T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

KIRILMA İNDİSİ DEĞİŞİMİ ESASLI BİR TAŞINABİLİR OPTİK ALGILAYICI TASARIMI

Hazırlayan
Şekip Esat HAYBER

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU

Yüksek Lisans Tezi

Ağustos 2011
KAYSERİ

Yüksek Lisans Tezi Şekip Esat HAYBER Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı 2011

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

KIRILMA İNDİSİ DEĞİŞİMİ ESASLI BİR TAŞINABİLİR OPTİK ALGILAYICI TASARIMI

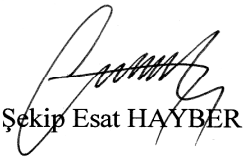
Hazırlayan
Şekip Esat HAYBER

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU

Bu çalışma; Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FBA-10-03 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Ağustos 2011
KAYSERİ

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.



Şekip Esat HAYBER

"**Kırılma İndisi Değişimi Esaslı Bir Taşınabilir Optik Algılayıcı Tasarımı**" adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Şekip Esat HAYBER

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU

Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR

Yrd. Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU danışmanlığında **Şekip Esat HAYBER** tarafından hazırlanan "**Kırılma İndisi Değişimi Esaslı Bir Taşınabilir Optik Algılayıcı Tasarımı**" adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

18 /08/2011

JÜRİ:

Danışman	:Yrd. Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU	.....
Üye	:Prof. Dr. Celal YILDIZ	.....
Üye	:Doç. Dr. İbrahim DEVELİ	.....

ONAY:
Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 06/09/2011 tarih ve 2011/30-09 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

06/09/2011

Prof. Dr. Necmettin MARAŞLI

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Gerek deneysel gerek teorik çalışmalarım süresince, farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalarım sırasında karşılaştığım zorlukları aşmamda yardımlarından dolayı Öğr. Gör. Sertan AYTAÇ, Öğr. Gör. Göktürk ÖZTÜRK'e ve deneysel çalışmalarımı gerçekleştirmek için gerekli laboratuvar imkânlarını sağlayan Prof. Dr. Ali İhsan KARAYİĞİT'e teşekkür ederim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince sabır göstererek beni, teknik anlamda ve manevi anlamda daima destekleyen biricik abim Ali Mutlu HAYBER'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Şekip Esat HAYBER

Kayseri, Ağustos 2011

KIRILMA İNDİSİ DEĞİŞİMİ ESASLI BİR TAŞINABİLİR OPTİK ALGILAYICI TASARIMI

Şekip Esat HAYBER
Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2011
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU

KISA ÖZET

Kırılma indisi maddenin kaynama noktası, erime noktası, yoğunluğu gibi fiziksel özelliklerinden birisidir. Tüm sıvıların ışığı kırma özelliği vardır ve bu o maddenin bir özelliğidir. Saf sıvı maddelerin kendisine özgü bir kırılma indisi vardır. Öte yandan karışımların da kırılma indisleri sabit bir sayıdır. Kırılma indisi belli olan bir sıvı içerisine katı veya sıvı başka bir madde karıştırıldığında, karışan madde miktarına bağlı olarak, karışımın kırılma indisi değişir. Bu özellikten yararlanarak, sonradan karışan madde miktarı ile kırılma indisindeki değişim arasında bir ilişki kurulabilir.

Bu tez çalışmasında, sıvı içerisinde safsızlık saptanmasında kullanılabilen, fiber optik temelli, taşınabilir bir algılayıcı tasarlanmıştır. Tasarlanan optik algılayıcı, bükülerek bobin haline getirilmiş plastik optik fiberler kullanır ve etkileştiği ortamdaki kırılma indisi değişimine duyarlıdır. Böylece, farklı kırılma indislerine sahip olan ve birbirleri içerisinde karışan veya çözünen sıvı-sıvı ve sıvı-katı karışımlarının ortalama karışım oranlarını belirlemek mümkün hale gelir.

Ayrıca tasarlanan algılayıcının, istenildiğinde, fiber optik kablolarla uzatılarak, algılama yapılacak ortamdan uzak bir mesafede de çalışabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Algılama; Plastik Optik Fiber; Kırılma İndisi; Bükülme Kayıpları.

DESIGN OF A PORTABLE OPTIC SENSOR BASED ON REFRACTIVE INDEX CHANGE

Şekip Esat HAYBER
Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
M.Sc. Thesis, August 2011
Supervisor: Assist. Prof. Ömer Galip SARAÇOĞLU

ABSTRACT

Refractive index is one of the physical features of an element like boiling and melting points and density. All liquids have the feature that refracts the light and this is a unique feature of that element. Pure liquid elements have a refraction index which is unique for it. Moreover mixed liquids including more than one liquid have a definite refractive index. When an element, solid or fluid, is mixed into a liquid whose refractive index is known, the refractive index of the mixture changes depending on the quantity of the element. Using this feature a relationship can be established between the mixed element quantity and refractive index change.

In this thesis a portable fiber optic sensor is designed to determine the impurity in a liquid. Designed optical sensor uses plastic optical fibers, converted into a coil by bending, and these fibers are sensitive to the change of the refractive index of the surrounding medium. So it is possible to define the mixing rates of the mixture, which can be fluid-fluid or fluid-solid and can be solved in one to another.

Moreover it has been shown that the designed sensor also can be used in far distances from the medium in which the measurement is made.

Keywords: Sensing; Plastic Optic Fiber; Refractive Index; Bending Losses.

İÇİNDEKİLER

KIRILMA İNDİSİ DEĞİŞİMİ ESASLI BİR TAŞINABİLİR OPTİK ALGILAYICI TASARIMI

Sayfa

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI iii
KABUL VE ONAY SAYFASI iv
TEŞEKKÜR v
KISA ÖZET vi
ABSTRACT vii
İÇİNDEKİLER viii
TABLOLAR LİSTESİ xi
ŞEKİLLER LİSTESİ xii
KISALTMALAR VE SİMGELER xiv

GİRİŞ 1

1. BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

1.1. Algılayıcılar 3
1.2. Literatür Çalışması 5

2. BÖLÜM

GIDA ANALİZLERİNDE FOTOMETRİK YÖNTEMLER

2.1. Gıda Analizleri 9

2.2. Refraktometrinin İlkesi 11
2.2.1. Refraktometrik Analizler 12
2.2.1.1. Nitel Analizler 12
2.2.1.2. Nicel Analizler 13
2.3. Süt ve Sütün Bileşimi 13
2.4. Sütün Kalite Kriterleri 16

3. BÖLÜM

FİBER OPTİKTE TEMEL KAVRAMLAR

3.1. Kırılma İndisi ve Işığın Kırılması 19
3.2. Optik Fiberde Işın İletimi 21
3.2.1. Bağıl Kırılma İndis Farkı 22
3.2.2. Kabul Açısı 23
3.2.3. Nümerik Açıklık 23
3.2.4. Normalize Frekans 23
3.3. İndis Profiline Göre Fiber Türleri 23
3.3.1. Basamak İndisli Fiberler 23
3.3.2. Gradyan İndisli Fiberler 24
3.4. Fiber Optik Kablolarda Kayıplar 24
3.4.1. Soğurma Kayıpları 25
3.4.2. Malzeme ya da Rayleigh Saçınım Kayıpları 26
3.4.3. Renk ya da Dalga Boyu Dispersiyonu 26
3.4.4. Yayınım Kayıpları 26
3.4.5. Modal Dispersiyon 26
3.4.6. Bağlaşım Kayıpları 27
3.5. Fiber Optik Algılayıcılar 27
3.5.1. Fiber Optik Algılayıcıların Sınıflandırılması 28
3.5.1.1. Pasif veya Dışta Etkileşimli (Extrinsic) Algılayıcılar 29
3.5.1.2. Aktif veya İçte Etkileşimli (Intrinsic) Algılayıcılar 29

4. BÖLÜM

YÖNTEM, MATERYAL ve ALGILAMA BÖLGESİNİN OLUŞTURULMASI

4.1. Algılama Sisteminin Tanımı 31
4.2. Fiber Optik Algılayıcı Bileşenleri 31
4.2.1. Optik Vericiler 32
4.2.2. Optik Alıcılar 33
4.2.3. Plastik Optik Fiberler 34
4.3. Fiber Bükülme Kayıpları 37
4.3.1. Bükülmüş Fiber İçin Yaklaşımlar 39
4.4. Algılama Yönteminin Geliştirilmesi 41
4.5. Algılama Bölgesinin Oluşturulması 42
4.5.1. Fiberlere Bobin Şeklinin Verilmesi 42
4.5.2. Fiberlerin Konektör ile Sonlandırılması 43
4.5.3. Fiberlerin Kuplaj Kayıplarını Azaltmak İçin Parlatılması 45
4.5.4. Uzaktan Algılama Denemesi İçin Fiber Kablolarının Hazırlanması 46
4.6. Algılama Sisteminin Tasarlanması 47

5. BÖLÜM

KIRILMA İNDİSİ DEĞİŞİMİ ESASLI ALGILAYICININ DENEYSEL ÇALIŞMASI

5.1. Algılamada Kullanılacak Uçların Seçimi 50
5.2. Süte Katılması Muhtemel Kimyasalların Sütteki Artışının Algılanması 51

6. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

SONUÇLAR ve ÖNERİLER 60
KAYNAKLAR 62
ÖZGEÇMİŞ

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Gıdalarda yapılan enstrümental analizlere örnek [36] 10
Tablo 2.2. Bazı maddelerin kırılma indisleri 12
Tablo 2.3. 100 gram sütün enerji ve besin değerleri 16
Tablo 2.4. İnek sütünün kimyasal özellikleri 18
Tablo 4.1. Fiber optik verici-alıcı çiftleri parça numaraları 34
Tablo 4.2. Uygulamada kullanılan fiberlerin elektriksel ve optik özellikleri [57] 36
Tablo 5.1. Uçların hava-su ortamındaki cevapları 51
Tablo 5.2. B-232 kodlu algılayıcı ucun sütteki hidrojen peroksit, formaldehit ve iki farklı oranda sodyum karbonat artışlarına cevapları 52
Tablo 5.3. B-233 kodlu algılayıcı ucun sütteki hidrojen peroksit, formaldehit ve iki farklı oranda sodyum karbonat artışlarına cevapları 55
Tablo 5.4. B-231, B-135 ve B-134 kodlu uçların sütteki formaldehit artışına verdikleri cevaplar 59

