma, otomotiv, sanayi ve algılama gibi birçok alanda çok yoğun olarak kullanılmaktadır. Silindirik dalga kılavuzu yapısındaki optik fiber başlıca iki katmandan oluşur. İletimi sağlayan silindirik öz tabakası, bunun dışını çevreleyen dielektrik yelek tabakası vardır. Yelek tabakasının kırılma indisi, öz tabakasının kırılma indisinden daha azdır. En üstte ise fiberin dayanıklılığını artıracak koruyucu kılıf (ceket) vardır [26]. (Şekil 2.1.)



Şekil 2.1. Bir Optik Fiberin Yapısı.

2.2. Optik Fiber Sınıflandırma ve İletim Parametreleri

Optik fiberler, indis tipine göre basamak indisli ve gradyan indisli olmak üzere iki çeşittir. Basamak indisli fiberde indis profili düzdür ve fiber özünün her noktasında indis değeri aynı olduğundan kaynaktan çıkan ışık özün her yerinde aynı indisle karşılaşır. Dolayısıyla basamak indisli fiberde ışık, tam yansıma kuralına göre zigzaglar çizip öz içerisinde yansıyarak ilerler. Gradyan indisli fiberde öz çok sayıda farklı yoğunluklarda tabakadan oluştuğundan indis profili radyal doğrultu boyunca değişir. Bu durumda ışık, öz içerisinde bir sinüs dalgası çizerek ilerler (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. a) Tek Modlu Optik Fiber b) Çok Modlu Basamak İndisli Optik Fiber c) Çok Modlu Gradyan İndisli Optik Fiber.

Optik fiberler, mod sayılarına göre tek modlu ve çok modlu olarak sınıflandırılırlar. Fiberin taşıyabileceği mod sayısı, özün çapına ve yapısına bağlıdır. Fiberin iletebileceği

mod sayısı için ilk önce normalize frekans (*V*) bulunur. Tek modlu fiber, istenen dalga boylarında temel modda yayılmasının sağlanması için öz yarıçapı ile, $\Delta = (n_1 - n_2)/n_2$ bağıl kırılma indisi farkından tasarlanırlar. Burada n_1 ve n_2 sırasıyla öz ve yelek kırılma indisleridir [27]. Fiberdeki mod sayısı V sayısına bağlıdır.

$$V = \frac{2\pi b}{\lambda}(n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}} \tag{2.1}$$

Denklem (2.1)'de "λ" ışığın dalga boyunu, "*b*" ise öz çapını ifade etmektedir. Bu denkleme göre, eğer V sayısı 2.405 ten küçük olursa tek modlu, aksi durumda çok modlu fiber elde edilir. Çok modlu fiberler daha çok şiddet ve dalga boyu modülasyonlarında kullanılır. Bu fiberlerin bir başka avantajı da ışık yayan diyot (LED) kullanılarak ışığı fibere gönderme olanağıdır [28].

Tek modlu fiberlerin öz çapının çok küçük olmasıyla ışık tek bir eksende ilerler. Bant genişliği pratikte yaklaşık 100.000 GHz' lere kadar çıkabilir. Geniş Alan Ağ (Wide Area Network-WAN) uygulamalarında, 100 km'ye varan linklerde, deniz altı kablolarında tek modlu fiberler kullanılmaktadır. Çok modlu basamak indisli fiberler ise ilk tasarlanan fiberdir. Zayıflama ve zaman gecikmesi diğer fiberlere göre daha fazladır ve pek çok uygulama için çok yavaştır. Fiyatının düşük olmasıyla 5 km'ye varan linklerde kullanılmaktadır. Çok modlu gradyan indisli fiberlerde ise zayıflama ve zaman gecikmesi diğer iki fiberin arasındadır. Bant genişliği yaklaşık 2 GHz'dir. Bu tip fiberler veri haberleşmesinde endüstri standardı olarak çok yaygın kullanılmaktadır [29].

2.2.1. Tam İç Yansıma

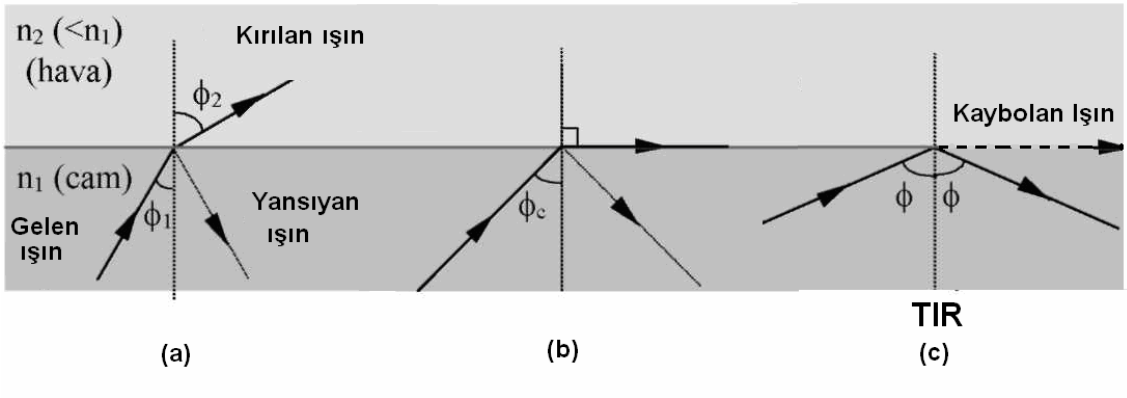
Optik Fiberde optik dalga kılavuzu içindeki ışık yayılımının temelini Tam İç Yansıma (Total Internal Reflection – TIR) olayı oluşturur. Bu yayılımı incelemek için dielektrik sınır düzlemine eğik geliş olayının incelenmesi gerekmektedir.

İki dielektrik ortam arasındaki bir arayüze düzlemine herhangi bir ϕ_1 geliş açısıyla eğik olarak gelen bir ışın ele alındığında Şekil 2.3.'te gösterildiği gibi ortamın arayüzeydeki süreksizliği nedeniyle, gelen ışığın bir kısmı yansıtılır bir kısmı geçirilir. Hem gelen

hem yansıyan ışınlar aynı faz hızı ile ilerlediklerinden yansıma açısının geliş açısına eşit olduğu sonucu ortaya çıkar ki buna *Snell'in yansıma yasası* adı verilir.

Işığın fiber içindeki yayılımını görmek için ortamın kırılma indisinden bahsetmek gerekir. Bir ortamın kırılma indisi, ışığın boşluktaki hızının o ortamdaki hızına oranıdır ($n = c / v_n$). Şekil 2.3.a'daki kırılma olayında yansıma açısının geliş açısına eşit olduğunun görüldüğü gelen ve yansıyan ışınların ara yüzey normali ile yaptığı açılar arasındaki ilişki, n_1 ve n_2 ortamların kırılma indisleri olmak üzere *Snell'in kırılma yasası*'nı ortaya çıkarır:

$$n_1 \sin\phi_1 = n_2 \sin\phi_2 \qquad (2.2)$$



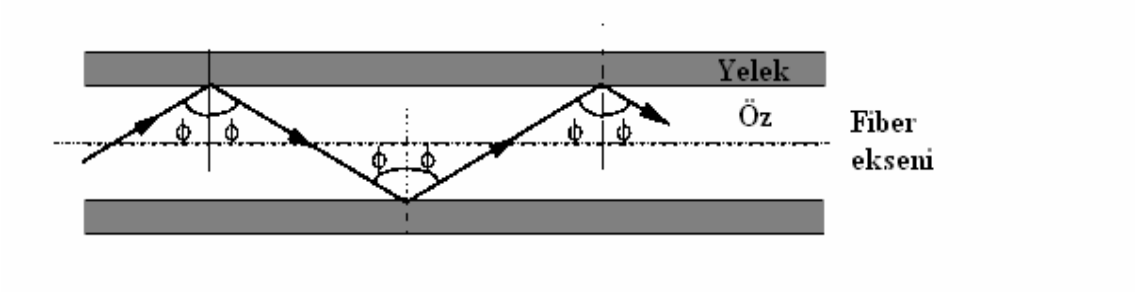
Şekil 2.3. Farklı Yoğunluklardaki Ortamların Ara Yüzeyine Gelen Işık Işınlarının Oluşturduğu Kritik Açı Ve Tam İç Yansıma Olayları.

Şekil 2.3.b'de gösterilen n_1 çok yoğun cam ortamını ve n_2 daha az yoğun olan hava ortamını göstemek üzere; Denk. (2.2)'ye göre sınır durum, ϕ_2=90° olduğunda, gelme açısının *kritik açı* olarak adlandırılır ve

$$\phi_c = \sin^{-1}(n_2 / n_1) \qquad (2.3)$$

olarak gösterilir. Şekil 2.3.c'de görüldüğü gibi ϕ_c'nin üzerindeki geliş açılarında gelen ışın tam iç yansımaya uğrar ve geldiği ortamda kalır. Fiberlerde optik ışın iletimi bu prensibe dayanır. Şekil 2.4.'te gösterildiği gibi, öz/yelek ara yüzeyinin kritik değerinden

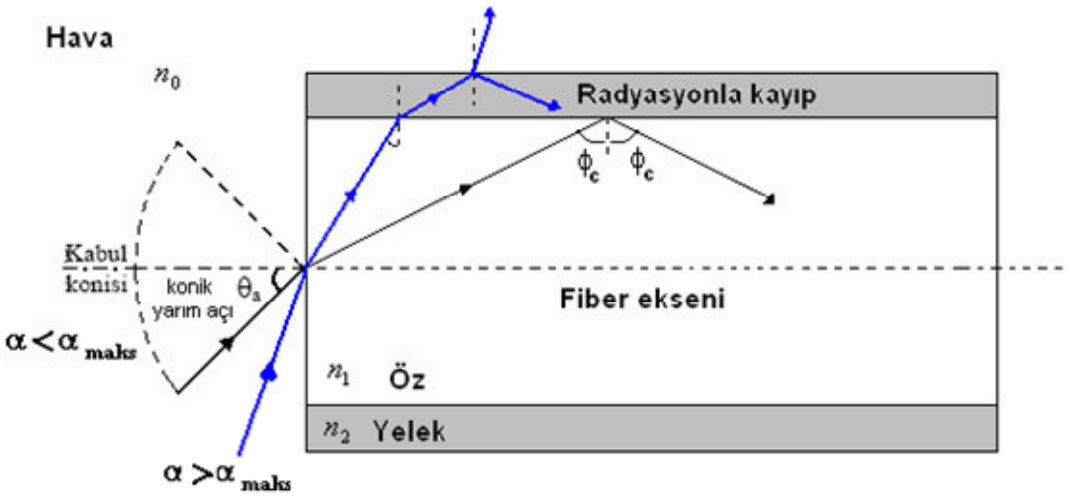
daha büyük bir açıyla ara yüzeye düşen ışık ışını, tekrarlı toplam iç yansımalara uğrar ve fiber yapı içerisinde hapsedilerek nakledilir. Yüzey dalgası olarak adlandırılan arayüzeye bağlı dalganın varlığında 2. ortama güç iletilmez.



Şekil 2.4. Elektromanyetik Dalgayı Tam Yansımayla Kılavuzlayan İdeal Optik Fiber.

2.2.2. Kabul Açısı ve Nümerik Açıklık

Işığın fiber kablo içinde tam yansımaya uğrayarak ilerleyebilmesi için fiberin öz bölgesine giren ışığın belli bir açının altında olması gerekir. *Kabul açısı* (θ_a) olarak adlandırılan bu kritik açının oluşturduğu koniye *kabul konisi* denir. θ_a'dan daha küçük açılarla bu koninin içinde veya sınırlarında gelen ışınlar tam yansıma şartını sağlayıp fiber özünde ilerlerken bu koninin dışından gelen ışınlar fibere girdikten sonra yelek bölgesine geçer ve radyasyonla kaybolurlar (Şekil 2.5.). Kabul konisinin büyüklüğü, öz ve yelek kırılma indisine bağlıdır.



Şekil 2.5. Kabul Konisi Ve Kabul Açısı (θ_a).

Şekil 2.5. deki n_o 'dan n_1 ortamına giren ışık arayüzde Snell'in kırılma yasası (Denk. 2.2) uyarınca aşağıdaki denklemi verir;

$$n_0 \sin \alpha_{maks} = n_1 \sin\left(90^0 - \theta_c\right) \tag{2.4}$$

$$\sin \alpha_{maks} = n_1 / n_0 \cos \theta_c \tag{2.5}$$

$$\sin \alpha_{maks} = n_1 / n_0 (1 - \sin^2 \theta_c)^{\frac{1}{2}} \tag{2.6}$$

$\sin \theta_c$ tam yansıma kuralı uyarınca ortaya çıkar ve ortamların indis oranı olarak $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ karşımıza çıkar. $\sin \theta_c$ yerine denklemde koyduğumuzda;

$$\sin \alpha_{maks} = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0} \tag{2.7}$$

maksimum kabul açısının denklemini elde etmiş oluruz.

Nümerik Açıklık (NA), bir fiber optiğin ışık toplama yetisini ölçmede kullanılan bir nitelik sayısıdır. NA'nın büyüklüğü ne kadar fazla olursa, fiberin harici ışık kaynağından kabul ettiği ışık miktarı da o denli fazla olur. Basamak indisli bir fiberde, nümerik açıklık matematiksel olarak kabul yarım açısının sinüsü olarak tanımlanır. Işının fiber içindeki yolunu meridyenel kabul ederek, Şekil 2.6.teki gibi kabul konisi içinde fibere giren bir ışın göz önüne alındığında, A noktası için Snell Kanunu,

$$n_0 \sin \theta_1 = n_1 \sin \theta_2 \tag{2.8}$$

şeklinde yazılabilir. Şekil 2.6.'da $\sin \theta_2 = \cos \phi$ olduğundan Denk.(2.8),

$$n_0 \sin \theta_1 = n_1 \cos \phi = n_1 (1 - \sin^2 \phi)^{1/2} \tag{2.9}$$

haline gelir. Fiber içerisinde tam iç yansıma şartının sağlanması gereken limit durumda (θ_a geliş açısında), Denk.(2.3)'ten $\sin \phi$ yerine n_2/n_1 yazılarak,

$$NA = n_0 \sin \theta_a = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \tag{2.10}$$

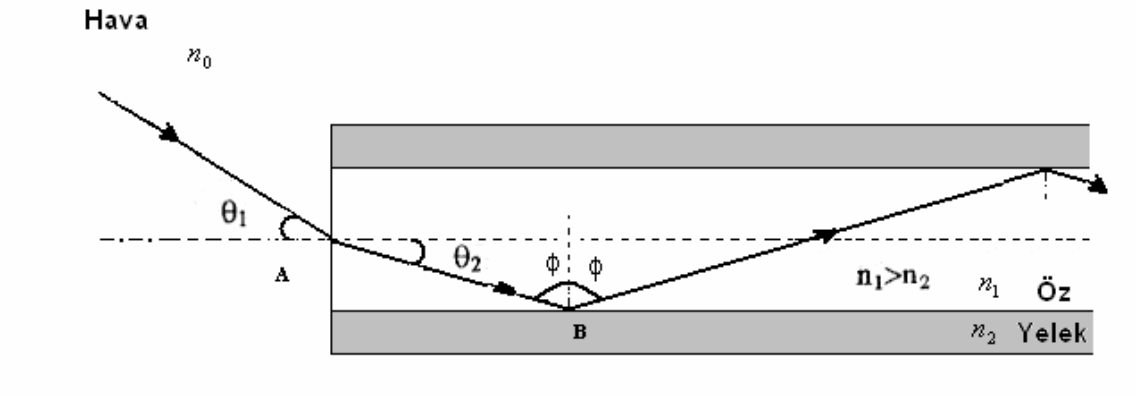
elde edilir. Nümerik açıklık, bağıl kırılma indis farkı cinsinden de ifade edilebilir. Bağıl kırılma indis farkı;

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \tag{2.11}$$

şeklinde tanımlanır [30] ve Denk.(2.10) ile (2.11)'nin birleştirilmesiyle nümerik açıklık,

$$NA = n_1 (2\Delta)^{1/2} \tag{2.12}$$

olarak yazılabilir.



Şekil 2.6. Kabul Açısından Daha Küçük Bir Açıyla Fibere Giren Işın.

Denk (2.10)'u Denk (2.7) de yerine koyduğumuzda maksimum kabul açısı nümerik açıklık cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir :

$$\sin \alpha_{maks} = \frac{NA}{n_0} \tag{2.13}$$

Nümerik açıklık, 8μm'ye kadar olan fiber öz çapları için çaptan bağımsızdır. Daha düşük çaplar, için geometrik optik (ışın optiği) yaklaşımları geçersiz olduğundan, bu bağıntılar da geçersiz olur. Bunun sebebi, ışın teorisi modelinin, ışığın karakterinin yalnızca bir kısmını tanımlamasıdır. Bu teori, bir düzlem dalga bileşeninin fiber içindeki yönünü tanımlar; fakat, böyle bileşenler arasındaki girişimi hesaba katmaz. Girişim olayı işe sokulduğu zaman, fiber özünde sadece belli ayrık karakteristiklere sahip olan ışınların yayılacağı bulunmuştur. Böylece, fiber sadece ayrık çok sayıda kılavuzlanmış modu besler. Bu durum sadece bir veya birkaç modun beslendiği küçük öz çaplı

fiberlerde kritik hale gelir. Bu yüzden böyle durumlarda elektromanyetik mod teorisi uygulanmalıdır. Bilindiği gibi elektromanyetik mod teorisi ışığın yayılması için gelişmiş bir modelin elde edilmesinde kullanılır ve temelde Maxwell denklemleri ile ifade edilir [30].

2.3. Optik Fiberde Zayıflama ve Kayıplar

Zayıflama, işaretin yeniden kuvvetlendirilmeden önce iletilebileceği maksimum mesafeyi belirleyen temel faktördür. (Metalik iletkenlerde 5 dB/km). Optik fiberlerdeki işaret zayıflaması, genellikle desibel cinsinden logaritmik olarak ifade edilir. Özel bir dalga boyu için,

$$\text{Desibel sayısı (dB)} = 10\log_{10}\frac{P_i}{P_o} \qquad (2.14)$$

ile tanımlanır. Burada P_i , fibere girilen optik güç ve P_0 fiberden alınan optik çıkış gücüdür. Denk. (2.14)'ten,

$$\frac{P_i}{P_o} = 10^{dB/10} \qquad (2.15)$$

olmaktadır. Optik fiber haberleşmesinde, zayıflama genellikle "birim uzunluk başına desibel" cinsinden ifade edilir:

$$\alpha_{dB} = \frac{1}{L}\ln\frac{P_i}{P_o} \qquad (2.16)$$

Burada α_{dB} birim uzunluk başına işaret zayıflaması ve L fiberin uzunluğudur. Optik fiberde işaret zayıflamasından bir çok mekanizma sorumludur. Malzeme kompozisyonu, saflaştırma tekniği ve dalga kılavuzu yapısı bu mekanizmalara etki eder [31].

Kayıplar, fiberde istenmeyen bir olgu olduğundan fiber optik kablolar üretim süreçlerinin sonunda ilgili birçok standarda göre kalite açısından test edilirler. İletim kayıpları, optik fiberde sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Fiberdeki kayıplar, iletilen ışık gücünde bir azalmaya neden olur. Bu da, sistem bant genişliğini, bilgi iletim hızını, verimliliği ve dolayısıyla sistemin genel kapasitesini azaltmış olur.

Optik fiberler, yolları üzerinde bükülme ve eğrilikler yüzünden radyasyonla kayıplara maruz kalırlar. Bu tür bükülme kayıpları *makro bükülme kayıpları* olarak adlandırılır. Fiber özlerinin keskin dönüş yaptığı noktadaki ışık, geniş açı yapar ve bu şekilde zayıflama artar. Işığın büyük bir kısmı buradan dışarı çıkar. Yanal baskıya veya fiberin kablo içinde bükülmesine yol açan uygun olmayan kablolama işlemleri nanometrik küçük genlikli, milimetrik yüksek uzaysal frekanslı *pertürbasyonlar* oluşturabilir. Bu pertürbasyonların sebep olduğu kayıplar da *mikro bükülme kayıpları* olarak adlandırılır [31]. Ayrıca, fiber özün sıcaklık karşısında uzama katsayısı, koruyucu tüpün uzama katsayısından büyük olması nedeniyle, fiber öz koruyucu tüpün içinde kıvrımlar oluşturur. Bu kıvrımlardan dolayı da yine fiberlerde zayıflamalar meydana gelir. Fiber optik kablolarda karşılaşılan iletim kayıpları aşağıda verilmiştir [31, 32] ;

- Modal dağılım kayıpları
- Soğurma kayıpları
- Malzeme ya da Rayleigh saçınım kayıpları
- Yayılım kayıpları
- Kromotik dağılım (renk ya da dalga boyu ayrılması)
- Bağlaşım (Optik Kablo Eklem) kayıpları

2.3.1. Modal Dağılım Kayıpları

Modal dağılım kaybı optik fiberde görülen en önemli kayıplardandır. Modal dağılımın oluşması, bir fiberde farklı yollar izleyen ışık ışınlarının ilerleme hızlarındaki farktan kaynaklanmaktadır. Modal dağılım yalnızca çok modlu fiberlerde meydana gelebilir. Gradyan indisli fiberlerde modal dağılma az, tek modlu basamak indisli fiberlerde ise hemen hemen bertaraf edilebilir durumdadır.

Modal dağılım, bir fiberde yayınım yapmakta olan bir ışık enerjisi darbesinin yayılarak dağılmasına neden olabilir. Eğer darbe yayılması yeterince ciddiyse, bir darbe bir sonraki darbenin tepesine düşebilir. Çok modlu gradyan indisli bir fiberde, doğrudan fiber ekseni üzerinden dağılım yapan bir ışık ışını, fiberi bir ucundan diğer ucuna en kısa sürede kat eder. Kritik açıyla öz/yelek sınırına çarpan bir ışık ışını, en çok sayıda

tam iç yansımaya maruz kalacaktır. Dolayısıyla fiberi bir ucundan diğer ucuna en uzun sürede kat edecektir.

2.3.2. Soğurma Kayıpları

Optik fiberlerdeki soğurma diğer bir ifadeyle yutma kaybı, fiberin saf olmaması nedeniyle ortaya çıkan bir durumdur. Her ne kadar fiber üretim teknolojisi saflık ve saydamlık konusunda mükemmele yaklaştırılsa da fiberde bulunan cam, ışığı soğurup ısıya dönüştürür. Camın saflığına rağmen 1 dB/km İle 1000 dB/km arasındaki soğurma kayıpları sık görülen değerlerdir [32-36]. Ayrıca optik fiberdeki soğurma kayıplarına yol açan üç faktör aşağıdaki gibidir ;

- morötesi soğurma,
- kızılaltı soğurma ve
- iyon rezonans soğurması

2.3.3. Malzeme ya da Rayleigh Saçılma Kayıpları

Optik fiberin üretim aşamasında, cam, çekilerek çok küçük çaplı uzun fiberler haline getirilir. Bu süreç esnasında, cam, plastik haldedir. Bu aşamada cama uygulanan germe kuvveti, soğuyan camda mikro düzeyde küçük düzensizliklerin oluşmasına yol açar. Bu durum fiberde homojen yapıyı bozar ve mikro düzeyde, kalıcı, yoğunluğu farklı bölgeler oluşturur. Işık ışınları, fiberde yayılım yaparken bu düzensiz bölgelerden birine çarparsa kırınım meydana gelir. Bu bölgelerde ışık küçük bir miktar saçılır. Bu saçılıma bağlı olarak fiberde her dalga boyunda zayıflama meydana gelir. Buna *Rayleigh saçınım kaybı* denir. Dalga boyu arttıkça Rayleigh kaybı azalır [32, 35].

2.3.4. Yayılım Kayıpları

Fiberdeki küçük bükümler ve burulumlar yayılım kayıplarına neden olur. Temel olarak, mikro büküm ve sabit yarıçaplı büküm olmak üzere iki tür büküm vardır. Mikro büküm öz malzemesi ile yelek malzemesinin ısıl büzülme oranları arasındaki farktan kaynaklanır. Mikro büküm fiberde Rayleigh saçınımının meydana gelebileceği bir

süreksizlik oluşturur. Fiberlerin yapımı ya da monte edilmesi sırasındaki bükülmeler sonucu sabit yarıçaplı bükümler meydana gelir [34-39].

2.3.5. Kromatik Dağılım

Kromatik dağılım, ışık kaynağında kullanılan dalga boyu aralığına bağlıdır. Lazer veya LED'ler tarafından üretilen ışığın dalga boyu belli bir aralıkta olur. Fiber içinde yol alan değişik dalga boyundaki dalgalar, değişik hızlara sahiptir. Dolayısıyla eşit mesafeleri farklı sürelerde alırlar; bu da sinyalin yayılmasına neden olur. Sinyalin gereğinden fazla yayılması onun karakterini bozar ve bilginin kaybolmasına neden olur. Dalga boyuna bağlı olarak değişen bu kayıp 1200-1600 nm arasında sıfıra en yakındır. Çok modlu kablolarda bu değer, modal dağılıma oranla çok daha düşük olduğu için göz önüne alınmaz. Bu tür kayıplar, tek mod fiber optik uygulamalarında oldukça önemlidir [31].

2.3.6. Bağlaşım Kayıpları

Fiber kablolarda, üç optik eklem türünden herhangi birinde bağlaşım kayıpları meydana gelebilir: ışık kaynağı-fiber bağlantıları, fiber-fiber bağlantıları ve fiber fotodedektör bağlantıları. Şekil 2.7.'den de görülebileceği gibi bağlaşım kayıplarına çoğunlukla aşağıdaki ayar sorunlarından biri neden olur [31, 33, 34]:

a) Yanal ayarsızlık
b) Aralık ayarsızlığı
c) Açısal ayarsızlık
d) Yüzey kusuru

a) Yanal Ayarsızlık

Yanal ayarsızlık, bitişik iki fiber kablo arasındaki yanal kayma ya da eksen kaymasıdır. Kayıp miktarı, bir desibelin beş ila onda biri ile birkaç desibel arası olabilir. Eğer fiber eksenleri, küçük fiberin çapının % 5 dahilinde ayarlanmışsa, bu kayıp ihmal edilebilir. (Şekil 2.7.a) [31, 33, 34].

b) Aralık Ayarsızlığı

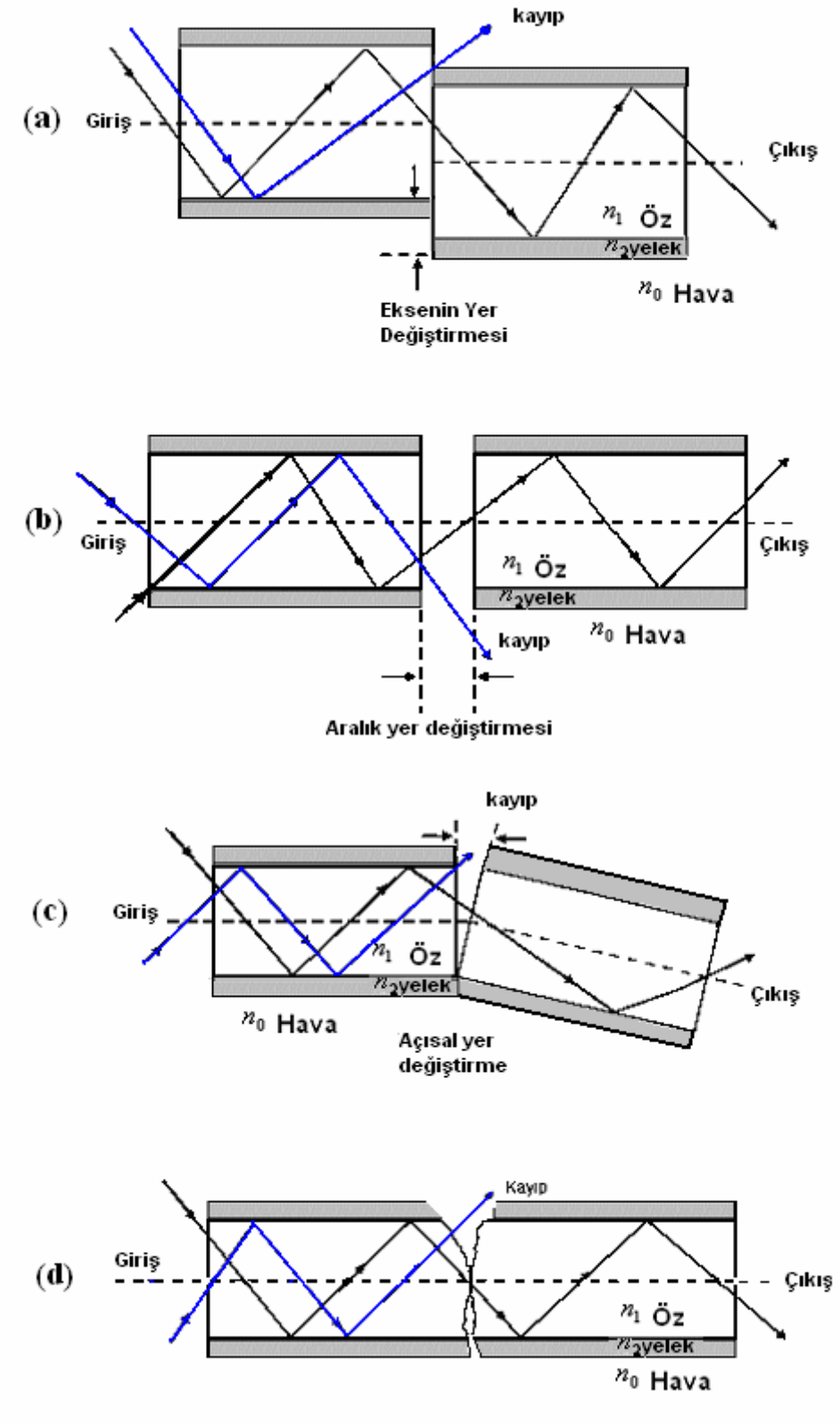
Aralık ayarsızlığına bazen uç ayrılması da denmektedir. Optik fiberlerde ekler yapıldığında, fiberlerin birbiri ile temas etmesi gerekir. Fiberler birbirinden ne kadar ayrı olursa, ışık kaybı o kadar fazla olur. İki fiber birbirine ek elemanıyla birleştirilmişse, uçlar temas etmemelidir. Bunun nedeni, iki ucun bağlantı parçasında birbiri ile sürtünmesinin fiberlerden birine ya da her ikisine birden hasara yol açabilecek olmasıdır (Şekil 2.7.b) [33, 34].

c) Açısal Ayarsızlık

Açısal ayarsızlığa bazen açısal yer değiştirme de denir. Açısal ayarsızlık iki dereceden az ise, kayıp 0.5 desibelden az olur. (Şekil 2.7.c) [31, 33, 34].

d) Yüzey Kusuru

İki bitişik kablonun uçlarının bütün pürüzleri giderilmeli ve iki uç birbirine tam olarak uymalıdır. Aksi halde yüzeyler birbirine tam uymayarak açıklık oluşturur. Bu pürüzler fiber için özel zımpara kitleriyle kusurları giderilmezse yüzey kusuru nedeniyle kayıplar oluşur. Fiber uçların dikey çizgiden açıklıkları üç dereceden az ise, kayıplar 0.5 desibelden az olur (Şekil 2.7.d) [31, 33, 34].



Şekil 2.7. Bağlaşım Kayıpları Gösterimleri a) Yanal Ayarsızlık b) Aralık Ayarsızlığı c) Açısal Ayarsızlık d) Yüzey Kusuru.

2.4. Optik Fiber Türleri

Optik fiberler üretildikleri malzemeler açısından üçe ayrılır.

1. Cam
2. Plastik (POF)
3. Plastik Yelekli Silika (PCS)

2.4.1. Camsı Optik Fiber

Bu tip fiberlerde hem öz hem de yelek camdır. Bu cam saf SiO_2 yeleğe karşılık GeO_2 katkılı SiO_2 özden oluşmaktadır. Camsı fiberler daha geniş kırılma indis bölgesi sağlasalar da katkı miktarının kontrolü silikadan zordur. Camsı fiberler; düşük kayıpları sebebiyle uzak mesafe haberleşmesinde (tek modlu optik fiber için, 1.3 μm dalga boyunda, ortalama 0,5 dB/km kayıpla tekrarlayıcı kullanılmadan, yaklaşık olarak 40 km gibi mesafelerde ve haberleşme dışı uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Camsı fiber optik en düşük zayıflamaya sahiptir ve fiyatları da diğerlerine göre yüksektir.