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Örnek % konsantrasyon-kırılma indisi grafiği 13
Şekil 3.1. Işığın kırılması 20
Şekil 3.2. a) Yelekli fiber yapı b) İdeal optik fiberlerde ışık iletimi [41] 22
Şekil 3.3. Fiberde kayıp mekanizmaları [46] 25
Şekil 3.4. Üç tip fiber optik algılayıcının şematik gösterimi 29
Şekil 4.1. Bir fiber optik algılayıcı yapısının genel gösterimi 32
Şekil 4.2. Fiber optik verici (transmitter) 33
Şekil 4.3. Fiber optik alıcı (receiver) 33
Şekil 4.4. Uygulamada kullanılan ceketsiz fiberler 35
Şekil 4.5. Çift yönlü ceketli yapı fiberler 36
Şekil 4.6. Plastik fiber konektör tipleri a) tekyönlü b) tekyönlü mandallı c) çift yönlü d) çift yönlü mandallı 37
Şekil 4.7. Birleştirici adaptör 37
Şekil 4.8. Bir fiber bükümünde radyasyon ile kayıp 38
Şekil 4.9. Bükülmüş fiber geometrisi 40
Şekil 4.10. Bükülmüş fiber için eşdeğer geometri 40
Şekil 4.11. Bükülmüş fiberin eğriliği 40
Şekil 4.12. Fiber bükümünde iki farklı ara-yüzey 41
Şekil 4.13. Algılama bölgesine göre detektöre ulaşan ışık miktarının değişimi [41] 42
Şekil 4.14. 3 mm'lik ceketsiz plastik fiberlerden oluşturulmuş algılama uçları 43
Şekil 4.15. Ceketsiz fibere ceketin giydirilmesi 44
Şekil 4.16. Fiberin konektöre yerleştirilmesi 44
Şekil 4.17. Fiber uçlarının zımparalanması 45
Şekil 4.18. Fiber uçlarının parlatılması 45
Şekil 4.19. Ceketsiz fiberlerden oluşturulmuş algılama uçları 46
Şekil 4.20. Uçların parametre değerleri 46
Şekil 4.21. a) Devrenin kutulama öncesi üstten, b) Kutulama sonrası arkadan, c) Önden ve d) Sabitleme aparatı ile bobin uçları görünüşleri 47
Şekil 4.22. a) Besleme katı b) Optik verici katı c) Optik alıcı katı d) Ölçüm ve şarj katı e) Yükselteç katı f) Soğutucu katı 49

Şekil 5.1. B-232 kodlu algılayıcının normalize cevabının a) % hidrojen peroksit b) % sodyum karbonat (%12,5) c) % formaldehit d) % sodyum karbonat (%25) miktarları ile değişimi 54

Şekil 5.2. B-233 kodlu algılayıcının normalize cevabının a) % hidrojen peroksit b) % sodyum karbonat (%12,5) c) % formaldehit d) % sodyum karbonat (%25) miktarları ile değişimi 57

Şekil 5.3. Algılamada kullanılan kimyasalların kırılma indisleri arasındaki sıralama ile algılayıcının cevapları arasındaki sıralama 58

KISALTMALAR ve SİMGELER

RF	Radyo Frekans
FOA	Fiber Optik Algılayıcı
ISA	Instrument Society of America; Amerika ölçüm topluluğu
AC	Alternative Current; Alternatif akım
DC	Direct Current; Doğru akım
HPLC	High Performance Liquid Cromatography; Yüksek performans sıvı kromatografisi
UV	Ultra Violet; Morötesi
NMR	Nuclear Magnetic Resonance; Nükleer manyetik rezonans
SH	Soxhelet Henkel
NA	Numerical Aperture; Nümerik açıklık
EM	Electro Magnetic; Elektromanyetik
LED	Light Emitting Diode; Işık yayan diyot
POF	Plastic Optic Fiber; Plastik optik fiber
LD	Laser Diode; Lazer diyot
PIN	Positive Intrinsic Negative
APD	Avalanche Photo Diode; Çığ etkili foto diyotlar
PCS	Plastic Clad Silica; Plastik yelekli silika fiberler
PCOF	Plastik Yelekli Optik Fiberler
PMMA	Poli Metil Metaklirit
B	Bobin
R	Response; Cevap
HP	Hydrogen Peroxide; Hidrojen peroksit
F	Formaldehyde; Formaldehit
SC	Sodium Carbonate; Sodyum karbonat
dB	Desibel sayısı
n	Kırılma indisi
c	Işığın vakumdaki hızı
v	Işığın ortamdaki hızı
θ_1	Geliş açısı

θ_2	Geçiş açısı
θ_c	Kritik açı
n_0	Havanın kırılma indisi
n_1	Fiber özünün kırılma indisi
n_2	Fiber yeleğinin kırılma indisi
θ_a	Kabul açısı
Δ	Bağıl kırılma indis farkı
V	Normalize frekans
λ	Dalga boyu
a	Fiber özünün yarıçapı
r	Fiber öz eksenine olan uzaklık
α	Profil parametresi
γ_b	Makro bükülme kaybı
R_C	Kritik bir eğrilik yarıçapı
R	Bükülme yarıçapı
δ	Enine yer değiştirme
D	Bükülmüş fiberin iki uç noktası arasındaki uzaklık

GİRİŞ

Gelişen teknolojiye paralel olarak algılayıcıların çeşitleri ve kullanıldığı sahalar hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu artışın bir sonucu olarak, algılayıcı teknolojisindeki araştırmalar ve gelişmeler son zamanlarda hız kazanmıştır. Algılayıcılar fiziksel ortam ile endüstriyel amaçlı elektrik-elektronik cihazları birbirine bağlayan bir köprü görevi görürler. Bu cihazlar endüstriyel süreçte kontrol, koruma ve görüntüleme gibi çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Günümüzde değişik amaçlar için üretilmiş, farklı ilkelerle çalışan çok sayıda algılayıcı türü ticari olarak bulunmaktadır. Mikro elektronik teknolojisindeki hızlı gelişmeler yeni uygulamaların geliştirilmesine de olanak sağlamaktadır.

Günümüzde, taşınabilir, hızlı tepki üreten, güvenilir, yüksek duyarlılıklı ve uzaktan algılamaya yatkın algılayıcıların tasarımına olan ilgi giderek artmaktadır. Bu özelliklere sahip olan fiber optik algılayıcıların, ayrıca, güvenlik, elektriksel izolasyon, elektromanyetik girişimden bağışıklık, RF yayınımı bakımından pasiflik, büyük bant genişliği, ağırlıkça hafiflik ve yüksek hassasiyet gibi avantajları sebebiyle de kullanımı her geçen gün artmaktadır [1].

Fiber optik algılayıcılar, bir girişi, elektriksel olarak yalıtkan bir ortam aracılığıyla taşıyarak optik ya da elektrik sinyale dönüştüren, ucuz, hassas ve anında cevap veren algılama sistemleridir. Optik algılayıcı teknolojisi, diğer geleneksel algılayıcılara göre belirgin avantajlar sağlar. Optik algılayıcıların bazı ilgi çekici özellikleri gerçek zamanlı gösterimleri, hızlı cevapları, geniş dinamik sahaları ve uzaktan erişimleridir. Sinyalin uzak mesafelere iletimi kolaydır. Yarı iletken malzemelerle entegrasyona izin verirler. Bu avantajlarından dolayı optik algılayıcılar, çoğu durumda daha fazla güvenilir ve emniyetlidirler. Fiber optik algılayıcılarda (FOA) çalışma esası, ışın demetinin bir parametresinin, ölçümü yapılacak olgu ile değiştirilmesi ilkesine dayanmaktadır. Ölçülecek parametre (sıcaklık, basınç, mekanik baskı, gerginlik, kırılma indisi gibi)

fiziksel, kimyasal veya biyolojik bir parametre olabilir. Modüle edilen optik işaretin özellikleri; güç, frekans, faz ve kutuplanma durumuna göre farklılık göstermektedir.

Bu tez çalışmasında, sıvı içerisinde safsızlık saptanmasında kullanılabilen, fiber optik temelli, taşınabilir bir algılayıcı tasarlanmıştır. Böylece, farklı kırılma indislerine sahip olan ve birbirleri içerisinde karışan veya çözünen sıvı-sıvı ve sıvı-katı karışımlarının ortalama karışım oranlarını, laboratuar ortamına taşımadan belirlemek amaçlanmıştır. Farklı sıvı (su, süt, benzin, yağ, kan, vb.) içeriklerinin analizleri, numunelerin tedarik edilip ölçüme hazırlanmasını gerektiren, analitik cihazlarla laboratuvar ortamında yapılmaktadır. Algılama öncesinde çok aşamalı hazırlıklar gerektirmeyen ve yerinde algılamaya izin veren bu tasarım konuyla ilgili yeni yaklaşımlar sunmaktadır.

Bu uygulamada fiber bükülme kayıplarından faydalanılmıştır. Bu amaçla, plastik optik fiberler kullanılarak, bükülmeyle hassasiyeti artırılmış ve etkileştiği ortamdaki kırılma indisi değişimine duyarlı bobin şeklinde uçlar tasarlanmıştır. Tasarlanan uçlar içerisinde taşınan optik sinyalin, ortamın kırılma indisine bağlı olarak genliğindeki değişmelerini algılayan bir alıcı devre yardımıyla sayısal değerlere çevrilmesi sağlanmıştır.

Yapılan ölçümlerle, inek sütü içerisinde bulunması olası, hilecilik maddeleri tespit edilmiştir. Süte katılması yasak olan formaldehit ve sodyum karbonat süt içerisinde aranmış ve ortalama % 2 konsantrasyondaki katkı algılanabilmiştir.

1. BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

1.1. Algılayıcılar

Algılayıcılar fiziksel ortam ile endüstriyel amaçlı elektrik-elektronik cihazları birbirine bağlayan bir köprü görevi görürler. Bu cihazlar endüstriyel işlem sürecinde kontrol, koruma ve görüntüleme gibi çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Günümüzde üretilmiş yüzlerce tip algılayıcıdan söz edilebilir. Mikro elektronik teknolojisindeki hızlı gelişmeler bu konuda her gün yeni bir buluş ya da yeni bir uygulama tipi geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bazı algılayıcılar bir foto diyot gibi oldukça basit olabilirken karmaşık yapıdaki diğerleri rezistif, manyetik, optik ve diğer elemanların birlikte kullanılmasından oluşur. Algılayıcılar bilinen temel bilimsel prensiplere göre çalışır. Bu elemanların anlaşılması genelde fizik, elektrik-elektronik, kimya, biyoloji, vb. gibi alanların temel bilgisini gerektirir. Teknik terminolojide algılayıcı (sensör) ve transdüser terimleri birbirlerinin yerine sık sık kullanılan terimlerdir. Transdüser genel olarak enerji dönüştürücü olarak tanımlanır. Algılayıcı ise çeşitli enerji biçimlerini elektriksel enerjiye dönüştüren cihazlardır. Ancak 1969 yılında ISA (Instrument Society of America) bu iki terimi eş anlamlı olarak kabul etmiş ve "ölçülen fiziksel özellik, miktar ve koşulları kullanılabilir elektriksel büyüklüğe dönüştüren bir araç" olarak tanımlanmıştır [2].

Algılayıcıları birbirinden farklı birçok sınıfa ayırmak mümkündür. Ölçülen büyüklüğe göre, çıkış büyüklüğüne göre, besleme ihtiyacına göre vb. Aşağıda bu sınıflardan bazılarına değinilecektir [2].

- Algılayıcılar giriş büyüklüklerine göre 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 ve ısı akısı

3. Elektriksel: Voltaj, akım, ark, direnç, endüktans, kapasitans, dielektrik katsayısı, polarizasyon, elektrik alanı ve frekans

4. Manyetik: Alan yoğunluğu, akı yoğunluğu, manyetik moment, geçirgenlik

5. Işıma: Şiddet, dalga boyu, polarizasyon, faz, yansıtma

6. Kimyasal: Yoğunlaşma, içerik, oksidasyon/redaksiyon, reaksiyon hızı, pH miktarı

- Algılayıcılar çıkış büyüklüklerine göre; AC çıkış, DC çıkış, kapsül, diyafram, frekans, sayısal, yarı iletken, servo, anahtar, ultrasonik, titreşen element olarak sınıflandırılabilirler.

- Algılayıcılar besleme ihtiyacına göre iki sınıfa ayrılabilir. Bunlar;

Pasif Algılayıcılar: Hiçbir şekilde dışardan harici enerji almadan (besleme gerilimine ihtiyaç duymadan) fiziksel ya da kimyasal değerleri bir başka büyüklüğe çevirirler. Bu algılayıcı tipine örnek olarak ısıl çift (termocouple) ya da anahtar gösterilebilir.

Aktif Algılayıcılar: Çalışmaları için harici bir enerji beslenmesine ihtiyaç duyarlar. Bu algılayıcılar tipik olarak zayıf sinyalleri ölçmek için kullanılırlar. Aktif algılayıcılarda dikkat edilmesi gereken nokta giriş ve çıkışlardır. Bu tip algılayıcılar dijital ya da analog formatta elektriksel çıkış sinyali üretirler. Analog çıkışlılarda, çıkış büyüklüğü gerilim ya da akımdır. Tipik bir endüstriyel algılayıcının taşıması beklenen özellikler şunlardır [2]:

- Algılayıcıların yerleştirildiği uzak noktalarda elektrik besleme geriliminin olmaması gereklidir.
- Algılayıcılar gerilim sinyalinin sınırlı olabileceği durumlarda tehlikeli uygulamalarda kullanılmalıdır.
- Algılayıcıya giden kablolar iki ile sınırlanmalıdır.

- Akım çevrim sinyali göreceli olarak gürültü geriliminin ani sıçramalarına karşı korunmalıdır. Ancak bunu uzun mesafe veri aktarımında yapamaz.
- Algılayıcılar, ölçüm sisteminden elektriksel olarak izole edilmelidir.

1.2. Literatür Çalışması

Fiber optik algılayıcı teknolojisi son yıllarda geliştirilerek, çok başarılı yeni ürünler elde edilmiştir [3, 4]. Bunlardan bazıları fiber optik jiroskoplar, sıcaklık algılayıcıları, akustik algılayıcılar, hızölçerler ve kimyasal araştırmalar da kullanılan algılayıcılar önemli yer tutmaktadır. Optik kimyasal algılayıcılar için çeşitli yöntemler, uzun yıllar önce geliştirilmeye başlanmıştır [5, 6]. Buna paralel olarak, optik fiber tabanlı ortamlarda kimyasal algılayıcıların gelişimi birçok araştırmacının merak konusu olmuştur [7]. Diğer birçok algılayıcı uygulamalarının yanı sıra bugün, hidrokarbon algılanması için de optik algılayıcılar tercih edilmektedir [8]. Fiber optik ve optoelektronikte meydana gelen son gelişmeler neticesinde pek çok algılayıcı bu teknolojiler kullanılarak dizayn edilmektedir. Bunlardan bir tanesi % 85 civarında metanollü yakıtların bileşimini ölçen algılayıcı olup sinyal buji zamanlaması, egzoz gazı geri çevrimini ve soğuk çalıştırma koşullarında yakıt zenginleştirmesinin miktarını ayarlamaktadır. Optik algılayıcılar yakıt bileşimine bağlı olarak kırınım indisinin değişimi veya bazı infrared dalga boylarında optik absorpsiyon miktarındaki değişim esasına göre çalışmaktadırlar [9]. Faz değişimine bağlı olarak algılama yapan interferometrik algılayıcılar, basınç ve sıcaklık değişimine duyarlı elemanlardır. İnşaat mühendisliği disiplinindeki yapılarda uzunluk değişimi ölçümü, su altı sistemlerindeki hidrofonlarda ses ölçümü ve aerodinamik araştırmalarında basınç ölçümü gibi alanlarda interferometrelerden yararlanılır [10].

Fiber optik algılayıcıların (FOA), çoklama yeteneği, elektromanyetik girişim ve uzaktan ölçüm uyumluluğu gibi, özelliklerinden dolayı geleneksel muadillerine göre çeşitli avantajlar sağladığı kanıtlanmıştır. Literatürde ortaya çıkan, şimdiye kadar geliştirilmiş olan FOA çeşitleri sıcaklık, basınç, gerilme vb. gibi çeşitli parametre ölçüm türleri için uygulanan farklı algılama tekniklerine yönelik sistemlerdir. Choudhury ve Yoshino içme suyundaki klor içeriğinin tespiti için kullanılan bir fiber optik kayıp alan emme algılayıcısı araştırmışlardır [11]. Fiber optik algılayıcıların, özellikle zorlu ortamlarda önemli hale gelen konvansiyonel algılama teknikleri üzerinde bir dizi avantajları vardır.

Fiber optik algılayıcılar, ideal olarak çeşitli uygulamalara adapte edilerek iletken olmayan malzemelerle sinyalleri elektrik potansiyelindeki büyük farklılıklar ile kolayca iletir [12]. Bugün, fiber optik algılayıcıların ticarileştirilmesinde başarı gözlenmiştir. Ancak, çeşitli alanlarda hala diğer gelişmiş algılayıcı teknolojisi ile rekabet etme konusunda muzdariptir. Sürekli geliştirilen yeni fikirler geleneksel ölçütler için değil, aynı zamanda yeni uygulamalar için test edilmektedir. Fiber optik algılayıcılar çalışmaya başladığından bu yana, neredeyse otuz yıl geçmesine rağmen geliştirilen fiber optik algılayıcıların, çok az sayısı ticari olarak başarılı olmuştur [13]. Optik fiberlerin yayılım karakteristiklerini büyük ölçüde, kullanılan fiber malzeme belirler. Likit kristal yapılardan oluşan optik fiberlerin, bu malzemelerin doğasından kaynaklanan anizotropik fiziksel özellikleri nedeniyle birçok uygulama için ilgi çekici olduğu kanıtlanmıştır [14]. Optik fiberler, küçük boyut, esneklik, sağlamlık vb. özellikleri nedeniyle akıllı yapı uygulamalarında büyük ölçüde çekici olduğunu kanıtladı [15].

Modern fiber optik algılayıcıların gelişmesi, bilimdeki iki önemli gelişmeye doğrudan bağlıdır. Bunlar 1960'larda lazerin geliştirilmesiyle, 1966'larda gelişmiş düşük kayıplı optik fiberlerdeki ilerlemeler olarak söylenebilir. Bugün bu alanda çeşitli algılayıcılar için, bir dizi fiber optik tabanlı teknikler üretilmektedir [16]. Uyarlamalı optik sistemler, astronomi, sektöründe daha da fazla uygulama alanı bulabildiği gibi son zamanlarda tıbbi altyapılarda da faydalanılmaktadır [17]. Birçok pratik uygulamada, fiber optik algılayıcılar, mevcut fiber-optik veri iletim şebekelerinin artmasıyla, elektriksel pasifliği, yüksek bant genişliği, aşındırıcı ve patlayıcı ortamlardaki güvenliği ve EM uyumluluğu, yüksek hassasiyeti, minyatür boyutları, uzaktan çalıştırma imkanı ve doğrudan uyumluluğu nedeniyle önemli iyileştirmeler sunabilir [18-22].

Optik biyokimyasal algılayıcılar, önemli çevresel izleme ve klinik analiz uygulamaları nedeniyle hızlı bir gelişim göstermektedir [23]. Dubra, durum sayısı ve ortalama dalga cephesi değişimi, en aza indirilerek dalga cephesi algılayıcıları ve uygunlaştırılan dalga cephesi doğrultucuları tasarlamıştır [24]. Bloemhof ve Wallace, ince simetrik bir demet ayırıcıdan iletilen ve yansıyan ışınlar arasında $\pi / 2$ faz farkı alarak, faz tersleyici dalga cephesi algılayıcısını akrometize etmenin basit bir şekli üzerine çalışmışlardır [25]. Wu vd. silika polimer mikro fiber düğüm rezonatör temelli minyatür fiber optik sıcaklık algılayıcılarını incelemişlerdir [26]. Shi vd. manyetostriktif fiber optik interferometrik algılayıcılar için durgun dinamik bir tespit şeması üzerinde çalışmışlardır.