2.4.2. Plastik Optik Fiber (POF)

Plastik optik fiber kabloların özünde ve yelek bölgesinde hammadde olarak plastik kullanılır. Bu tip fiberler Rayleigh saçılması katkısı sebebiyle, 650 nm de yaklaşık 350 dB/km gibi çok yüksek kayıplı zayıflamalara sahip olsalar da 600-700 nm'de görülebilir tayf bölgesinde çok kısa mesafeli, düşük band genişlikli haberleşmeler için uygundur. Oldukça kalın olan bu tip fiberin zayıflaması en yüksek ve fiyatı en düşük olan fiber tipidir. Plastik fiberler Japonlar tarafından otomotiv endüstrisinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Ancak fiyatının düşük olması nedeni ile kısa mesafeli uygulamalarda kullanımı yaygınlaşmaktadır. Yüksek optik güçlerde alev alma problemi nedeniyle kullanım ortamına dikkat edilmelidir.

2.4.3. Plastik Yelekli Silika Optik Fiber (PCS)

Plastik Yelekli Silika (Plastic Cladding Silica) kablolarda öz, cam benzeri silika, kaplama ise plastiktir. Özü sıkı bir şekilde saran bir yelek elde etmek için, silikadan elde

edilen öz, yüksek sıcaklıktaki bir polimer banyosundan çekilir. Enerjinin çok az kısmının yelekte taşındığı, öz çapı büyük, basamak indisli fiberler bu şekilde üretilir. Bu tip fiberler, maliyetin düşük olması istenen, orta mesafeli, makul bant genişliği haberleşme sistemleri için uygundur ve bunların tipik kayıpları 10 dB/km'dir. Bu fiberler gerek zayıflama özelliği, gerek fiyat olarak diğer iki tip fiberin arasında yer alır. Ancak bu kablolarda bağlantı işlemi zorluğu, yapıştırıcı uygulanamaması ve az esneklik gibi dezavantajlar bulunmaktadır.

2.5. Fiber Optik Sistemlerin Üstünlükleri

Gerek haberleşme uygulamaları, gerekse haberleşme dışı uygulamaları gözönüne alındığında fiber optik sistemlerin geleneksel sistemlere göre üstünlükleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Büyük bant genişliği,
- Küçük boyut ve hafiflik,
- Sitem güvenliği ve bakım kolaylığı,
- Daha fazla bilgiyi daha uzağa taşıyabilme,
- Çevredeki diğer sinyallerden ve elektromanyetik girişimden bağışıklık,
- Cam özlü olduğundan korozyona uğramayıp pek çok kimyasaldan etkilenmeme,
- Esneklik, sertlik ve darbeye karşı mukavemet,
- Taşınma ve kurulum kolaylığı,
- Yüksek hassasiyet,
- Düşük güç gereksinimi ve iletim kaybı,
- Elektriksel ve optik çoğullama,
- Ucuzluk,
- Isı üretmeme.

3. BÖLÜM

FİBER OPTİK KİMYASAL SENSÖRLER VE ALGILAMA

3.1. Algılama ve Sensörler

Algılama kavramı, etrafındaki çevreyi örnekleme olayı olarak veya elektronikte fiziksel dünyadan mikroişlemciler dünyasına bilgi dönüşümü olarak tanımlanabilir. Algılama işlemini yapan aletlere de sensör (algılayıcı) denir. Sensörler, fiziksel ortam ile endüstriyel amaçlı elektrik/elektronik cihazları birbirine bağlayan bir köprü görevi görürler. Bu cihazlar, endüstriyel proses sürecinde kontrol, koruma ve görüntüleme gibi çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Günümüzde üretilmiş yüzlerce tip algılayıcıdan söz edilebilir. Mikro elektronik teknolojisindeki inanılmaz hızlı gelişmeler bu konuda her gün yeni bir buluş ya da yeni bir uygulama tipi geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Teknik terminolojide sensör ve transdüser terimleri birbirlerinin yerine kullanılanır ve 1969 yılında ISA (Instrument Society of America) bu iki terimi eş anlamlı olarak kabul etmiş ve "ölçülen fiziksel özellik, miktar ve koşulları kullanılabilir elektriksel niceliğe dönüştüren bir araç" olarak tanımlamıştır. Yine endüstride sensör, algılayıcı, transdüser, transmitter, detektör, prob, metre terimleri birbirinin yerine kullanılmaktadır.

İnsan duyuları, yüzyıllardan beri algılayıcıların tasarlanması için bir ilham kaynağı olmuştur. İnsanoğlu, günümüze kadar keşfettiği veya tasarladığı sensörler için temel olarak kendi duyu organları ile algıladığı çevresel faktörlere göre tasarımlar yapmıştır.
Her algılamada bir süreç vardır. Bu süreçler insanlar için,

- Görme: Gözler aracılığıyla gerçekleştirilir. Optik süreçler bu duyuda rol oynar.
- Duyma: Kulaklar aracılığıyla olur. Akustik süreçler sonunda gerçekleşir.

- Dokunma: Deri ile merkezi değil dağınık olarak algı ile gerçekleşir. Temel mekanik ve ısı algılamaları mekanizmayı oluşturur.
- Koku: Burun aracılığı ile gerçekleşir. Gaz fazındaki bazı kimyasal süreçler ile olur.
- Tat: Dil aracılığı ile olur. Sıvı fazdaki bazı kimyasal süreçler ile oluşur.

Birden fazla duyumuz sadece kendi görevlerinin yanı sıra vücudumuz için de gerekli bazı unsurlarda belirleyici rol oynamaktadır. Ayrıca elektrik alan, manyetik alan, elektromanyetik ışıma gibi elektronikte meydana gelen bazı olguları da insanlar algılayabilmektedir. İnsan algısının dışındaki gece görüşü, kızılaltı kamera gibi RGB spektrumu dışındaki görme, 20 Hz – 20 kHz dışında ultrasonik duyma, radyasyon algısı, tat ve koku üzerinde detaylı kimyasal analizde sensörlerin insan organları ile algısının üstündeki kavramlardır [40, 41].

Algılayıcıları, birbirinden farklı birçok sınıfa ayırmak mümkün olsa da giriş ve çıkış büyüklüklerine göre ayrım aşağıdaki gibidir:

- Algılayıcılar çıkış büyüklüklerine göre; AC çıkış, DC çıkış, kapsül, diyafram, frekans, sayısal, yarı iletken, servo, anahtar, ultrasonik, titreşen element olarak sınıflandırılabilir.
- Algılayıcılar giriş büyüklüklerine göre ise aşağıdaki gibi gruplandırılabilir;

1. Mekanik: Uzunluk, alan, miktar, kütlesel akış, kuvvet, tork (moment), basınç, hız, ivme, pozisyon, ses dalga boyu ve yoğunluğu
2. Termal: Sıcaklık, ısı akısı
3. Elektriksel: Voltaj, akım, şarj, direnç, endüktans, kapasitans, dielektrik katsayısı, polarizasyon, elektrik alanı ve frekans
4. Manyetik: Alan şiddeti, akı yoğunluğu, manyetik moment, geçirgenlik
5. Işıma: Yoğunluk, dalga boyu, polarizasyon, faz, yansıtma, gönderme
6. Kimyasal: Yoğunlaşma, oksidasyon/redaksiyon, reaksiyon hızı, pH miktarı, nem

3.2. Fiber Optik Sensörler (FOS)

Bir fiber optik sensör (FOS), algılanabilir parametrelerin enerjisini algılayıcı olarak kullanılan fiber boyunca ilerleyen ışığın fiziksel özelliğine dönüştüren bir yapı olarak kabul edilmektedir. Bir FOS; bir ışık kaynağı, ışığın iletimini sağlayan bir algılayıcı olarak çalışan bir optik fiber kablo ve bir alıcıdan oluşmaktadır. Burada alıcı; optik işareti, elektriksel işarete dönüştürmektedir. Bu elektriksel işaret ise, işaret işleme yöntemleri vasıtasıyla algılanmış bilgiden elde edilmektedir. Kablo, sensöre uzak olan yada sensörün girmesinin mümkün olmadığı yerlerde ışığı taşıyan bir ortam olarak da kullanılabilir.

Optik fiber iletiminin, endüstriyel ortamlarda kontrol ve uzaktan algılama, ölçme ve nakletme için faydalı şekilde kullanılabileceği birçok uygulamada görülmüştür. Böyle sensör sistemlerine optik haberleşmesinin uygulanması, geleneksel izleme ve kontrolün zor ve pahalı olduğu, elektriksel bakımdan tehlikeli ortamlarda kullanım için büyük bir ilgi uyandırmıştır. Fiber optik sensörler; yüksek voltaj ortamındaki iletken yolların yok edilmesini, tıpta hastaların elektriksel izolasyonunu içeren uygulamaları elde etmek için, tamamen pasif dielektrik bir yaklaşım sunarak geleneksel sensör uygulamalarının bir adım ötesine geçmiştir**.**

3.2.1. Fiber Optik Sensörlerin Sınıflandırılması

Fiber optik sensörlerin çeşitli şekillerde sınıflandırma yapmak mümkün olsa da, ışığın fiberdeki durumu göz önüne alınarak optik fiber sensörler üçe ayrılabilir. Bunlar; fiber içindeki ışığın durumunun (faz, kutuplanma gibi) çevresel etki tarafından değiştirildiği intrinsic (iç etkileşimli) sensörler , ışığın algılama bölgesinde fiberden ayrıldığı ve sonra tekrar döndüğü extrinsic (dış etkileşimli) sensörler; fiber içindeki ışığın, çevresel bir etkiyle fiber özü dışına sızdığı veya harici bir ışığın fiber özüne sızdığı evanescent (sönen alanlı) sensörlerdir.

3.2.1.1. İç Etkileşimli (Intrinsic) Sensörler

İç etkileşimli FOS'ler fiberin kendisi algılama sürecinde aktif bir rol oynadığından aktif FOS'ler veya tamamen fiberli olarak da adlandırılır. Yüksek performansa sahip bu

sensörlerde ışğın modülasyonu tamamen fiberlerin içinde meydana gelir (Şekil 3.1.a). Ölçülecek niceliğin fiber üzerine uygulanması ile, fiberin geometrik, fiziksel veya optik özellikleri (çap, kırılma indisi, fiber boyu, bükülme kaybı) değiştirilerek fiber içinde fiberi terk etmeyen yayılan ışık modüle edilebilir. İç etkileşimli sensörler; rotasyon, ivme, basınç, titreşim gibi büyüklüklerin ölçülmesinde kullanılır. Dış etkileşimli sensörlerle yapılan algılama düzenlerinde ışık fiberden ayrıldığından, kirlenme, toz, titreşim, hizalama gibi bazı problemlerle karşılaşılırsa da; iç etkileşimli sensörler, ışık fiber içinde modüle edildiğinden, bu problemlere maruz kalmaz. İç etkileşmeli FOS'ler, yüksek hassasiyetlidirler ve FOS tasarımında çoğunlukla özel tip fiberlere ve düzenlemelere ihtiyaç duyarlar.

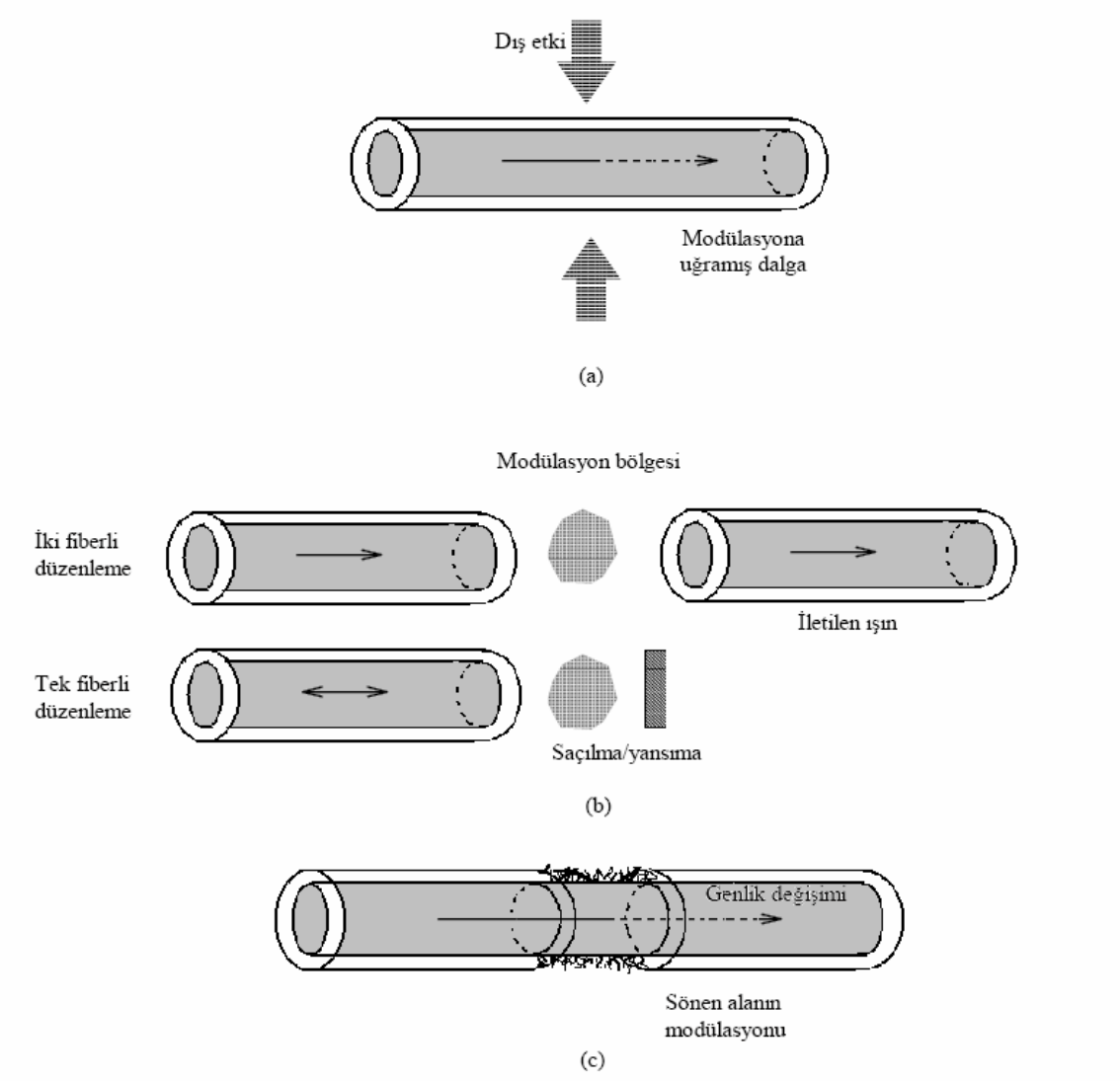
3.2.1.2. Dış Etkileşimli (Extrinsic) Sensörler

Dış etkileşimli FOS'ler, pasif FOS'lar olarak da adlandırılır. Bu tip FOS'lerde ışığın değişikliğe uğratılması sadece ışığı taşıyıcı olarak iş gören fiberlerin dışında olur. Bu yüzden dış etkileşimli sensörlerde algılama, fiberin dışındaki bir bölgede, algılanacak niceliğin ışık üzerinde yapacağı modulasyonun ölçülmesiyle yapılır. Modülasyon, ışık üzerinde ya doğrudan veya bir modülator kullanarak dolaylı olarak yapılır. Şekil 3.1.b' de gösterildiği gibi, dış etkileşimli FOS'ler, sadece ışığı taşımada yani kaynaktan algılama bölgesine ve algılama bölgesinden dedektöre kullanılır. Yansıtıcı veya çoğu kez fotonik sensör olarak adlandırılan düzenlemede ışık, hedefi aydınlatmak için fiberler vasıtasıyla taşınır. Hedeften geri yansıyan ve geri dönüş fiberleri ile alınan ışık, fiber uçları ve hedef arasındaki mesafenin bir fonksiyonudur. Böylece, hedefin konumu veya yer değiştirme bir optik alıcıda kaydedilir. İlk ticari sensör tipi olduğundan pratik, ucuz ve basit yapılıdırlar. FOS piyasasında uzun süreli bir hakimiyetten sonra, yerlerini giderek diğer sensörlere bırakmaktadırlar. Dışta etkileşmeli FOS'lerin algılayıcı yüzeylerin ve/veya fiber uçlarının kirlenmesi, yanlış hizalama, istenmeyen saçılma ve yansıma, titreşime duyarlılık, ortam ışığından etkilenme gibi uygulama zorlukları vardır.