Uygulamalarında, çalışma prensiplerinin deneysel doğruluğunu göstermişlerdir. Sonuçlar dinamik tespit şemasının kullanıldığı sistemin daha iyi bir stabiliteye ve hassaslığa sahip olduğunu göstermiştir [27]. Santos Brezilya benzininin etanol içeriğinin belirlenmesi için taşınabilir bir elektronik yöntem sunmaktadır [28]. Bu çalışmanın amacına uygun olarak, Possetti vd. çalışmalarında, uzun süreli ızgaralamaya dayalı bir fiber optik cihaz ile etanol-benzin karışımlarının etanol konsantrasyonunu ölçmek için, kırılma indisi algılayıcısı tasarlamışlardır [29]. Bugün, yeni tasarımlarla, algılayıcıları süren yarı iletken endüstrisi petrokimya endüstrisinin fiber optik algılayıcı ihtiyacını karşılamada yardımcı olmaktadır [30].

Refraktometrik yöntem ile yapılmış olan çalışmalar içerisinde, Cavrar vd. distile alkollü içeceklerde alkol miktarını tayin etmişlerdir. Çalışmalarında farklı marka ve çeşitlerde rakı ve votkaların kırılma indisleri, Bellingham Stanley Limited 60/70 Abbe Refraktometresi yardımıyla ölçmüşlerdir. Çalışmalarının neticesinde, bu yöntemin oldukça hızlı ve doğru sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Özellikle daha az yabancı bileşen içeren votka için, yöntem doğruya oldukça yakın sonuç vermektedir. Bu yöntem ile sahte içkilerin içerisinde metanol bulunup bulunmadığını da tespit edilebileceği de önerilmiştir [31]. Kırılma indisi değişimine duyarlı diğer bir çalışmada da, Açıkgöz, % 13 ve % 95 bağıl nem aralığında duyarlı olan basit ve ucuza mal edilebilecek bir plastik fiber optik nem algılayıcısı tasarlamıştır. Algılayıcının duyarlılık mekanizması, kılıf tabakasına kazınmış olan fiber üzerine kaplanan polimer filmin kırılma indisinin değişmesi prensibine dayanmaktadır [32]. Mignani vd. fiber optik ve mikro optik yöntemleri, gıda kalitesi ve güvenliği değerlendirmesi için kullanmışlardır. Çalışmalarında tipik sızma zeytinyağı, bira, süt gibi gıdaların, kalite ve güvenliğini test etmek için, fiber-optik ve mikro-optik cihazlar sunulmaktadır [33]. Kulkarni vd. fiber bükülme kayıplarından yararlanarak, plastik fiber optikleri kullanarak sıvı yoğunluğunu ölçmek için yeni bir yaklaşım sunmuşlardır [34].

Algılayıcılar için mevcut sistemler ile istenmeyen maddelerin tespit ve teşhisi ancak örneklerin laboratuarlara taşınması sonrasında yapılabilmektedir. Taşınabilir tasarımlara uyarlanabilen algılayıcı teknolojisi kullanılarak, yerinde ve aynı anda birden fazla analit tespitinin mümkün olduğu sistemler geliştirilebilir. Taşıma veya ambalajlama sırasında olası biyolojik aktivitelerin, yanılgılara sebebiyet vermemek için, yerinde tespit sağlayabilen algılayıcılar, geleneksel teknolojilere karşılık daha etkin alternatif

çözümler oluşturmaktadır. Elde taşınabilir tasarımları ayrıca, vakum pompası, gaz tedariki vb. gerektirmez. Ölçüm yapılacak noktalarda (alan, laboratuar veya talep edilen herhangi bir yer), eğitimli kullanıcı gerekmeksizin, çok sayıda ölçüme olanak sağlarlar [35]. Bu çalışmada, sıvı içerisinde safsızlık saptanmasında kullanılabilen, değişen kırılma indisine duyarlı, taşınabilir bir algılayıcı tasarımı sunulmuştur. Böylelikle herhangi bir sıvı numunesinin safsızlığının saptanması için ön test işlemi gerçekleştirilmiş olur.

2. BÖLÜM

GIDA ANALİZLERİNDE FOTOMETRİK YÖNTEMLER

2.1. Gıda Analizleri

Gıda analizlerinde enstrümental analiz yöntemlerinden fotometrik analiz yöntemleri tercih edilir. Çözeltilerin ışığı soğurma (absorbe) etme, ışığı geçirme veya kırma gibi özelliklerinin ölçülmesi esasına dayanan yöntemlere fotometrik yöntemler denir. Bu analiz yöntemlerinde şunlar yapılır [36]:

- Analiz edilecek örnek, çözelti haline getirildikten sonra üzerine belli bir kimyasal ilave edilir.
- Böylece elde edilen sistemin ışığı absorbe etme, ışığı çevirme veya ışığı kırma dereceleri ölçülür.
- Ölçüm değerleri aynı koşullarda hazırlanmış ve içerisine belli miktarda madde bulunan bir standart seri ile karşılaştırılarak sonuca gidilir.

Fotometrik analiz yöntemlerinin en büyük avantajı seri çalışmaya ve çok az madde miktarlarının bile belirlenmesine imkân sağlamasıdır.

Başlıca fotometrik analiz yöntemleri şunlardır [36]:

- Spektrofotometri
- Kolorimetri
- Refraktometri
- Türbidometri
- Fluorometri

Gıdalarda yapılan enstrümental analizlerden bazıları Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Gıdalarda yapılan enstrümental analizlere örnek [36].

Analiz	Metot
1. Besin Etiketi Analizleri	
Nişasta (kantitatif) tayini	Polarimetrik yöntem
C vitamini analizi	Spektrofotometrik yöntem
2. Genel Analizler	
Briks tayini	Refraktometrik yöntem
Kırılma indisi	Refraktometrik yöntem
Suda çözünen madde tayini	Refraktometrik yöntem
Kırılma indisi tayini	Refraktometrik metot
pH tayini	Potansiyometrik yöntem
3. Katkı Maddeleri ve Kontaminant Analizleri	
Aflatoksin (B1, B2, G1, G2)	HPLC (Yüksek performans sıvı kromatografisi) yöntemi
Benzoat tayini	Spektrofotometrik yöntem
Boya tayini (kalitatif)	Kağıt Kromatografisi
Nitrit/nitrat tayini	Spektrofotometrik yöntem
Sorbat tayini	Spektrofotometrik yöntem
4. Yağ Analizleri	
Yağ asitleri kompozisyonu	Gaz Kromatografisi
UV ışığında özgül soğurma	Spektrofotometrik yöntem
Yağ asitleri kompozisyonu	Gaz Kromatografisi
5. Süt ve Süt Ürünleri Analizleri	
Glikomakropeptid analizi (PAS analizi)	HPLC (Yüksek performans sıvı kromatografisi) yöntemi
6. Et ve Et Erünleri Enalizleri	
Hidroksiprolin miktarı	HPLC (Yüksek performans sıvı kromatografisi) yöntemi
Nitrit/nitrat tayini	Spektrofotometrik yöntem
7. Meyve-Sebze ve Ürünleri Analizleri	
Benzoik asit tayini	Spektrofotometrik yöntem
Briks tayini	Refraktometrik yöntem
Hidroksimetil furfural tayini	Spektrofotometrik yöntem
Laktik asit tayini	Spektrofotometrik yöntem
Meyve oranı	Spektrofotometrik ve mineral analiz
Prolin tayini	Spektrofotometrik yöntemi
Salçada likopen tayini	Spektrofotometrik yöntem
Sirkede yapaylık tayini	Kolorimetrik yöntem
Suda çözünen madde miktarı	Refraktometrik yöntem
Boya maddeleri tayini (kalitatif)	Kağıt Kromatografisi
Fenolik madde profili	HPLC (Yüksek performans sıvı kromatografisi) yöntemi
8. Tahıl ve Tahıl Ürünleri	
Aflatoksin analizi	Saflaştırma sonrası HPLC (Yüksek performans sıvı kromatografisi) ile analiz
Nişasta tayini	Polarimetrik yöntem
Lipoksigenaz aktivitesi tayini	Spektrofotometrik yöntem
9. Kuru Baklagil Analizleri	
Izoflavon miktarı	HPLC (Yüksek performans sıvı kromatografisi) yöntemi
Lipoksigenaz aktivitesi tayini	Spektrofotometrik yöntem
10. Şekerli/Çikolatalı Ürünler Analizleri	
Boya tayini (kalitatif)	Kağıt Kromatografisi
Diyastaz tayini	Kolorimetrik yöntem
Hidroksimetil furfural tayini	Spektrofotometrik yöntem
Nişasta miktarı	Polarimetrik yöntem

Şeker kompozisyonu analizi	HPLC (Yüksek performans sıvı kromatografisi) yöntemi
11. Çay Analizleri	
Boya tayini (kalitatif)	Kağıt Kromatografisi
Antioksidan aktivitesi tayini	Spektrofotometrik yöntem
Fenolik madde profili	HPLC (Yüksek performans sıvı kromatografisi) yöntemi

2.2. Refraktometrinin İlkesi

Refraktometri, her ortamın kırılma indisinin farklı olması prensibini kullanarak, konsantrasyon ve madde miktarı gibi tayinleri yapmaya yarayan bir yöntemdir. Kırılma indisi her maddeye özgü bir fiziksel özelliktir, bu sebeple kalitatif ve kantitatif analizlerde kullanabileceğimiz bir metottur. Günümüzde organik bileşiklerin kantitatif analizinde NMR, infrared spektroskopisi gibi yöntemler daha çok tercih edilmektedir [36].

Bir maddenin kırılma indisi şunlara bağlıdır:

- Kullanılan ışımanın dalga boyuna
- Sıcaklığa
- Derişime

Bunun dışında sıkıştırılabilen maddelerin kırılma indisi, basınca bağlı olarak da değişir. Dalga boyunun kırılma indisine etki etmesinden dolayı, kullanılan ışımanın dalga boyu da belirtilmelidir. Ticari refraktometrelerde genellikle sodyumun atomunun yaydığı yaklaşık eşit şiddetlerdeki, 589,0 ve 589,6 nm'deki hatları kullanılır. Bu hatlar sodyum D hatları olarak adlandırılır [36].

Refraktometreler, katı (abbe tip modellerde) veya sıvılarda katı madde miktarı, kırılma indisi, şeker miktarı ve briks (brix) aralıklarını ölçme amacıyla kullanılan cihazlardır. Piyasada gıda, kimya, ilaç vb. alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle de gıda alanında şarap, meşrubat, reçel, bal, meyve suları, yemeklik yağlar gibi birçok üretim alanında kullanılmaktadır [36].