3.2.1.3. Sönen Alanlı (Evanescent) Sensörler

Sönen alanlı sensör düzenleri, çevresel etkileri algılama prensibi olarak, bir optik dalga kılavuzundaki ölçülebilir kuplaj kaybını esas alır. Bu tip sensörler seviye, kimyasal

reaksiyonlar, kimyasal bileşimler ve pH algılanmasında kullanılır. Ayrıca, fiber üzerinde mikro bükülme etkileri, gerilme ölçümünde, optik dalga kılavuzundan ışık kaybını desteklemede de kullanılabilir. Sönen alan etkileşmeli FOS'lerde çevresel etkiyi algılama prensibi, optik fiber dalga kılavuzunda kılavuzlanan dalganın yeleğe sızan kesrinin modüle edici etki tarafından çeşitli yollarla tutulması ve detektöre ulaşmasının engellenmesidir (Şekil 3.1.c). En yaygın metotlar; genellikle, mikro bükülme oluşturmak (gerilme, basınç, yüzey pürüzlülüğü ölçmelerinde tercih edilir) ve (yeleği sıyırarak) fiber özünü soğurucu bir filmle kaplamaktır (kimyasal özelliklerin/bileşimlerin algılanmasında kullanılır).

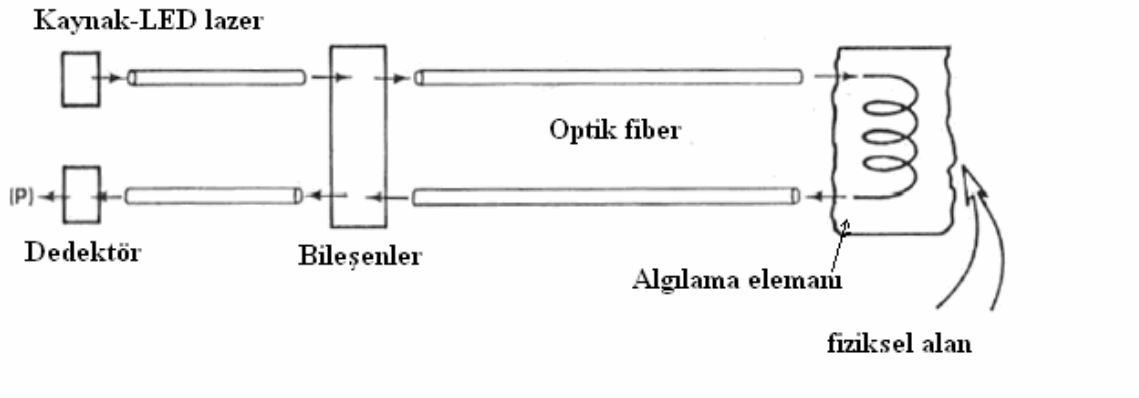


Şekil 3.1. FOS'lerin Sınıflandırılması; a) İç Etkileşimli (Aktif) Sensörler b) Dış Etkileşimli (Pasif) Sensörler c) Sönen Alanlı Sensörler.

3.3. Fiber Optik Sensörlerde Algılama Prensibi

Optik fiberler algılama uygulamalarında, kontrol ve enstrümantasyonda kullanılır. Bu uygulamalar için fiberler aynı harici mekanizmaya karşı haberleşmede kullanılan fiberlere göre daha çabuk etkilenen ve hassas bir yapıda üretilmiştir.

Bir optik fiber algılama sistemi, temel olarak ışık kaynağı, optik fiber, bir algılama elemanı ve detektörden oluşur (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Optik Fiber Algılama Sisteminin Temel Öğeleri.

3.4. Fiber Optik Kimyasal Sensörler (FOKS)

Son yıllarda fiber optik kimyasal sensörlerde (FOKS) kayda değer araştırmalar ve ilerlemeler gerçekleşmiştir. İlk fiber optik kimyasal sensörün tasarımı, amonyak algılanması için 1976 da ortaya atılmıştır [42]. Bu buluştan sonraki yıllardan günümüze olan süreçte araştırmalar, sayısız parametre üzerinde geliştirilmiştir [43-45]. Yapılan araştırmaların hızla artması, kimyasal parametrelerin endüstriyel ve kimyasal süreçlerde algılanmasının ne kadar önemli olduğu gerçeğini ortaya çıkarmıştır. Çevre koruma, biyomedikal gibi birçok alanda geleneksel sensörlere oranla sağladığı dikkate değer avantajlar günümüzde de hala birçok araştırmanın bu alanda yapılmasına olanak sağlamıştır.

Endüstride uzaktan algılama ölçümlerinin kusursuz yapılabilmesi, gözetim altındaki değişkenlerin sürekli izlenebilmesi, çevresel araştırmalarda da numune almadan yerinde kesintisiz gözlem ve değişime ani duyarlılık gibi istekler FOKS'lerin geliştirilmesinde

etkin rol oynamıştır. Bunun yanısıra, biyomedikal alandaki kimyasal parametrelerin algısı fiber optik kimyasal sensörlerin geliştirilmesinde ve dolayısıyla bu alanların gelişiminde çok büyük rol oynamıştır. Yüksek oranda küçültülebilme, geometrik çok yönlülük, sayısız uygulanabilirlik seçeneği gibi birçok özelliğiyle FOKS'ler tercih nedeni olmuştur. Biyomedikalde kan içerisindeki kısmi karbon dioksit-oksijen basıncı, potasyum kalsiyum oranları, pH dengesi, antikor-enzim analizi gibi sayısız parametrenin sürekli izlenmesini gerçekleştirmesindeki başarısı FOKS'lerin eşsiz bir yere sahip olmasına yol açmıştır [46].

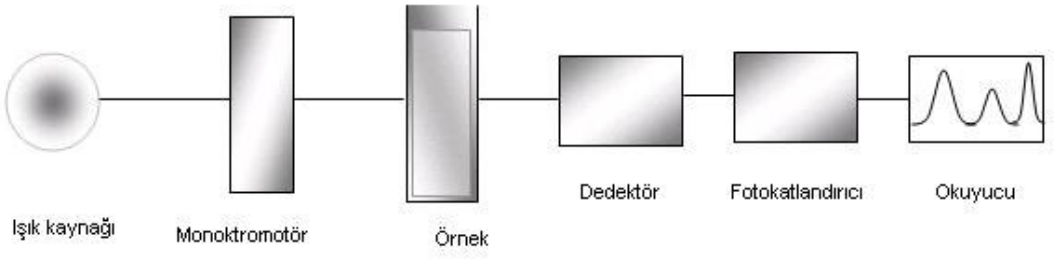
FOKS'lerin çevresel ve biyomedikal uygulamalardaki yerine geçmeden önce, algı mekanizmasının çalışma mantığına değinmek gerekmektedir.

3.4.1. FOKS ile Algılama

FOKS'lerin çoğu genlik modülasyonlu sensörlerdir. Bunlar; çalışılan parametrelerin konsantrasyonundaki değişim miktarıyla, optik özelliğinin çeşitlilik gösterdiği tipte özel ayıraçla kaplanmış fiberin (dönüştürücü sensör) veya incelenen parametrelerce fiberin taşıdığı ışığın direk modüle edilmesiyle oluşan fiberler (spektrofotometrik sensörler) olarak bilinirler. İncelenen kimyasalın, fiberce ışığın taşındığı optik dalganın yolunu değiştirmesi ile faz modülasyonu sadece bazı özel durumlarda ortaya çıkar. FOKS'ler her ne kadar Raman saçılması ve plasmon rezonansı gibi kimyasal lüminesans olgusuyla uygulanılmış olsalar da, kimyasal sensörler için esas uygulanabilir fiziksel olgu soğurma ve flüoresans'tır. [46].

Laboratuvarlarda yapılan çoğu tayinler, ölçülmek istenen bileşikle etkileşim sonucu, saçılan (nefelometre, turbidimetre), geçirilen (transmittans), soğurulan veya yansıtılan (reflektans) radyant enerjinin ölçümlerine dayanır. Fotometrik ölçüm terimi orjinal olarak dalga boyundan bağımsız ışık yoğunluğunun ölçüm işlemi olarak tanımlanır. Günümüzde kullanılan cihazlar, ölçümler sırasında ışık spektrumunun belirli bir dalga boyunu izole etme yeteneğine sahiptirler. İstenen dalga boyunu elde etmek için filtre kullanılanlara filtre fotometreleri, prizma kullanılanlara da spektrofotometre denir. Spektrofotometri, renkli maddelerin, bir ayraçla renklendirilen maddelerin ve bazı renksiz maddelerin soğurduğu ışık şiddetini ölçerek yapılan bir analiz yöntemidir. Spektrofotmetrelerde dalga boyu değiştirilerek dalga boyuna karşı soğurma veya

transmitans ölçümü alınır. Bir spektrofotometrenin temel elemanları Şekil 3.3.'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Basit Bir Spektrofotometrenin Elemanları.

3.5. FOKS'lerde Kullanılan Optik Yöntemler

FOKS'ler, kimyasal algılamada uzun yıllardır kullanılmakta olan optik yöntemlere ve tekniklere optik fiberlerin sağladığı kolaylıkların eklenmesiyle ortaya çıkmıştır. Optik yöntemlerle kimyasal özelliklerin algılanması, genellikle, belirlenen bir optik parametredeki değişikliklerin izlenmesi yoluyla gerçekleştirilir. Algılamanın prensibi, algılanacak kimyasal türün bir optik parametresinin, doğrudan veya bir indikatör yardımıyla, algılamada kullanılan ışık dalgasının genlik, frekans ya da faz özelliklerinden birini değiştirmesidir. Işık dalgasının modülasyonu, soğurma, yansıma, lüminesans veya saçılma ile sağlanabilir.

Aşağıda bahsi geçen yöntemleri optik fibere uygulayarak optik fiberlerin kimyasal algımada kullanılması sağlanabilir. Optik kaynaktan çıkan ışık, algılama bölgesinde modüle edildikten sonra, aynı fiberi veya birden fazla fiberin kullanımıyla dedektöre ulaştığı birçok uygulama mevcuttur. Sönen alan soğurması prensipli veya spektrum kaymalı sensörün yapımında, yelek kısmı mekanik ve kimyasal yollarla kolayca kaldırılabildiğinden genellikle plastik kaplamalı silika (PCS) fiberler kullanılır [47-50].

3.5.1. Soğurma (Absorbance)

Işıma enerjisinin bir madde tarafından soğurulması olayı ışımanın tanecik özelliği (foton) ile açıklanır. Kuantum kuramına göre atomlar, ancak elektron konfigürasyonuna ve dış elektronlarının belirli enerji düzeyleri arasındaki geçişlerine bağlı belirli

potansiyel enerji düzeylerinde bulunabilirler. Atomlar, elektromanyetik ışımayı soğurarak en düşük enerji düzeyinden (temel düzey) uyarılmış düzeylere geçerler ve bu sırasında ultraviyole veya görünür bölge sınırları içinde ışıma enerjisi yayarlar (emisyon). Moleküller de atomlarda olduğu gibi uygun enerjideki fotonlarla etkileştiklerinde bu fotonları soğurarak uyarılmış hale geçerler. Uyarılmış moleküller, bu kararsız durumdan fazla enerjilerini yayarak kurtulurlar. Soğurulan fotonların sayısı, ortamdaki soğurma yapan türlerin sayısı ile orantılıdır. Beer-Lambert kanunu esasınca ; bir çözeltiden geçen ışık miktarı, ışığın çözelti içinde katettiği yol ve çözelti konsantrasyonu ile logaritmik olarak ters orantılı, emilen ışık miktarı ise doğru orantılıdır;

$$A = \log I_0/I = \varepsilon LC \qquad (3\text{-}1)$$

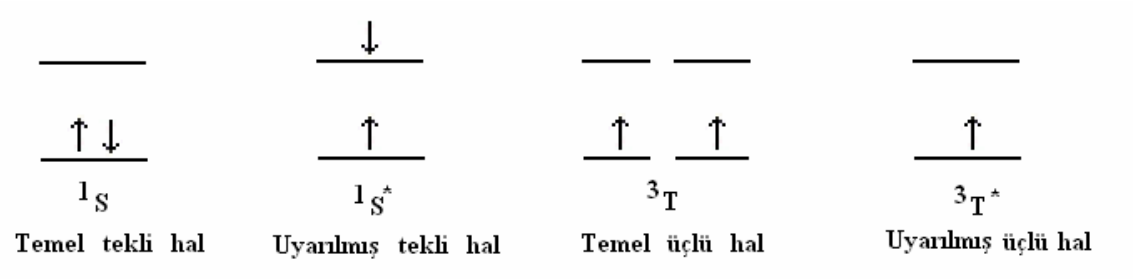
Burada A soğurma, C çözelti konsantrasyonu (mol/l), L ışığın çözelti içinde kattetiği yol (cm) ve ε molar soğurma katsayısı (l/mol/cm) olarak verilir. Denk. (3.1) bağıntısı, tek dalgaboylu (monokromatik) ışık kullanımı durumunda, külçe (bulk) soğurmalı yapılar için geçerlidir. Çok modlu optik fiberlerin kullanıldığı sönen alan soğurmalı sensörlerde Beer-Lambert bağıntısından sapmalar söz konusudur [23, 51].

3.5.2. Yansıma (Reflectance)

Yansıma olayı, iki farklı ortamın ara yüzeyinde ortaya çıkar. Eğer algılamada kullanılacak ortam aşırı soğurucu ya da derişik ise, algılama, görünür bölgede ortamın renk değişiminin izlenmesi yoluyla yapılabilir. Bir dielektrik sınırdan aynamsı (veya spekular) ve difüz yansıma olarak iki tür yansıma söz konusudur. Aynamsı yansıma, herhangi bir iletimin söz konusu olmadığı, bir ortamın ara yüzeyinde meydana gelir ve normal Fresnel yansıma kurallarına uyar. Difüz yansımada ise ışık, kısmi olarak ortama girer, bir miktar soğurulma ve saçılmadan sonra yeniden ortamın yüzeyinde ortaya çıkar. Bu iki yansıma kavramı birbirini tamamlayıcıdır ve bir yansıma olayında her ikisi birden meydana gelir. Fakat algılama amacına uygun yansıma türü ikincisidir. Aynamsı yansımada diğer ortama bir giriş olmadığından, numuneye düşen ve dolayısıyla kimyasal numuneyle etkileşen ışık miktarını azaltır. Aynamsı yansıma, çözeltinin dikkatli hazırlanması, optik probun özenli tasarımıyla en aza indirilebilir veya tamamen ortadan kaldırılabilir.

3.5.3. Lüminesans

Bir atom veya molekülde elektronların en düşük enerjili orbitallere yerleşimi ile atom veya molekülün temel enerji düzeyi veya temel hali oluşur. Elektronların daha üst enerji düzeylerine yerleşmesi ile atom veya molekülün uyarılmış hali oluşur (Şekil 3.4.).

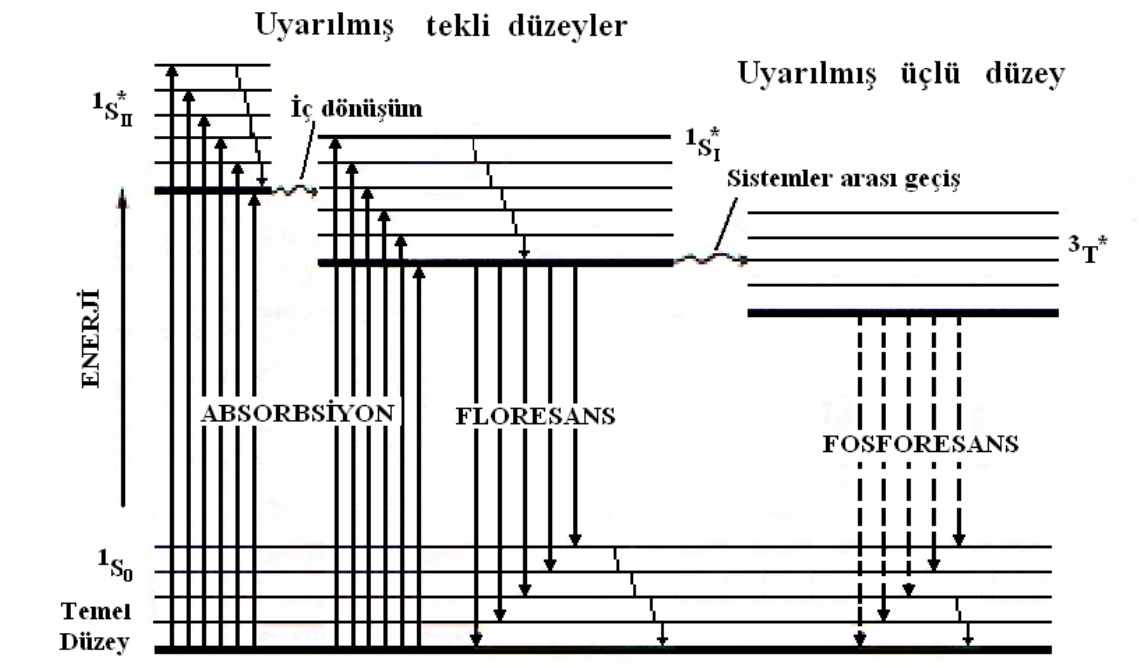


Şekil 3.4. Fotonların Ortam Tarafından Soğurulmasıyla Daha Yüksek Enerji Seviyelerine Yükselen Atomlar.

Uyarılmış bir atom veya molekül kararsızdır; fazla enerjisini atarak temel hale dönmek ister. Atom veya molekül temel enerji düzeyine dönerken fazla enerjisinin tümünü veya bir kısmını ışık şeklinde atabilir ve böylece sistemden bir ışık yayılması (ışık emisyonu) gözlenir. Bu ışık yayılması olayına genel olarak *lüminesans* denir. Bu materyaller genellikle kristal bir yapıya sahiptir. Lüminesans, farklı uyarılma yollarına göre adlandırılır. Fotolüminesans (fotonlar ile uyarma), katodolüminesans (elektronlar ile), kemilüminesans (kimyasal enerji ile), biyolüminesans ve tribolüminesans (mekanik enerji ile) farklı floresans işlemlerine örnektir [52].

Şekil 3.5.'de gösterildiği gibi uyarılmış bir tekli sistemden temel haldeki tekli bir sisteme geçiş sırasında yayılan ışığa floresans denir. Uyarılmış bir üçlü sistemden temel haldeki tekli bir sisteme geçiş sırasında yayılan ışığa fosforesans denir [53]. Uyarılma ortadan kalkınca floresans olayı son derece hızlıdır ve uyarımdan sonra 10^{-10}-10^{-6} s içinde meydana gelir; fosforesans ise 10^{-6}-10^{2} s gibi daha uzun bir sönüm zamanına sahiptir ve uyarma kaynağının kalkmasından sonra devam eder. Frekansların farklı olmasıyla, hem uyarıcı ışığın, hem de flüoresan ışığın optik filtrelerle ayrılarak tek bir fiber vasıtasıyla iletilebilmesi ve algılanan lüminesans radyasyonun dalga boyunun, gelen radyasyonun dalga boyundan ayrılabilir şekilde farklı olması, bu metodu fiber

optik sensörler için oldukça uygun hale getirir. Lüminesans olayına dayanan sensördeki sensör çıkışı konsantrasyonla doğru orantılıdır [51,54].



Şekil 3.5. Jablonski Diyagramı; Soğurma, Floresans Ve Fosferesans Işık Yayılmalarının Gösterimi.

3.5.4. Saçılma (Scattering)

Saçılma, en genel ifadeyle, fotonun örnekteki parçacıklara çarparak rasgele yön değiştirmesi olarak tanımlanabilir. Işığın saçılması, soğurma ve lüminesanstan farklı olarak, atomlardaki veya moleküllerdeki kuantumlu enerji seviyeleri arasında enerji geçişleri içermez. Işık sinyali, fiber kablo içinde herhangi bir düzensiz bölgeye gelirse saçılıma uğrar ve saçılıma uğramış sinyal o bölge tarafından emilerek ilerlemesi engellenebilir. Görünür bölge ışıması kullanıldığında, kolloidal ve bulanık çözeltilerde gözlenen saçılma, *Tyndall saçılması*dır (literatürde *mie saçılması* olarak da geçer). Işığın çözünmüş moleküller veya çok atomlu iyonlardan saçılması Rayleigh saçılmasıdır. Bu saçılımda fiber içindeki ışık, fiberi oluşturan cam atomları ile etkileşir. Işık dalgaları atomlarla esnek çarpışma yapar ve ışık dalgası saçılıma uğrar. Eğer ışık saçılımdan sonra tam kırılması sağlayan açıdan daha büyük bir açıyla çepere çarparsa, fiber kabloyu terk eder ve radyasyonla kaybolur. Parçacıklarla etkileşen dalga boyunun,

ışığı saçan moleküllerin titreşim enerji düzeylerine göre değiştiği saçılma türü de *Raman saçılması*dır [51].

Raman gibi elastik olmayan saçılma süreçleri, fiber içerisine gönderilen ışık ile ortamın moleküler yapısında ortaya çıkan titreşimsel moleküler modlar arasındaki etkileşimin bir sonucu oluşmaktadır. Saçılma, fotonlar ile açıklanabilen bir enerjiye sahiptir. Bu süreçte, gönderilen ışık fotonunun enerjisinde bir değişme olmaktadır, bu değişim hem enerji kaybı hem de enerji alma biçimindedir [55].

4. BÖLÜM

FİBER OPTİK YÖNTEMLE TUZLU İÇERİK ALGILANMASI

4.1. Deneysel Çalışmanın Amacı

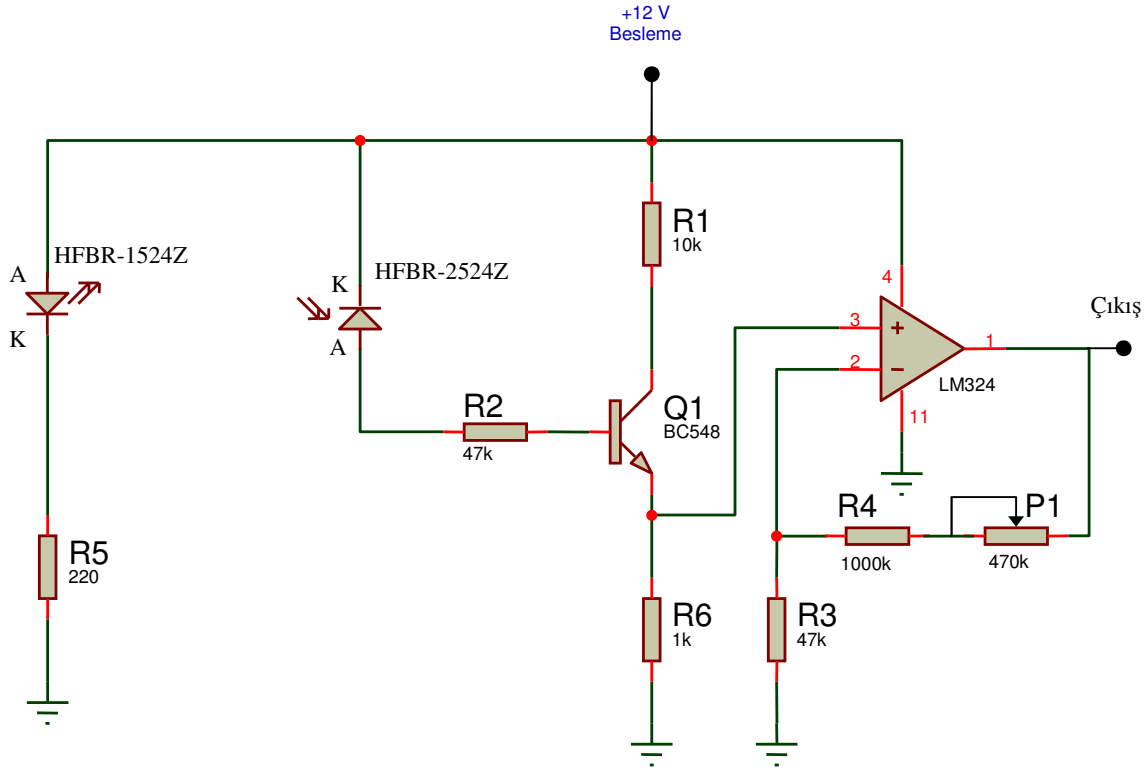
Uzaktan algılama, kesintisiz izleme ve tam otomatik kontrol, bir prosesin ucuz, hızlı ve güvenli bir şekilde yerine getirilmesinde endüstrinin gereksinim duyduğu en önemli üç işlemdir. Tam otomatik kontrol, klasik (oransal, oransal-derivatif-integratif gibi) veya modern (bulanık mantık) kontrol teknikleriyle, fakat, sadece doğru ve güvenilir bir ölçme ile gerçekleştirilebilir. Kontrol süreçlerinin çoğunda uzaktan algılama, alışılmış olarak elektriksel tabiatlı sensörlerle yapılmakta ve elde edilen modüleli işaret metal iletkenlerle taşınmaktadır. Fiber optik sensörlerle kimyasal özellikleri algılamanın doğru, işaret iletiminin ise güvenli olarak yapılabileceği araştırmacılar tarafından ifade edilmiş, bir çok kimyasal parametrenin belirlenmesinde kullanılan fiber optik kimyasal sensör rapor edilmiştir [56-58].

Çeşitli kimyasal özellikleri algılamak, bir tepkimeyi veya prosesi izlemek için değişik yöntemler bulunmasına rağmen, fiber optik sensörler uygulamada gelecek vaat eden sensör grubu olarak öne çıkmaktadır. Bu yüzden, bu bölümde, öncelikle bir fiber optik sensörün, sensör tepkisinin belirlenmesi için bir devre tasarlanmış ve yeni bir fiber optik sensör modeli ile deneysel ölçüm sonuçları verilmiştir.

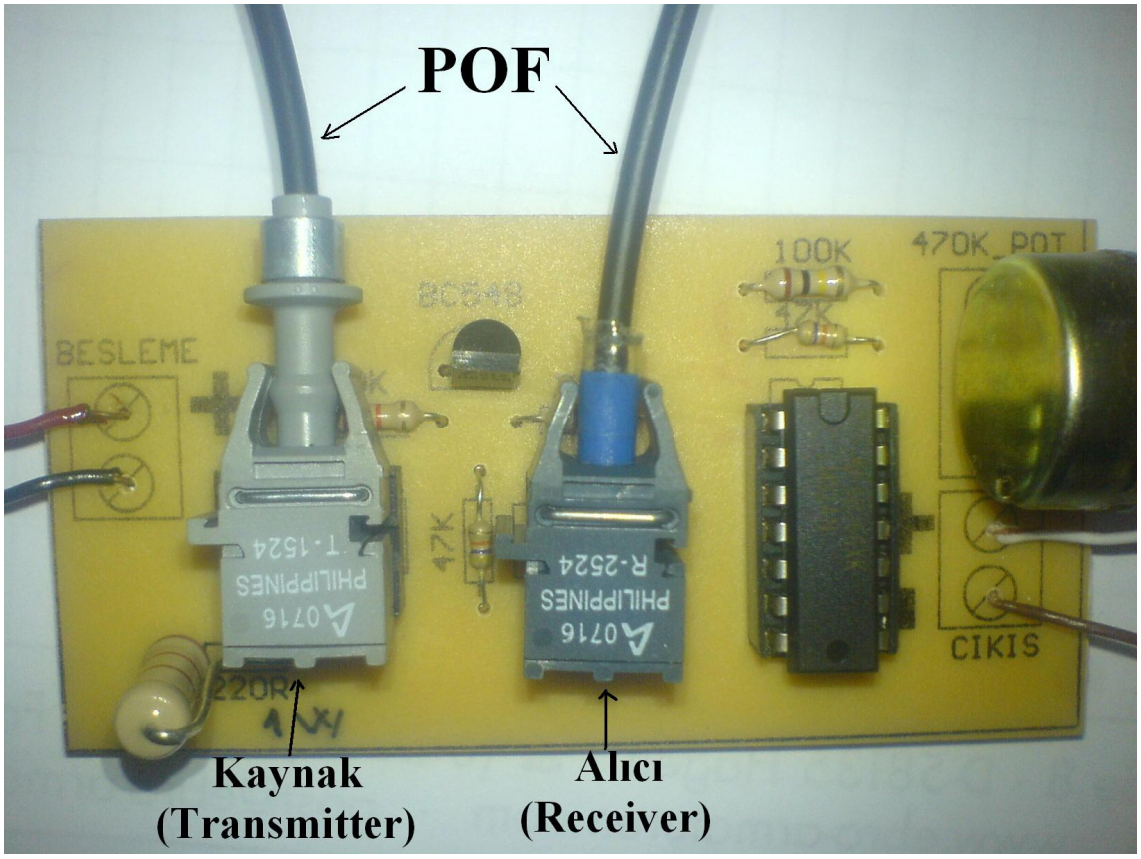
İçme suyunda algılanacak tuzlu içeriğin algılanması için tasarlanan optik sistem bu bölümde sunulmuştur. Deneysel çalışmalarda algılanmak üzere, farklı derişimlerde $CaCl_2$, KCl, $MgCl_2$, NaCl tuz çözelti numuneleri hazırlanmıştır.

4.2. Fiber Optik Ölçüm Düzeneği

Şekil 4.1.'de gösterilen devrede HFBR-1524Z ile gösterilen devre elemanı optik kaynak (transmitter) ve HFBR-2524Z ile gösterilen eleman detektör olarak kullanılmıştır. Bu iki elemanın arasında hem algılama hem de iletim ortamı olarak plastik optik fiber (POF) bulunmaktadır. Optik kaynak, uygun konnektörle fibere, fiber de detektöre kuple edilmiştir. Şekil 4.1.'de gösterilen devrenin uygulamadaki fotoğrafı Şekil 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Deney Düzeneğinde Kullanılan Elektronik İşaret İşleme Devresi.

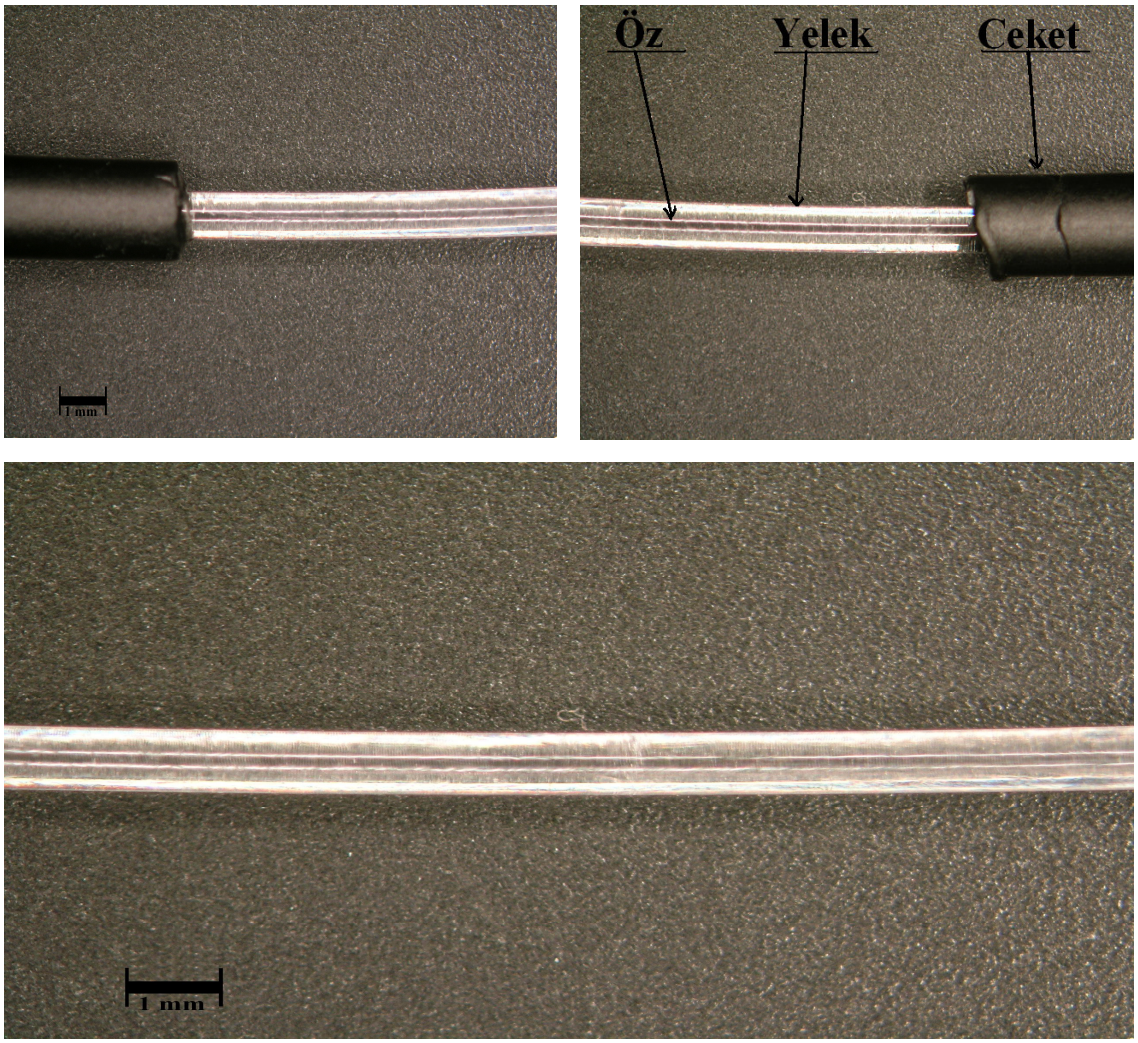


Şekil 4.2. Uygulamalarda Kullanılan Ölçü Devresi.