Refraktometre çeşitleri şunlardır [36];

- Abbe refraktometreleri (dijital ve manuel)
- El refraktometreleri (dürbün ve dijital)
- Sıcaklık ayarlamalı dijital refraktometreler

2.2.1. Refraktometrik Analizler

Refraktometrik analizler nitel ve nicel olmak üzere iki amaçla yapılır [36].

2.2.1.1. Nitel Analizler

Her maddenin ışığı kırma özelliği farklı olduğundan kırılma indisleri de farklıdır. Bu nedenle maddeler için kırılma indisleri ayırt edici bir özelliktir. Saflığından emin olunan bir örneğin refraktometrede kırılma indisi ölçülerek okunan değer kırılma indislerine ait tablo ile karşılaştırılır. Bazı maddelerin kırılma indisleri Tablo 2.2.'de gösterilmiştir. Böylece bilinmeyen örneğin hangi madde olduğu tespit edilir. Ya da ne olduğu bilinen bir maddenin, saf olup olmadığını belirlemek veya yabancı madde katılıp katılmadığını belirlemek amacıyla kırılma indisinden faydalanılır [36].

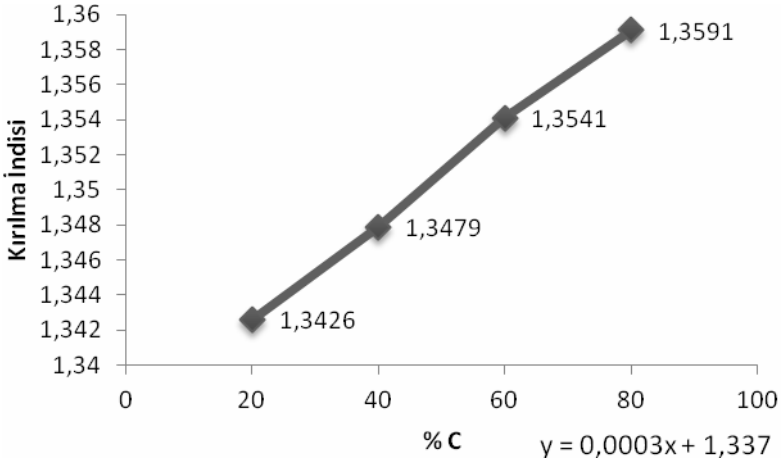
Tablo 2.2. Bazı maddelerin kırlma indisleri.

Madde	**Kırılma İndisi**
Etil alkol	1,3290
Saf su	1,3330
Ayçiçek yağı	1,472-1,474
Zeytin yağı	1,469-1,474
Laktik asit	1,423
Gliserin	1,470-1,474

Örneğin, yemeklik yağların kırılma indisleri ölçülerek, bunların saflık dereceleri ve acılık dereceleri tespit edilebilmektedir. Bir sıvı yağın acılaşma derecesi artıkça kırılma indisi de artar. Maddenin yoğunluğu ile kırılma indisinin arasındaki ilişkiden faydalanılarak molar kırılma değeri bulunur. Molar kırılma değeri, maddenin saflık derecesinin bir ölçüsüdür [36].

2.2.1.2. Nicel Analizler

İkili karışımların tayininde en kolay ve çabuk yöntem; çözeltilerin kırılma indislerinden faydalanmaktır. Düşük konsantrasyonlarda (seyreltik çözeltilerde), kırılma indisi ve derişim arasında lineer bir bağıntı vardır. Bu bağıntıdan faydalanarak bir dizi % çözeltiler hazırlanarak saf su ile refraktometrenin "0" ayarı yapıldıktan sonra bu çözeltilerin kırılma indisleri okunur. Kırılma indisleri ordinata, çözelti % derişimleri ise apsise yerleştirilerek konsantrasyon-kırılma indisi değeri grafiği çizilir. Numunenin % konsantrasyonu hesaplanır. Şekil 2.1.'de örnek olarak % konsantrasyon ile kırılma indisi arasındaki ilişki gösterilmiştir [36].



Şekil 2.1. Örnek % konsantrasyon-kırılma indisi grafiği.

2.3. Süt ve Sütün Bileşimi

Bir "yaşam mucizesi" diye nitelenebilecek kadar büyük besin değerine sahip olan sütün, insan yaşamındaki yeri insanlık tarihi kadar eskidir. Dünyanın en yararlı içeceği süt, insanların doğumlarından itibaren aldıkları ilk besindir. İlk günlerinde annelerinin sütüyle beslenen bebeklere, daha sonraları hem anne sütü hem de hayvan sütleri verilir.

Süt, bebeklerin narin vücutlarını sağlamlaştırır, güçlendirir. Süt, organizmanın kurulması ve hayatını devam ettirmesi için gereken unsurların hemen hepsini içerir. Yapısında bulunan besin unsurları açısından süt, ideal bir besin olarak kabul edilir.

Sütün proteinleri, yaşam için büyük önem taşıyan eksojen aminoasitlerinin tümünü içermesi açısından yüksek biyolojik değerdedir [37].

Süt özellikle protein, kalsiyum, vitamin, mineral, enzim vb. gibi beslenmede çok önemli olan çeşitli besinleri bünyesinde barındıran temel gıda maddesidir. Canlı türü ne olursa olsun sütün bileşenleri; su % 86,6-89,5 arasında, kuru madde değeri % 11-38 arasında, yağ miktarı % 1,8-20 arasında, protein miktarı % 2,5-15,0 arasında, laktoz (süt şekeri) miktarı % 1,3-7,0 arasında, kül (kuru madde) miktarı % 0,5-2,5 arasındaki miktarlarda değiştiği söylenebilir [37].

Sütün bileşiminde pek çok madde bulunmakla beraber sütün bileşimindeki maddeler su ve kuru madde olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilir [37].

1. Su: Süt bileşimindeki su, sütte bulunan kuru maddelerin erime ve dağılma ortamıdır. Su sütün bileşiminin yaklaşık % 80'ini oluşturmakla beraber sütün çeşidine, laktasyon devresine ve beslenme şartlarına göre farklılıklar gösterebilir.

2. Kuru maddeler: Kuru maddeyi meydana getiren maddeler, proteinler, yağ, şeker, kül maddeleri vitaminler ve enzimlerdir. Sütün bileşimindeki kuru maddeler şöyledir [37]:

- Süt yağı: Sütteki yağ, verdiği lezzet ve meydana getirdiği kalori bakımından sütün en önemli organik maddelerinden biridir. Süt yağının vücuda birçok faydası vardır. Vücudun bazı yağ asitlerine karşı olan ihtiyacını karşılar.
- Süt şekeri (Laktoz): Sütte Laktoz adı verilen süt şekeri bulunur. Bu şeker süte lezzet ve tat vermekle beraber miktarı, süt çeşitlerine göre az çok değişmektedir. Formülü ($C_{12}H_{22}O_{11}$) olup karbonhidratların disakkaritler grubuna girerler. Laktoz şekeri sütten başka hiçbir yiyecekte bulunmaz. Laktozun diğer karbonhidratlardan daha üstün bir madde olmasının nedenleri; insan ve hayvanların bağırsaklarını yumuşatma özelliği olması, laktoz ve bundan türeyen süt asiti bağırsaklarda bulunan kokutucu bakterilerin çoğalmasına engel olması ve iç zehirlemeyi önlemesidir.
- Süt proteinleri: Süt proteinleri, % 3 kazein, % 0,55 laktalbumin ve % 0,05 laktoglobulin'den oluşur. Kazein: Kazein, sütte bir kalsiyum tuzu halinde bulunur. Kazein sütün en büyük protein kesrini oluşturur. Başta inek sütü olmak

üzere geviş getirenlerin sütlerindeki kazein, tüm proteinlerin % 80'ini oluşturması bakımından, böyle sütlere kazeinli sütler denilir. Bünyesinde % 6 oranında kolloid halinde kalsiyum fosfat taşır. Kazein partiküllerinin büyüklüğü 40 ile 280 mikron arasında değişir, içlerinde 80-120 mikron çapında bulunan partiküller de vardır. Laktalbumin: Laktalbumin, süt proteinlerinin % 10'luk bölümünü oluşturur. Laktalbumin, bir hidrofil kolloid olup, serum albüminine çok benzer. Laktalbumin, sütün 60°C'nin üzerinde ısıtılmasıyla koagule olur. Laktoglobulin: Laktoglobulin, nötr ve yarı doymuş amonyum sülfatta ve doymuş magnezyum silikatta erimez. Laktoglobulin, sütün tüm proteinlerinin % 4'ünü oluşturur. Laktoglobulin de, laktalbumin gibi ısıya karşı hassastır.

- Mineraller: Sütün yapısında bulunan tuzların her birinin vücutta kendine özgü birtakım işlevleri vardır. Süt önemli miktarlarda sodyum, magnezyum, demir, fosfor içerirken az miktarda da kükürt, iyot, bakır, çinko, mangan içerir.
- Vitaminler: Sütte vitaminlerin çoğu bulunmaktadır. Miktarları ve çeşitleri beslenme ile ilgilidir. Sütte A vitamini (karotin ve ksantomin), B1 vitamini, B2 vitamini (süt serumuna sarı rengini veren madde) , az miktarda B3, B5, B6 ve B12 vitaminleri, C vitamini, az miktarda D vitamini, E vitamini ve K vitamini bulunur.
- Enzimler: Enzimler metabolizmadaki reaksiyonları yürüten organik veya anorganik bileşiklerdir. Süttün bileşiminde fosfataz, kolesteraz, karotinaz, amilaz, laktaz, proteaz, pterinoksidaz, vb. enzimler bulunur.
- Koruyucu maddeler: Süt, immunglobulin, antitoksin ve aglutininden oluşan antikorları taşır. Bunlar, süt hayvanının organizmasında, yabancı proteinlere ve bakterilere karşı oluşturulurlar. Kan yoluyla süte geçerler. Ancak antikorların, değişmez şekilde sütte mi mevcut oldukları, yoksa süt bezlerinde belirli değişimler mi geçirdikleri tam olarak belirlenememiştir.
- Gazlar: Sütlerde bir miktar N_2, CO_2 ve O_2 gazları bulunur.

Süt sahip olduğu bileşenler nedeni ile beslenme fizyologları tarafından temel gıda maddesi olarak kabul edilmektedir. Besleyici bir gıda olan süt, diğer gıdalara oranla daha fazla yaşamsal besin öğesi içerir. Organizmanın gelişebilmesi için gerekli olan organik ve anorganik maddelerden oluşan süt, kolayca alınıp sindirilebilir. B2 vitamini, besinlerden enerjinin serbest bırakılmasında rol oynar. A vitamini ile birlikte

kullanıldığında solunum, sindirim, dolaşım ve boşaltım sistemine yardımcı olur. Normal büyüme ve gelişmeye yardımcı olur. Süt, amino asitleri içeren süt proteini, yağ asitlerini içeren süt yağının yanı sıra birçok mineral ve vitamini içermesi nedeni ile çok önemli bir gıda olarak kabul edilmektedir. Tablo 2.3.'de 100 gram sütün enerji ve besin değerleri verilmiştir [38].

Tablo 2.3. 100 gram sütün enerji ve besin değerleri.

	Yağlı	**Yarım Yağlı**	**Yağsız**
Su (g)	87,9	89,2	90,8
Enerji (kcal)	61	50	35
Protein (g)	3,3	3,3	3,4
Yağ (g)	3,3	1,9	0,2
Karbonhidrat (g)	4,7	4,8	4,9
Kül (g)	0,7	0,7	0,8
Kalsiyum (mg)	119	122	123
Demir (mg)	0,1	0,1	0,0
Fosfor (mg)	93	95	101
Potasyum (mg)	152	154	166
Sodyum (mg)	49	50	52
A vitamini ve karoten (IU)	126	205	204
Tiamin (mg)	0,04	0,04	0,04
Riboflavin (mg)	0,16	0,17	0,14
Niasin (mg)	0,1	0,1	0,1
C vitamini (mg)	1	1	1

2.4. Sütün Kalite Kriterleri

Sağlıklı bir hayvandan elde edilen kusursuz inek sütünden beklenen nitelikler aşağıda sıralanmıştır [37]:

- Renk ve görünüş: Porselen beyazı, mat, temiz, çok hafif sarımsı.
- Tat ve koku: Hafif tatlı, yağlımsı, kendine özgü tat ve kokuda, ancak herhangi yabancı belirgin bir tat ve kokuya sahip olmayan.
- Fiziksel durum: Opak, sıvı, sudan biraz ağır, kaymak bağlayan kendine özgü bir yapıdadır.
- Asitlik durumu: pH değerinin 6,4-6,8 arasında ve titrasyon asitliğinin 6,5-7,5 °SH (Soxhelet Henkel cinsinden asitlik derecesi) arasında olması istenir. Titrasyon asitliğinin 8 °SH üzerinde olması hızlı bir asit yükselmesini gösterir. 10 °SH 'i geçtiği taktirde ısıtma sırasında pıhtılaşma meydana gelir. Titrasyon

asitliği 5 °SH derecesinin altında olan sütler veya pH değeri 6,8'den yüksek olan sütler de normal kabul edilmez.

- Kir miktarı: 100 ml sütteki kir miktarı 3 mg'a kadar olan sütler 'ekstra sınıf', 6 mg'a kadar olan sütler '1. sınıf' ve 10 mg'a kadar olanlar '2. sınıf' süt olarak kabul edilir.
- Resazurin testi: Resazurin testi sonucu 1 saatte mavi rengi koruyanlar 'ekstra sınıf', koyu pembe renge kadar açılanlar '1. sınıf', pembe veya beyaz renge dönüşenler ise '2. sınıf' süt olarak kabul edilirler.
- Fosfataz testi: Lovibond tintometresine göre 2 saatlik inkübasyon sonunda okunan değerin 43 ve üzerinde olması istenir.
- İnhibatör madde: Çiğ süt içerisinde antibiyotik ve diğer herhangi bir inhibatör madde bulunmaması gerekir.
- Bileşimi: Ait olduğu türün normal inek sütü bileşim değerlerine sahip olmalıdır.

Çiğ sütün nitelikleri iki ana nedenle bozulabilir [37];

1. Meme içerisinde: Meme iltihabı gibi hastalıklar, laktasyon başlangıcı ve sonu gibi nedenler,

2. Meme dışında: Ahır, sağım ve muhafaza koşullarının kötü olması sonucu, sağım yerinde ve nakil sırasında yetersiz soğutma, hile yapılması gibi nedenler.

Sütün bileşiminde bazen anormal değişiklikler belirlenebilir. Bu değişiklikler ya dikkatsizlik nedeniyle meydana gelir veya kasıtlı olarak yapılan müdahalelerle, yani hileler ile oluşur. Kasıtlı olarak yapılan müdahaleler yani hileler ise, ya aşırı kar sağlamak veya sütün kalitesini düzeltmek amacıyla yapılır. Bunlar [37, 39]:

- Süte su katarak miktarını arttırmak amacıyla yapılan hileler,
- Yağını çekmek veya yağsız süt ilave etmek suretiyle yapılan hileler,
- Hem yağını çekmek hem de su ilave etmek suretiyle yapılan iki yönlü hileler,
- Sütün asitliğini nötralize etmek amacıyla yapılan hileler,
- İnhibitör maddeler ilave etmek suretiyle yapılan hilelerdir.

Kasıtlı olarak; sütün dayanma süresini uzatmak veya kalitesi bozulmuş sütleri kaliteli gibi göstermek veya normal görünüm kazandırmak amacıyla, süte bazı koruyucu maddeler ilave edilebilir. Birçok ülkede bu gibi maddelerin süte ilavesi yasaklanmıştır. Çünkü bu maddeler insan sağlığı için zararlı olduğu gibi, kaliteli süt üretimini de olumsuz yönde etkiler. Bu nedenle koruyucu madde ilavesi yoluyla yapılan hilelerin tespit edilmesi gerekir. Süte katılan bazı koruyucu maddeler şunlardır [37, 39];

- Hidrojen peroksit
- Formaldehit
- Potasyum dikromat
- Borik asit
- Civa klorür

Sütün asitliğini etkisizleştirmek için de, nötralize edici karbonatlı maddeler konulmaktadır. Koruyucu maddelerde olduğu gibi bu maddelerin de konulması birçok ülkede yasaklanmıştır. Sütün kimyasal özellikleri ve bulunmaması gereken maddeler Türk Standartları Enstitüsü tarafından belirlenmiştir. Tablo 2.4.'de bu maddeler gösterilmiştir [39].

Tablo 2.4. İnek sütünün kimyasal özellikleri.

Özellikler	**En Az**
Protein, % (m/v), en az	2,8
Asitlik (süt asidi), % (m/v), en az/en çok	0,135/0,200
Yağ, % (m/v) en az	3,5
Yağsız kuru madde, % (m/v) en az	8,5
İnhibitör madde	Bulunmamalı
Okside edici maddeler	Bulunmamalı
Karbonat ve formaldehit	Bulunmamalı

3. BÖLÜM

FİBER OPTİKTE TEMEL KAVRAMLAR

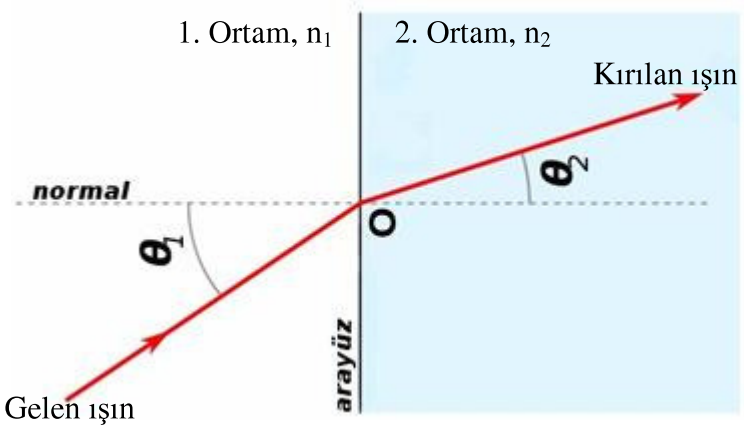
3.1. Kırılma İndisi ve Işığın Kırılması

Kırılma indisi maddenin kaynama noktası, erime noktası, yoğunluğu gibi fiziksel özelliklerinden birisidir. Kırılma indisi gerçekte kimyasal değil, fiziksel bir olaydır. Işığın farklı ortamlara geçerken yön değiştirmesi kırılma, ışığın boşluktaki hızının madde içerisinde hızına oranı da kırılma indisi olarak bilinir. Bir ışık ışını bir ortamdan başka bir ortama geçerken yönünde ve hızında değişiklikler olur. Işık çok kırıcı ortama geçerken bu ortamda bulunan taneciklere çarpar. Işığın elektrik alanı ile maddenin elektronlarının etkileşmesi ışığın yayılmasını engeller. Eğer ışın hava yerine çok kırıcı bir ortama gönderilirse ışının hızı ve yönü değişir. Tüm sıvıların ışığı kırma özelliği vardır ve bu o maddenin bir özelliğidir. Örneğin suyun kırılma indisi 1,33'tür. Gliserinin, etil alkolün, asetonun ve diğer tüm saf sıvı maddelerin kendisine özgü bir kırılma indisi vardır. Öte yandan birden fazla karışımların da kırılma indisleri sabit bir sayıdır. Yani % 5 şekerli suyun belirli bir kırılma indisi vardır. Buradan kırılma indisinin toplanabilir olduğu ortaya çıkar. Örnek olarak kırılma indisi 2 olan bir sıvı ile 3 olan bir başka sıvı aynı oranda karıştırılırsa, ürünün kırılma indisi 2,5 olacaktır [40]. Böylelikle değişmiş olan kırılma indisinden başlangıçtaki sıvı içerisine başka bir maddenin (katı veya sıvı) karışmış olduğu ihtimali ortaya çıkmaktadır. Kırılma indisi her zaman tek başına belirleyici bir kavram olmayıp, diğer analizlerle birleştirildiğinde çok değerli sonuçlar verir.

Bir ortamın kırılma indisine n, elektromanyetik ışımanın vakumdaki hızına c, elektromanyetik ışımanın bu ortamdaki hızına da v dersek,

$$n = c / v \tag{3.1}$$

ifadesiyle birbirlerine bağlıdırlar [36].