4.3. Algılama Bölgesinin Hazırlanması

Uygulamalarda kullanılan devrede algılama bölgesi ve dalga kılavuzu olarak POF kullanılmıştır. POF malzemesinin, ucuzluk, kuplaj kolaylığı, kolay bulunabilirlik, içme suyuna temas eden bölgelerde herhangi bir kimyasal etkileşim oluşturmama gibi özelliklerinden dolayı tercih sebebi olmuştur.

Fiber algılayıcı devre elemanı olarak kullanılırken öncelikle ceket kısmı soyularak çıkartıldı (Şekil 4.2.'de siyah renkli kaplama). Bu aşama optik iletimde kayıplar olmaması için ve optik fiberin yelek ve öz kısmına zarar verilmeden özel fiber kesme cihazlarıyla ceket kısmı çıkarıldı. Domino Elektronik San. ve Tic. Ltd. Şti.'nde gerçekleştirilen ceket kısmı sıyırma işleminde, network elemanlarının konnektörlerini sıkmak ve optik fiberi pürüzsüz kesmek için yararlanılan sıkma pensi (crimping tool) aleti farklı bir uygulama olarak POF malzemenin ceket kısmını sıyırmak için kullanıldı. POF yelek sıyırma aşamasına geçmeden önceki fotoğrafı Şekil 4.3.'te gösterilmiştir.

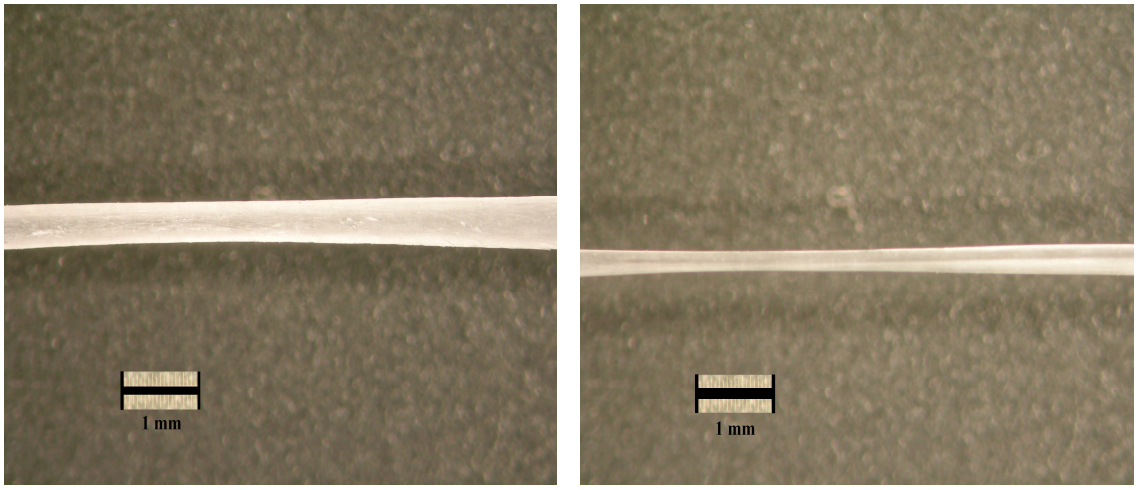


Şekil 4.3. Kullanılan POF Yelek Sıyrılmadan Önceki Gösterimleri.

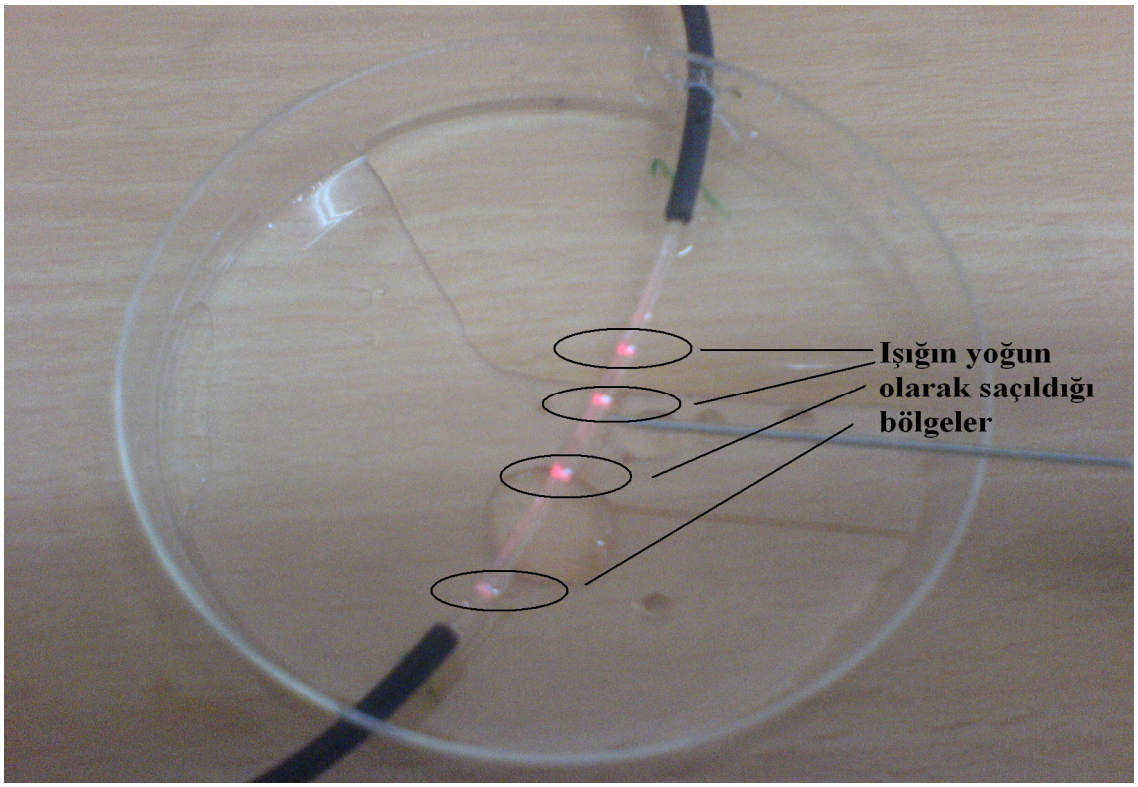
Optik fiberin ceketinin çıkarılmasından sonraki aşama olan yelek sıyırmada zımpara kullanılarak yelek mekanik olarak inceltildi. Bu aşamada optik fiberin zarar görüp görmediğini test etmek için, sonraki durum başlangıçtaki iletim karakteristiği ile karşılaştırıldı.

Son aşama olan sensör bölgesinin oluşturulması için, fiber yumuşama sıcaklığına kadar ısıtıldı ve çekildi (Şekil 4.4.). Böylece fibere konik bir yapı kazandırılarak yelek gücünün artması sağlandı. Tasarlanan sensör, sönen alan saçılması prensibine dayandığı için bu aşama çok önemlidir. Şekil 4.5.'deki fotoğrafta görüldüğü gibi kaynaktan gelen işaretin algılama bölgesinde saçılmaya uğradığı ve optik fiberin sensör olarak

kullanılabileceği gözlemlendi. Böylece devrenin algılama bölgesi hazırlama aşaması tamamlanmış oldu.



Şekil 4.4. Kullanılan POF Yelek Sıyrıldıktan Sonraki Gösterimleri.



Şekil 4.5. Optik Fiberin Sensör Olarak Kullanımı.

4.4. Ölçülecek Numunelerin Kırılma İndisleri Tayini

Tablo 4.1.'de, bu çalışmada kullanılan ortamların kırılma indisleri verilmiştir;

Tablo 4.1. Genel Kırılma İndisleri (n)

Malzeme	n
Hava	1.0003
Su	1.33
Optik Fiber Yeleği	1.46
Optik Fiber Özü	1.48

Ölçüm amacıyla kullanılan tuzlu çözeltilerin kırılma indisleri de belirlenmiştir. Bu amaçla, Erciyes Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilen ölçmelerin sonuçları Tablo 4.2.-4.5.'de verilmiştir. Tablolar incelendiğinde, kırılma indislerinin belli bir derişime kadar sabit kaldığı, yüksek derişimlerde ise bir miktar arttığı görülmektedir.

Tablo 4.2. $CaCl_2$ Çözeltisi Kırılma İndisleri Tayinleri.

Derişim (mg/l)	n
10	1,3320
25	1,3320
50	1,3320
100	1,3320
250	1,3320
500	1,3320
1000	1,3330

Tablo 4.3. KCl Çözeltisi Kırılma İndisleri Tayinleri.

Derişim (mg/l)	n
1	1,3320
5	1,3320
25	1,3320
50	1,3320
100	1,3320
1000	1,3330

Tablo 4.4. MgCl Çözeltisi Kırılma İndisleri Tayinleri.

Derişim (mg/l)	n
10	1,3320
25	1,3320
50	1,3330
100	1,3330
250	1,3330
500	1,3330
1000	1,3330

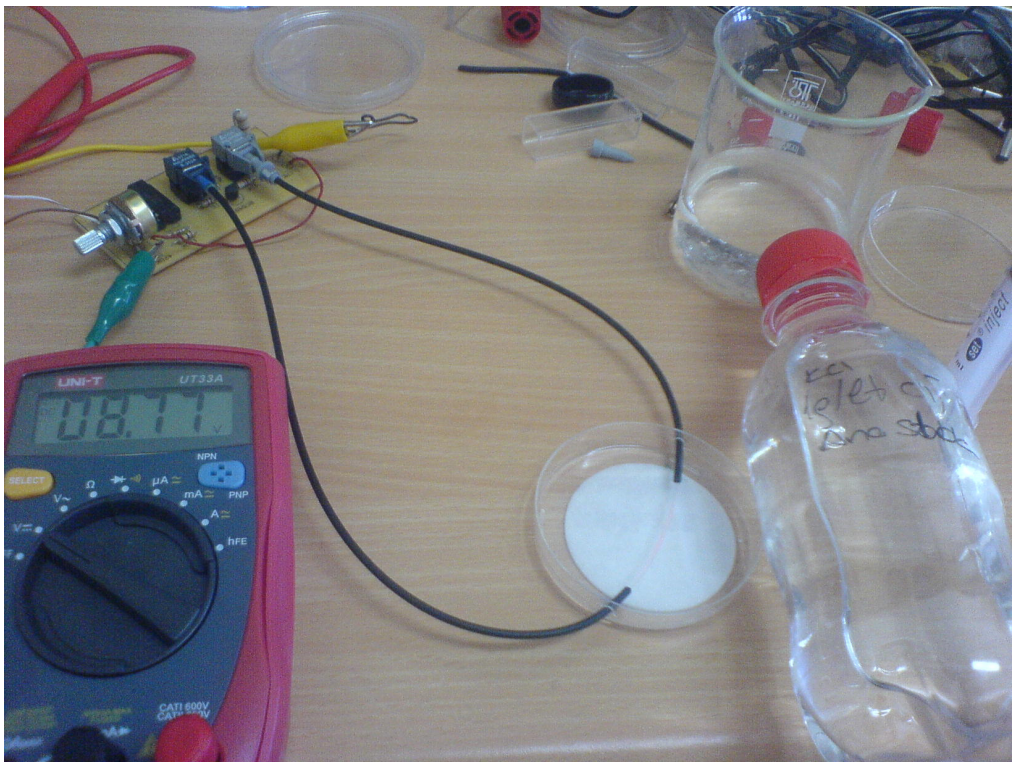
Tablo 4.5. NaCl Çözeltisi Kırılma İndisleri Tayinleri.

Derişim (mg/l)	n
25	1,3320
50	1,3320
125	1,3320
250	1,3330
500	1,3330
1000	1,3330
5000	1,3341

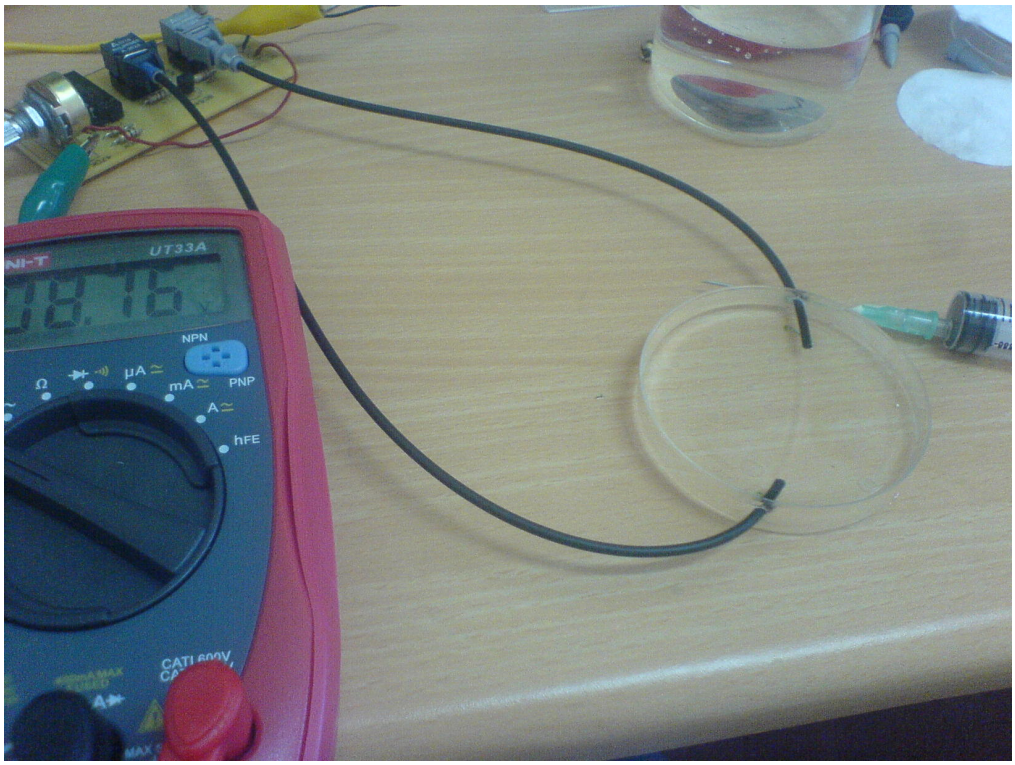
4.5. Fiber Optik Yöntemle Yapılan Tuzlu Çözelti Ölçümleri

Kırılma indisleri çıkarılan farklı derişimdeki tuz çözeltilerinin deney düzeneğinde ölçülmesi aşamasına geçmeden sıcaklık ve basınç gibi dış etkenlerin önüne geçilmesi için aynı sıcaklıkta günün aynı saatlerinde denemeler gerçekleştirildi. Şekil 4.6.-4.8.'de ölçüm ve ölçümlere hazırlık aşamalarından kesitler gösterilmiştir. Şekil 4.6.'da deney düzeneğiyle yapılan numune ölçümleri için hazırlık, Şekil 4.7.'de deney düzeneğinin yeni ölçümler için distile suyla temizlenmesi, Şekil 4.8.'de ise deney düzeneğinin temizlenmesi ve kurutulması aşaması işlemleri yapılmıştır. Algılama bölgesinde ölçümler sırasıyla; numunelerin tek tek ölçüm kabına yerleştirilmesi, kalıntı tuzun kaptan atılması için distile edilmiş saf suyla kabın yıkanması ve kurutulmanın yapılması ve tekrar yeni numune kullanımı şeklinde olmuştur. İşlemler boyunca deney düzeneği çıkışından sensör cevapları alınmış ve not edilmiştir.