Şekil 3.1. Işığın kırılması.

Şekil 3.1.'deki gibi, ışının bir ortama geliş açısına θ_1, geçiş (kırılma) açısına da θ_2 dersek eğer, Snell Yasasına göre şöyle bir bağıntı yazılabilir [36]:

$$\frac{Sin\theta_1}{Sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_1}{n_2} \tag{3.2}$$

Burada;

v_1: Işının birinci ortamdaki hızı,

v_2: Işının ikinci ortamdaki hızı,

n_1: Birinci ortamın kırılma indisi,

n_2: İkinci ortamın kırılma indisidir.

Işının geliş açısı, ışının hızı ve ortamın indisi ile orantılıdır. Işının geliş ve geçiş açılarının bilinmesi halinde, iki ortamın kırılma indislerinin oranları da bulunabilir. Ya da bir ortamın indisini biliniyorsa, diğer ortamın indisi de bu bağıntı sayesinde hesaplanabilir. Kırılma indisleri farklı olan bölgelerde ışının hareketi iki şekilde gerçekleşir [36];

- $n_2 > n_1$ koşulunda, geliş açısı, geçiş açısından daha büyük olacaktır. Geliş açısı büyüdükçe, kırılma açısı da büyür. Buna rağmen geliş açısı, kırılma açısından her zaman daha büyüktür.

- $n_1 > n_2$ koşulunda, yüksek yoğunluklu ortamdan düşük yoğunluklu ortama geçiş sırasında geçiş açısı, geliş açısından daha büyüktür. Geliş açısı büyüdükçe, yansıma açısı da $90°$'ye yaklaşır.

Işımanın $90°$'lik bir açı ile kırılmasını sağlayan geliş açısına kritik açı denir. Işının kritik açıdan daha küçük bir değerle gelmesi halinde, yansıma sonucu aydınlık bölge oluşur. Eğer ışın iki ortam arasındaki yüzeye kritik açıdan daha büyük bir açıyla gelirse, ışın kırılmaya değil, yansımaya uğrar. Yoğunluğu büyük ortama kritik açıyla gelen bir ışın, $90°$'lik bir açı ile kırılır. Yoğunluğu küçük ortama $90°$'lik açı ile gelen bir ışın ise yoğunluğu büyük olan ortama kritik açı ile girer. Kritik açıyı θ_c ile gösterirsek, Snell yasasından yararlanarak şöyle bir bağıntı yazılabilir [36]:

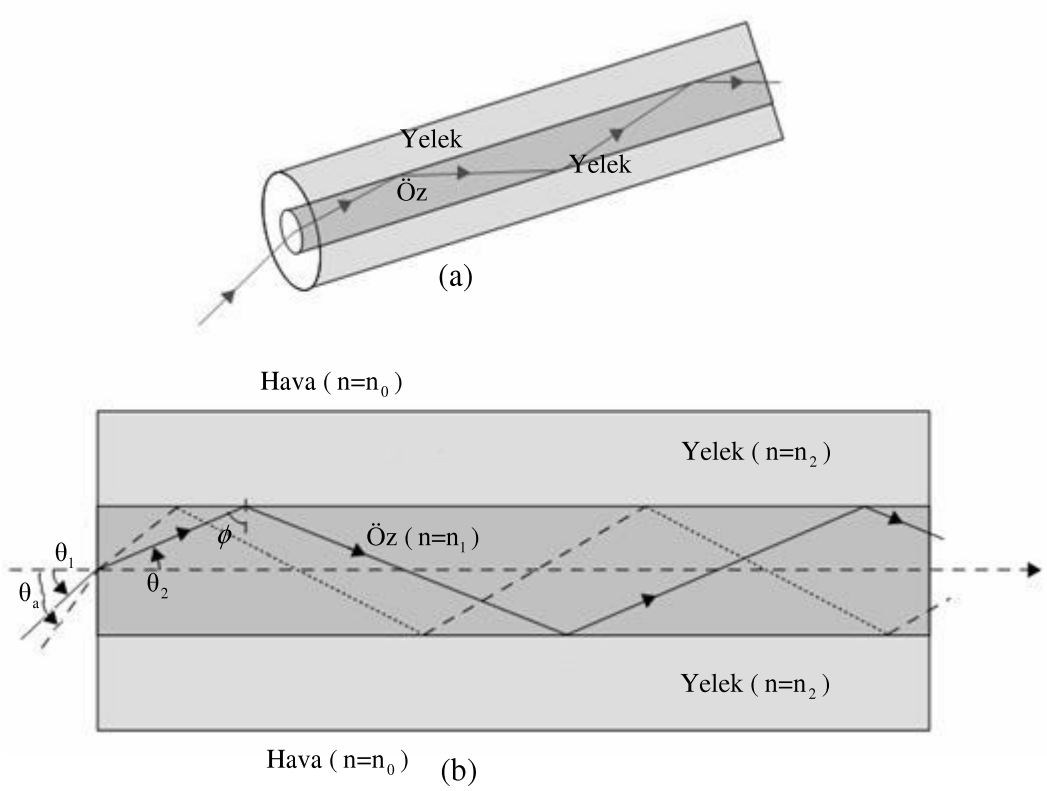
$$Sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1} \tag{3.3}$$

3.2. Optik Fiberde Işın İletimi

Optik, bilim ve teknoloji alanında bugün birçok devrimden sorumludur. Bu, 1960'da lazerin bulunuşu ile başlayıp, ardından lazerlerin büyük ölçüde geliştirilmesiyle hız kazanmıştır. Fiber optik alanındaki gelişmeler ve onun haberleşme sistemlerindeki uygulamalarında son 35 yılda bir devrim yaşanmıştır. 2001 yılı içinde, saniyede bir terabitten fazla bilgi saç teli kalınlığındaki cam fiberler aracılığıyla iletilebildi. Bu durum 21. yüzyılın en önemli bilimsel gelişmelerinden biri oldu [41].

Optik haberleşme sisteminin özünde fiber optik kablo, bilgi yüklü bir ışık demeti taşıyan iletim kanalı görevi görür. Işık demeti tam iç yansıma olgusuna bağlı olarak fiber optik aracılığıyla iletilir. Şekil 3.2.'de, n_1 kırılma indisli şeffaf bir öz ve onu saran, biraz küçük n_2 kırılma indisli şeffaf bir yelekten oluşan bir fiber yapı gösterilmektedir.

Yelek, dalga kılavuzu yapısını destekler ve yeterince kalın olduğu zaman, çevre hava ortamına radyasyonla kaybı önemli ölçüde azaltır. Işık enerjisi hem öz hem de yelek içinde taşınır. Bir ışık ışınını, optik olarak çok yoğun bir ortamdan az yoğun bir ortama geçiş sınırına kritik açıdan daha büyük bir açıyla (ϕ) gelirse, ortama yüksek bir verimlilikle (% 99,9 civarında) geri yansır.



Şekil 3.2. a) Yelekli fiber yapı. b) İdeal optik fiberlerde ışık iletimi [41].

Bu sebeple fiber özünün kırılma indisi yeleğin kırılma indisinden büyüktür. Işığın bu şekilde geldiği ortama yüksek bir verimlilikle geri yansımasına tam iç yansıma denir. İşte bir fiber optik kabloda ışının ilerlemesi, bu şekilde tekrarlanan tam iç yansımalar şeklinde gerçekleşir. Şekil 3.2.'de gösterilen ışın iletimi, özü ve öz-yelek ara-yüzeyi düzgün olan ideal fiber içindir. Öz eksenini keserek ilerleyen bu tür ışınlara meridyenel ışınlar denir. Öz-yelek ara-yüzeyindeki süreksizlikler ve bozukluklar, tam iç yansımadan ziyade ışınların kırılmasına sebep olur. Bu durumda ışık ışını yeleğe girerek kayıpların oluşmasına yol açar [42].

3.2.1. Bağıl Kırılma İndis Farkı (Δ)

Genellikle kırılma indislerinin yerine, aşağıda tanımlanan bağıl kırılma indis farkı (Δ), bir fiberin karakteristiklerinden biri olarak kullanılır [41].

$$\Delta = \frac{n_1^{\,2} - n_2^{\,2}}{2n_1^{\,2}} \cong \frac{n_1 - n_2}{n_1} \qquad (n_1 \cong n_2 \text{ yani } \Delta << 1 \text{ için}) \tag{3.4}$$

3.2.2. Kabul Açısı

Kabul açısı, ışığın fiber içerisinde ilerleyebilmesi için, girişte fiber ekseni ile yapacağı en büyük açıya (θ_a) denir. Bu açının oluşturduğu koni biçimindeki şekle ise kabul konisi denir. Kabul açısı Şekil 3.2.'de gösterilmiştir [42].

3.2.3. Nümerik Açıklık

Işık ışını, ancak kabul açısından daha küçük bir açıyla fibere geldiğinde kılavuzlanabilir ve fiber, nümerik açıklık olarak adlandırılan, bir karakteristik kabul açısına sahiptir [43].

$$(NA) = n_0 \sin\theta_a = (n_1^{\,2} - n_2^{\,2})^{1/2} \tag{3.5}$$

Genel olarak $n_0 = 1$ (hava) için; $NA = \sin\theta_a$ olur. (en fazla 1 olur)

3.2.4. Normalize Frekans

Fiber içinde kılavuzlanan mod sayısını ve modların öz ve yelekteki güç oranlarını belirleyen normalize frekans (V),

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a(n_1^{\,2} - n_2^{\,2})^{1/2} = \frac{2\pi}{\lambda} a n_1 (2\Delta)^{1/2} \tag{3.6}$$

şeklinde verilir [44]. Burada; λ, dalga boyu ve a, fiber özünün yarıçapıdır. Tek modlu yayınım için, $0 \le V \le 2,405$ olmalıdır.

3.3. İndis Profiline Göre Fiber Türleri

Optik fiberleri, indis profiline göre basamak indisli ve gradyan indisli fiberler şeklinde gruplara ayırmak mümkündür.

3.3.1. Basamak İndisli Fiberler

Öz kırılma indisi n_1=sabit ve yelek kırılma indisi $n_2 < n_1$ (biraz küçük) olmak üzere, kırılma indisi profili,

$$n(r) = \begin{cases} n_{1,} & r < a \\ n_{2,} & r \ge a \end{cases} \tag{3.7}$$

ile verilen fiberlere basamak indisli fiberler denir. Burada a fiber özünün yarıçapı, r ise fiber öz ekseninden olan uzaklığı göstermektedir [41].