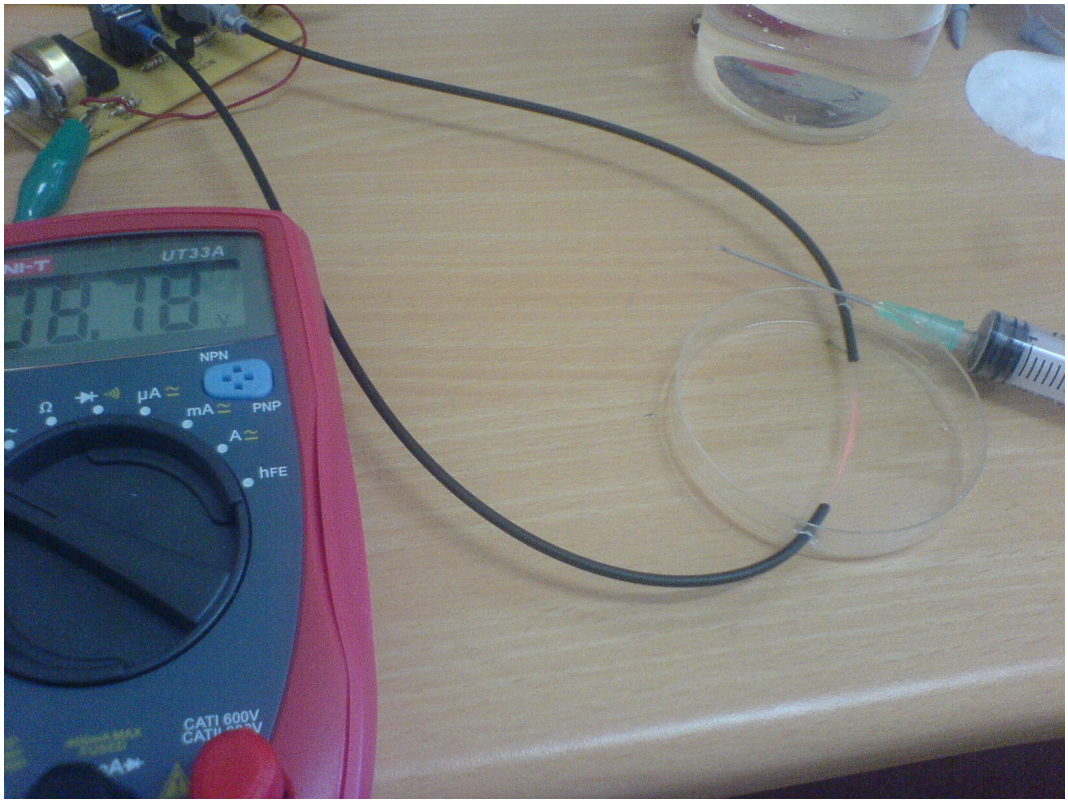
Ölçüm sonuçlarının sarsıntı, kayma, titreme gibi etkilerden değişmemesi için düzenek masaya sabitlenmiş ve şırınga ile yerinde temizlenmiştir.



Şekil 4.6. Deney Düzeneğiyle Yapılan Numune Ölçümleri İçin Hazırlık.



Şekil 4.7. Deney Düzeneğinin Yeni Ölçümler İçin Distile Suyla Temizlenmesi.



Şekil 4.8. Deney Düzeneğinin Temizlenmesi ve Kurutulması Aşaması.

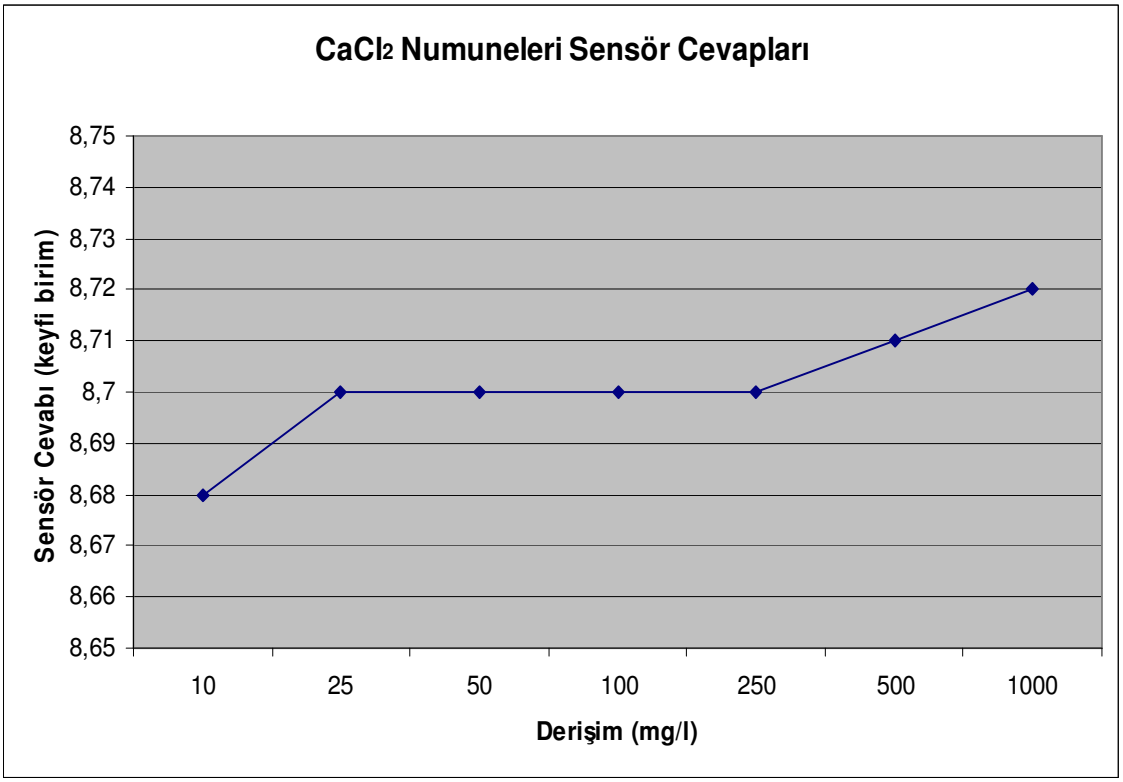
Şekil 4.6.'da deney düzeneği kurulup numunelerin ölçümü yapılmadan önceki hazır durum gösterilmiştir. Şekil 4.7.'de numune ölçümünden sonra kalabilecek tuzların ve partiküllerin şırıngayla distile su püskürtülerek algılama bölgesinden tamamen temizlenmesi sağlanmıştır. Şekil 4.8.'de ise distile sudan arındırma için temizlik ve kurutucu yardımıyla kurutulma işlemleri sırasıyla yapılıp yeni ölçümler öncesindeki son adım gerçekleştirilmiş olur.

Deney aşamalarını gösteren resimlerde algılama bölgesindeki saçılma gözle görülür şekildedir (Şekil 4.5. ve 4.8.). Optik kaynağın gücüne göre ve optik fiberin kaynağa uzak veya yakın tutulmasına bağlı olarak saçılma şiddetinin değiştiği görülmüştür.

POF malzemenin algılayıcı olarak kullanıldığı devre ile farklı derişiklerde tuz çözeltilerinin ölçülmesi işlemleri yapılmış ve bulunan sensör cevapları değerlendirilerek herbir numune için aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

4.5.1. $CaCl_2$ Numuneleri

Başlık 4.5.'te anlatılan adımlar kullanılarak $CaCl_2$ ölçümlerinin sonuçları Şekil 4.9.'da verilmiştir.



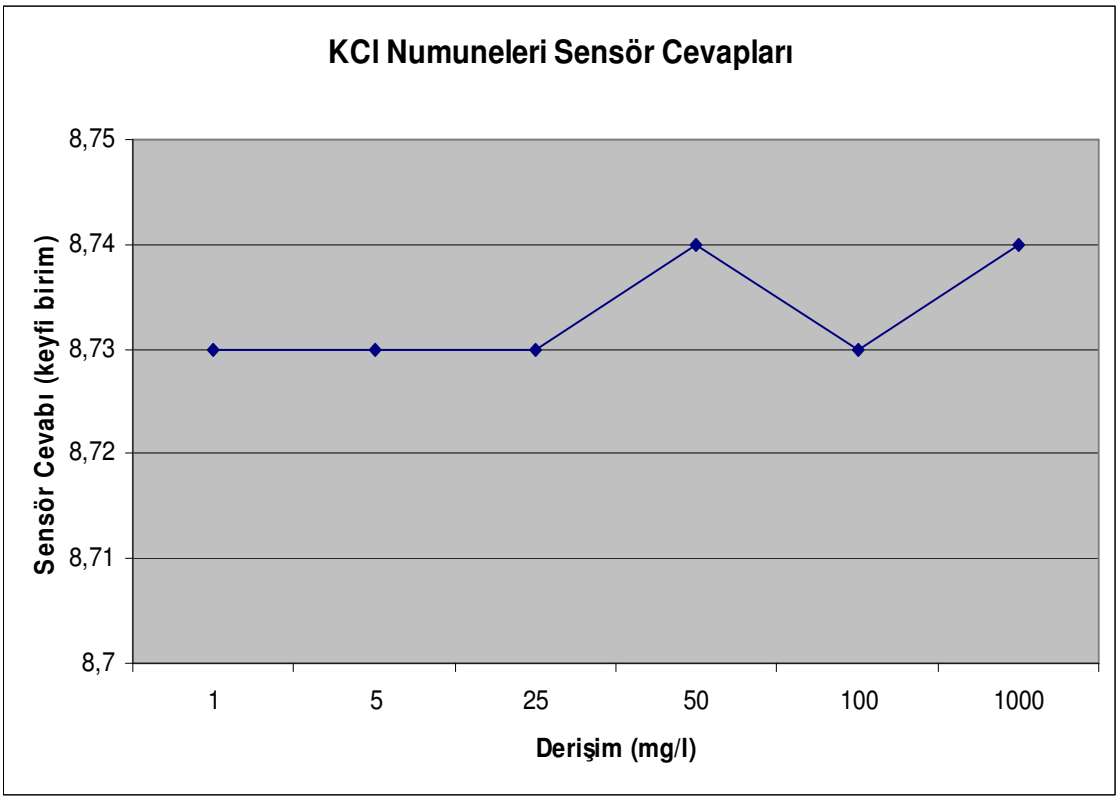
Şekil 4.9. $CaCl_2$ Numuneleri Sensör Cevapları.

Şekil 4.9.'a göre keyfi sensör cevabı 8.68 ile 8.72 arasında değişmektedir. Düşük derişimde sensör cevabı da düşüktür. Sensör cevabı şu şekilde açıklanabilir: Algılama bölgesinde saçılmalardan dolayı çıkışa ulaşan ışık şiddeti azalır. Devrenin işaret işlemesi artan derişimle sensör cevabı artacak şekilde ayarlandığından, ışık şiddetinin artması, sensör cevabının artması anlamına gelir. Artan derişimle sensör cevabı (bir bölge için sabit kalsa da) artmaktadır. Sensör cevabının azalması gerçekte sensör çıkışındaki ışık şiddetinin artması anlamına gelir. Cevabın artması da bunun tersi olarak anlaşılır.

$CaCl_2$ ölçmelerine bakıldığında, daha hassas bir optik düzenleme ile $CaCl_2$ algılamasının mümkün olduğu görülmektedir.

4.5.2. KCl Numuneleri

Başlık 4.5.'te anlatılan adımlar kullanılarak KCl ölçümlerinin sonuçları Şekil 4.10.'da verilmiştir.



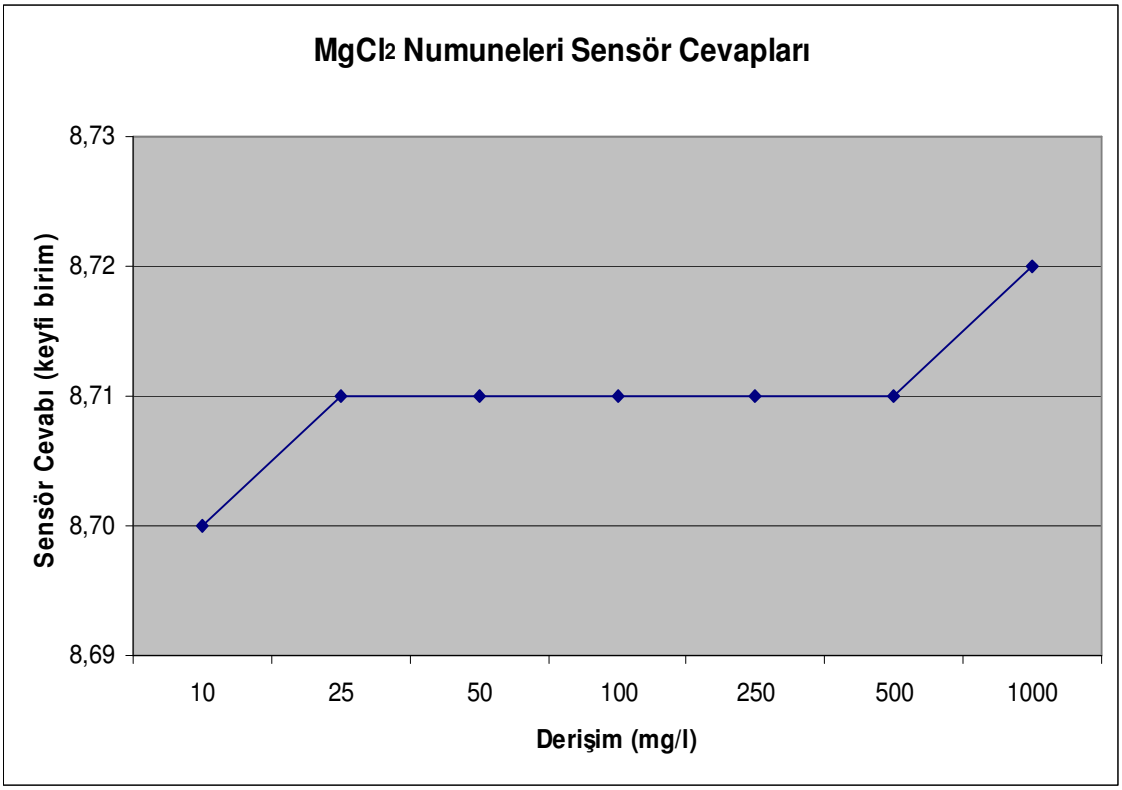
Şekil 4.10. KCl Numuneleri Sensör Cevapları.

Şekil 4.10.'a göre keyfi sensör cevabı 8.73 ile 8.74 arasında değişmektedir. KCl ile yapılan ölçüm sonuçlarına bakıldığında, kırılma indisleriyle sensör cevaplarının herhangi bir derişimde paralellik göstermediği gözükmektedir.

KCl Ölçüm sonuçlarına bakıldığında içme suyu için daha hasas bir düzenleme yapılsa dahi çözeltiyi tam olarak algılayamayacağı sonucu ortaya çıkmıştır. Sensör cevabın düzensizliği KCl tuzunun, belirlediğimiz aralıklarda içme suyunda izin verilen değerlerde algılamanın yapılamayacağını göstermiştir.

4.5.3. $MgCl_2$ Numuneleri

Başlık 4.5.'te anlatılan adımlar kullanılarak $MgCl_2$ ölçümlerinin sonuçları Şekil 4.11.'de verilmiştir.

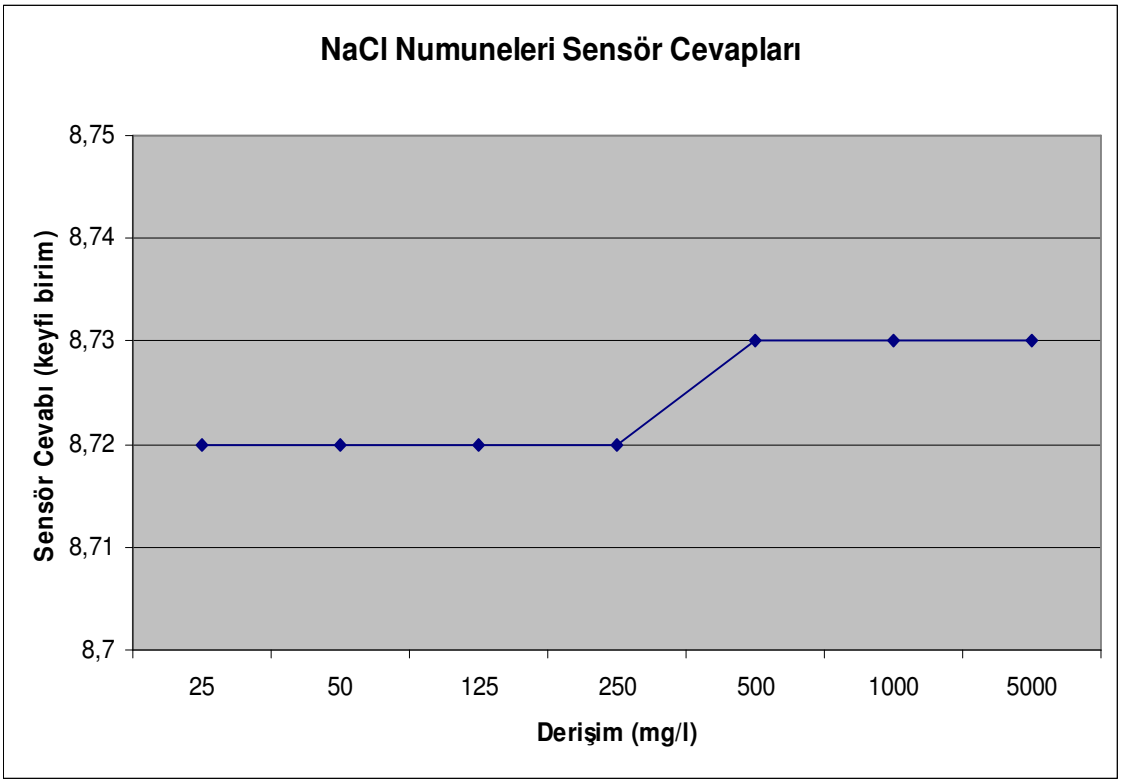


Şekil 4.11. $MgCl_2$ Numuneleri Sensör Cevapları.

Şekil 4.11.'e göre keyfi sensör cevabı 8.70 ile 8.72 arasında değişmektedir. Düşük derişimde sensör cevabı da düşüktür. Artan derişimle sensör cevabı (derişimin arttığı noktada sensör tepkisi olmamış olsa da) artmaktadır. Eldeki sonuçlara göre $MgCl_2$ çözeltisinin uygulanabilir bir sensör cevabı verdiği anlaşılmıştır.

4.5.4. NaCl Numuneleri

Başlık 4.5.'te anlatılan adımlar kullanılarak NaCl ölçümlerinin sonuçları Şekil 4.12.'de verilmiştir.



Şekil 4.12. NaCl Numuneleri Sensör Cevapları.

Şekil 4.12.'ye göre keyfi sensör cevabı 8.72 ile 8.73 arasında değişmektedir. Düşük derişimde sensör cevabı da düşüktür. Artan derişimle sensör cevabı (sensör cevabı artan derişime geç kalmış olsa da) belli bir noktadan sonra artmaktadır.

NaCl ölçmelerine bakıldığında, daha hassas bir optik düzenleme ile NaCl algılamasının mümkün olabileceği görülmektedir (Bu işlem için algılama bölgesinin yeniden düzenlenmesi bir çözüm olabilir). Ayrıca 5000 mg/l'lik derişimde denemesi yapılan tuzun yüksek değerlerinde bile sensör cevabının değişmediği Şekil 4.12.'de gösterilmektedir. Eldeki sonuçlara göre NaCl çözeltisinin zayıf bir sensör cevabı verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

5. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında fiber optik yöntemle içme suyunda tuzlu çözelti algılaması yapılmıştır. Doğrudan, pratik ve ucuz olması bakımından kullanılan algılama mekanizması saçılma esaslı olan yöntem üzerinde çalışılmıştır. Ortaya çıkan sensör sönen alan saçılması esaslı bir fiber optik sensördür.

Fiber algılama bölgesi, çözelti ile saçılmayı geliştirilecek şekilde, zımpara ile mekanik olarak aşındırılarak inceltilmiş ve ısıtılarak çekilmiştir. Bu şekilde fiber yeleğine giden güç miktarı artırılmaya çalışılmıştır. Tasarlanan basit ve pratik düzenleme ile farklı derişimlerdeki $CaCl_2$ ve $MgCl_2$ çözeltilerinin algılanmasının mümkün olabileceği görülmüştür. Aynı düzenleme ile NaCl çözeltisinde zayıf bir sensör cevabı elde edilirken KCl algılamanın mümkün olmadığı sonucuna varılmıştır.

Sensör cevaplarının tam otomatik kontrol uygulanabilmesi için tasarlanan prototipin geliştirilmeye ihtiyacı vardır. Örneğin algılama bölgesinin daha iyi hazırlanması, fiberin bükülmesi/burulması, daha hassas bir elektronik işaret işleme devresinin tasarlanması sensör cevaplarının kullanılabilirliğini artıracaktır. Sensör cevaplarının geliştirilebilmesi için bir diğer çözüm de fiber özünün etrafına ilgilenilen çözeltilerin indikatörünün tutturulmasıdır. Bu şekilde tuzlu çözeltilerin zayıf modülasyon yetenekleri geliştirilebilir. Fakat tuz çözeltilerin indikatörlerinin radyoaktif malzeme olması sebebiyle, algılama yapılırken az da olsa radyoaktif olarak suyu kirleteceği endişesiyle bu yola başvurmaktan kaçınılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Http://www.cevreorman.gov.tr/yasa/y/25687.doc.
2. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çed ve Planlama Genel Müdürlüğü, ”Türkiye Çevre Atlası” Http://www.cedgm.gov.tr/cevreatlasi.htm, 2004.
3. Harbili U., Organik kirleticilerin sudaki adsorpsiyonunun incelenmesi, Kimya Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-10, 17-28, 2007.
4. Yu, F.T.S., Yin, S., Fiber optic sensors, Marcel Dekker, New York, 2002.
5. Grattan, K.T.V., Meggit, B.T., Optical fiber sensor technology, 2-Devices and technology, Chapman &Hall, London, 1998.
6. Grattan, K.T.V., Meggit, B.T., Optical fiber sensor technology, 3-Application and systems, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1999.
7. Marazuella, M.D., Moreno-Bondi, M.C., Fiber-optic biosensors-an overview, Anal. Bioanal. Chem. 372, 664-682, 2002.
8. Zhang, Z.Y., Grattan, K.T.V., Commericial activity in optical fiber sensors, Optical fiber sensor technology Vol 3-Application and systems, (Grattan, K.T.V., Meggit, B.T., Eds.), Kluwer Academic Publishers, Boston, 257-306, 1999.
9. Orellana, G., Moreno-Bondi, M.C., From molecular engineering of luminescent indicators to environmental analytical chemistry in the field with fiber optic (bio)sensors, The 15th Optical Fiber Sensors Conference Technical Digest, Portland. OR, USA, 115-118, 2002.
10. Golnabi H., Design and operation of a fiber optic sensor for liquid level detection. Opt Lasers Eng., 41, 801–12, 2004.
11. Allard FC. Fiber optics handbook for engineers and scientists. New York, McGraw-Hill Pub. Comp., 1990.
12. Emmanuel B, Serge HG, Gilbert B. Loss compensated fiber-optic displacement sensor including a lens., 28, 419, Appl Opt., 1989.
13. Lau KS, Wong KH, Yeung SK. Fiber optic sensors for laboratory measurements. Eur J Phys 13, 227–35, 1992.
14. Takeo T., Hattori H., Optical fiber sensor for measuring refractive index. Jpn J Appl Phys 21, 1509–12, 1982.

15. Arregui, F.J., Galbarra, D., Matias, I.R., Cooper, K.L., Claus, R.O., ZrO_2 thin films deposited by the electrostatic self-assembly method on optical fibers for ammonia detection, The 15th Optical Fiber Sensors Conference Technical Digest Portland OR, USA, 265-268, 2002.
16. Webb. D.J., Hathaway. M.W., Jackson, D A., Jones, S., Zhang, L., Bennion, I., First in-vivo trials of a fiber brags grating based temperature profiling system, J. Biomed Opt., 5 (1), 45-50, 2000.
17. James, S.W., Rees, S.W., Tatam, R.P., Ashwell, G.J., Optical fiber long period gratings with thin film overlays, The 15th Optical Fiber Sensors Conference Technical Digest Portland. OR, USA, 119-122, 2002.
18. Allsop, T., Webb, D.J., Bennion, I., A high sensitivity long period grating Mach-Zender refraktometer, The 15th Optical Fiber Sensors Conference Technical Digest, Portland, OR, USA, 123-126, 2002.
19. Kim, S., Jeong, Y., Kwon, J., Park, N., Lee, B., Control of the characteristics of a long period grating by cladding etching, Appl.Opt. 39 (13), 2038-2042, 2000.
20. Blue, R., Stewart, G., Fibre-optic evanescent wave pH sensing with dye-doped solgel films, International Journal of Optoelectronics, 10, 211-222, 1995.
21. Blue R., Stewart, G., Optical pH sensor for alkaline region, Electronics Letters, 33, 526-528, 1997.
22. Egalon, C.O., Mendoza, E.A., Khalil, A.N., Lieberman, R.A., Modelling an evanescent field absorption optical fiber sensor, Optical Engineering, 34, 3583-3586, 1995.
23. Payne, F.P., Hale, Z.M., Deviation from Beer's law in multimode evanescent field sensors, International Journal of Optoelectronics, 8, 743-748, 1993.
24. Stewart, G., Culshaw, B., Optical waveguide modelling and design for evanescent field chemical sensors, Optical and Quantum Electronics, 26, 249-259, 1994.
25. Keiser, G., Optical fiber communications, Second Edition, New York, McGraw-Hill Inc, 1991.
26. Wilson, J. Hawkes, J.F.B., Optoelectronics an Introduction, Second Edition, New York, Prentice Hall, 1989.
27. Kasap, S.O., Optoelectronics and Photonics, First Edition, New York, Prentice Hall, 2001.

28. John. M.S., Optical Fiber communications, Prentice-Hall International, 62-73, 1985.
29. Bates, Regis J., Basic Fiber Optics Technologies, McGraw-Hill Professional, 2001
30. Yariv, A., Optical Electronics in modern communications, Oxford University Press, New York, 76-120, 1997.
31. Ozsoy. S., Fiber Optik, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1998.
32. Agrawal. G.P., Fiber Optic Communication Systems, Wiley Interscience Publications, Canada, 22-26,57-60, 1992.
33. Tomasi, W., Elektronik İletişim Teknikleri, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 1997.
34. Tomasi, W., Advanced Electronic Communications Systems, Prentice Hall. New York, 357-386, 1992.
35. Gibson, J.D., The Communication Handbook, CRC Press, New York, 61-63, 2002.
36. Mahlke. G., Gössing P., Fiber optic cables fundamentals, cable engineering. system planning; SiemensAG., Munich, 26-30, 69-73, 1993.
37. Peter, K.C., Fiber Optics and Optoelectronics, Prentice Hall International Editions, USA, p23-32,42-60, 105-114, 1990.
38. Yeh, C., Handbook of Fiber Optics, Academic Press, San Diego, 53-62, 1990.
39. Franz, J.H., Optical Communications, Alpha Science International Ltd.. Pangbourne-UK, 99-147, 2000.
40. Everett, H. R., Sensors for mobile robots: theory and applications, A. K. Peters Ltd, 1995.
41. Fraden, J., Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs and Applications, 2nd edition, AIP Press-Springer, 1996.
42. David, D. J., Willson, M. C., Ruffin, D. S., Direct measurement of ammonia in ambient air, Anal. Lett. 9, 389, 1976.
43. Scheggi A.M., Baldini, F., Chemical sensing with optical fibres, Intern. J. Optoelectr. 8 (2), 133 , 1993.
44. Wolfbies, O.S., Fiber Optic Chemical Sensors and Biosensors, CRC Press, Boca Raton, Fl, USA, I-II, 1991.
45. Wolfbies, O.S., Dakin J., Culshaw B. Chemical sensing using indicator dyes in optical fiber sensors. Application, analysis, and future trends, IV, Artech House, Norwood MA, 1997.

46. Martellucci, S. Optical Sensors and Microsystems: New concepts, materials, technologies. Hingham, MA, USA: Kluwer Academic Publishers, 159-183, 2002.
47. Egami, C., Takeda, K., Isai, M., Ogita, M., Evanescent-wave spectroscopic fiber optic pH sensor, Optics Communications, 122-126, 1996.
48. Egami, C., Suzuki, Y., Sugihara, O., Fujimura H., Okamoto, N., Wide Range pH fiber sensor with congo-red- and methyl-red-doped poly (Methyl Methacrylate) Cladding, Jpn. J. Appl. Phys., 36, 2902-2905, 1997.
49. Daniel V. L., Detection of microorganisms and toxins with evanescent wave fiber-optic biosensors, Proceeding of the IEEE, 91, 6, 902-907, 2003.
50. Maraldo, D., Shankar, P.M., Mutharasan, R., Measuring bacterial growth by tapered fiber and changes in evanescent field, Biosensors and Bioelectronics , 1339–1344, 2006.
51. Janata, J., Josowicz, M., DeVaney, D.M., Chemical sensors, analytical chemistry, 66, 207R-228R, 1994.
52. Thomsen, K.J., Optically stimulated luminescence techniques in retrospective dosimetry using single grains of quartz extracted from unheated materials, Doktora Tezi, Riso National Laboratory, Roskilde, 17-41, 2004.
53. Skoog, D.A. Holler F.J., Nieman, T.A., Principles of instrumental analysis, 5th Edition, 1998.
54. Wolfbeis, O.S., Culshaw, B., Chemical sensing using indicator dyes, Optical Fiber Sensors, Artech House, Norwood, 3, 53-107, 1997.
55. Alahbabi M.N., Distributed optical fiber sensors based on the coherent detection of spontaneous Brillouin Scattering, Doktora Tezi, University of Southampton, Southampton, U.K. 2005.
56. Homola, J., Fibre optic sensor for adsorption studies using surface plasmon resonance, Proceeding of the SPIE, 2508, 324-333, 1995.
57. Stewart, G., Jin, W., Culshaw, B., Prospects for fibre optic evanescent-field gas sensors using absorption in the near-infrared, Sensors and Actuators B, 38-39, 42-47, 1997.
58. Edl-Mizaikoff, B., Götz R., Kellner, R., IR Fiber optic evanescent field sensors for gas monitoring, Proceeding of the SPIE, 2508, 253-264, 1995.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Kayseri'de doğdu. İlk öğrenimini Ahmet Paşa İlkokulu'nda, orta ve lise öğrenimini Kayseri Nuh Mehmet BALDÖKTÜ Anadolu Lisesi'nde tamamladıktan sonra 1999 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fak. Elektrik Elektronik Müh. Bölümünü kazandı ve 2003 yılında mezun oldu. Askerlik görevini yerine getirdikten sonra 2005 yılında Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Daha sonra KASKİ Enerji Otomasyon Müdürlüğünde SCADA Sor. Müh. olarak göreve başladı ve halen aynı görevi sürdürmektedir.

Adres :
Alparslan Mahallesi Bahar Caddesi
Bahar Sitesi A blok 18/23
Melikgazi/ KAYSERİ

Tel : 0 352 337 09 45
e-posta : selcuky@kaski.gov.tr