Beslediği mod sayısına göre bu tür fiberler ikiye ayrılır. Bunlar fiber içinde pek çok modun yayılmasına izin verecek kadar büyük öz çapına sahip olan çok modlu basamak indisli fiberler ve sadece bir enine EM modun (tipik olarak HE_{11}) yayılmasına izin veren öz çapı yaklaşık olarak 2-10 μm olan tek modlu basamak indisli fiberler olarak isimlendirilirler. Bu fiberler, düşük band genişlikli uygulamalar için tek modlulara göre şu üstünlüklere sahiptir [42];

- Tek modlu fibere etkili şeklide kutuplanamayan, uzaysal olarak koherent olmayan optik kaynakların kullanılması (ışık yayan diyotların -LED- çoğu).
- Büyük öz çapları olduğu kadar, büyük nümerik açıklıklara sahip olmaları (bu da optik kaynaklara bağlaşımı kolaylaştırır).
- Fiber bağlama elemanları üzerine daha düşük tolerans gerekleri.

3.3.2. Gradyan İndisli Fiberler

Gradyan indisli fiberler öz içinde sabit bir kırılma indisine sahip değillerdir $(n_2 \le n(r) \le n_1)$. İndis değişimi;

$$n(r) = \begin{cases} n_1\left[1 - 2\Delta(r/a)^{\alpha}\right]^{1/2}, & r < a \ \text{(öz)} \\ n_2(1-2\Delta)^{1/2} = n_2, & r \ge a \ \text{(yelek)} \end{cases} \tag{3.8}$$

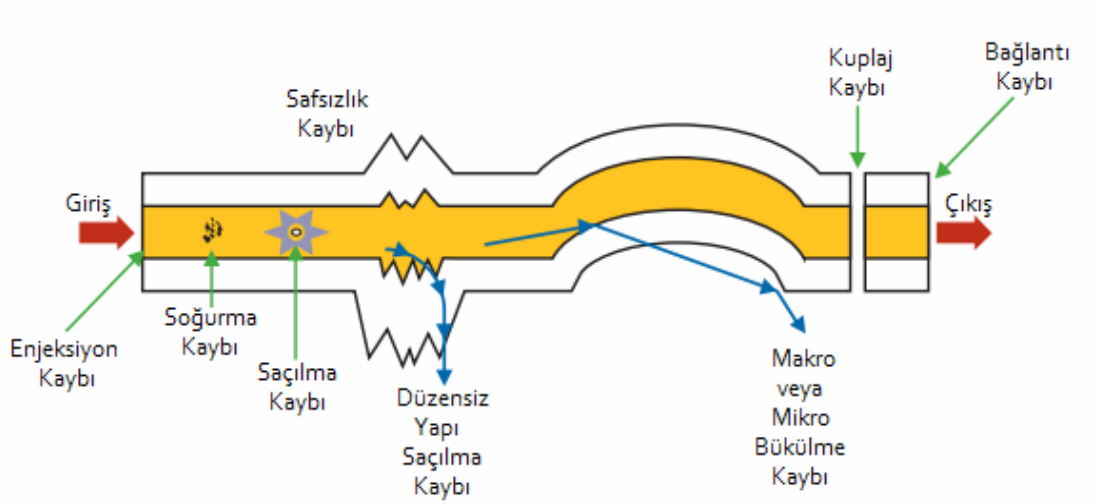
şeklinde ifade edilir [44]. Burada; a, fiber özünün yarıçapı; α, fiber özünün karakteristik kırılma indisini belirleyen profil parametresi; Δ, değeri Eşitlik 3.4. ile verilen bağıl kırılma indis farkıdır.

3.4. Fiber Optik Kablolarda Kayıplar

Fiber optik kablolarda iletim kayıpları, fiberin en önemli özelliklerinden biridir. Fiberdeki kayıplar, ışık gücünde bir azalmaya neden olur ve böylece sistem bant genişliğini, bilgi iletim hızını, verimliliği ve sistemin genel kapasitesini azaltır.

Fiber ekseninin düz olmayışı, öz çapındaki değişmeler, öz-yelek ara-yüzeyindeki düzensizlikler ve kırılma indisi değişimleri gibi dalga kılavuzu bozuklukları

(perturbasyon) fiberin yayılma karakteristiklerini değiştirebilir. Bu durum, bozukluğun cinsine bağlı olarak, bir modda taşınan enerjinin bir diğer moda aktarılmasına yol açar [42]. Şekil 3.3.'de fiber içerisinde ilerleyen ışın için kayıp mekanizmaları gösterilmiştir. Başlıca fiber kayıpları aşağıda kısaca özetlenmiştir [45].



Şekil 3.3. Fiberde kayıp mekanizmaları [46].

3.4.1. Soğurma Kayıpları

Fiber optikteki soğurma (yutma) kaybı, bakır kablolardaki güç kaybına benzer; fiberin saf olmaması nedeniyle fiberde bulunan maddeler, ışığı soğurur ve ısıya dönüştürür. Fiber optikleri imal etmede kullanılan aşırı saf cam, yaklaşık % 99,9999 saftır. Gene de, 1 dB/km civarındaki soğurma kayıpları tipik değerlerdir. Fiber optikteki soğurma kayıplarına yol açan üç faktör vardır;

- Morötesi soğurma
- Kızılaltı soğurma
- İyon rezonans soğurması: İyon rezonans soğurmasına, malzemedeki OH-iyonları neden olur. OH-iyonlarının kaynağı, imalat sürecinde camın içinde sıkışıp kalan su molekülleridir. İyon soğurmasına demir, bakır ve krom molekülleri de neden olabilir.

3.4.2. Malzeme ya da Rayleigh Saçınım Kayıpları

İmalat sürecinde, cam çekilerek çok küçük çaplı uzun fiberler haline getirilir. Bu süreç esnasında, cam plastik haldedir (sıvı ya da katı halde değil). Bu süreç esnasında cama uygulanan germe kuvveti, soğuyan camda mikroskopla görülmeyecek kadar küçük düzensizliklerin oluşmasına neden olur. Bu düzensizlikler fiberde kalıcı olarak oluşur. Işık ışınları, fiberde yayınım yaparken bu düzensizliklerden birine çarparsa kırınım meydana gelir. Kırınım, ışığın birçok yönde dağılmasına ya da saçılmasına yol açar. Kırınım yapan ışığın bir kısmı fiberde yoluna devam eder, bir kısmı da koruyucu yelek üzerinden dışarı kaçar. Kaçan ışık ışınları, ışık gücünde bir kayba karşılık gelirler. Buna Rayleigh saçınım kaybı denir.

3.4.3. Renk ya da Dalga Boyu Dispersiyonu

Daha önce de belirtildiği gibi, bir ortamın kırılma indisi dalga boyuna bağlıdır. Işık yayan diyotlar (LED'ler) çeşitli dalga boylarını içeren ışık yayarlar. Bileşik ışık sinyalindeki her dalga boyu farklı bir hızda ilerler. Dolayısıyla, bir LED'den aynı zamanda yayılan ve fiber optikte yayınım yapan ışık ışınları, fiberin en uç noktasına aynı anda ulaşmazlar. Bunun sonucu olarak, alma sinyalinde bozulma meydana gelir; buna kromatik bozulma denir.

3.4.4. Yayınım Kayıpları

Yayınım kayıplarına, fiberdeki küçük bükümler ve burulmalar neden olur. Temel olarak, iki tür büküm vardır: Mikro büküm ve sabit yarıçaplı büküm. Mikro büküm, öz malzemesi ile koruyucu yelek malzemesinin ısıl büzülme oranları arasındaki farktan kaynaklanır. Mikro büküm, fiberde Rayleigh saçınımının meydana gelebileceği bir süreksizlik oluşturur. Sabit yarıçaplı bükümler, fiberin yapımı ya da monte edilmesi sırasındaki bükülmeler sonucu meydana gelir.

3.4.5. Modal Dispersiyon

Modal dispersiyonun ya da darbe dispersiyonunun nedeni, bir fiberde farklı yollar izleyen ışık ışınlarının yayınım sürelerindeki farktır. Modal yayılmanın yalnızca çok modlu fiberlerde meydana gelebileceği açıktır. Gradyan indisli fiberler kullanılmak suretiyle model yayılma önemli ölçüde azaltılabilir; tek modlu basamak indisli fiberler kullanıldığında ise hemen hemen bütünüyle bertaraf edilebilir. Modal dispersiyon, bir

fiberde yayınım yapmakta olan bir ışık enerjisi darbesinin yayılarak dağılmasına neden olabilir. Eğer darbe dispersiyonu yeterince ciddiyse, bir darbe bir sonraki darbenin tepesine düşebilir (bu, semboller arası girişime bir örnek oluşturmaktadır). Çok modlu gradyan indisli bir fibere de, doğrudan fiber ekseni üzerinden yayınım 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 dahili yansımaya maruz kalacak, dolayısıyla fiberi bir ucundan diğer ucuna en uzun sürede kat edecektir.

3.4.6. Bağlaşım Kayıpları

Fiber kablolarda, üç optik eklem türünden herhangi birinde bağlaşım kayıpları meydana gelebilir: Işık kaynağı-fiber bağlantıları, fiber-fiber bağlantıları ve fiber fotodedektör bağlantıları. Eklem kayıplarına ise yanal ayarsızlık, açısal ayarsızlık, aralık ayarsızlık ve kusursuz olmayan yüzey sebep olur.

3.5. Fiber Optik Algılayıcılar

Optik haberleşmede iletim ortamı olarak kullanılan optik fiberlerin kullanımı, 1960'lı yıllardan günümüze kadar artarak devam etmiştir. Optik fiberlerin, yüksek band genişliği, düşük gürültü, düşük kayıp, yüksek iletim hızı, elektromanyetik girişimden etkilenmeme, elektriksel izolasyon kolaylığı ve küçük boyut gibi birçok üstünlükleri vardır. Bu avantajlar, haberleşme, bilgisayar yerel ağ bağlantıları, endüstriyel otomasyon ve kontrol gibi birçok alanın yanı sıra optik fiberlerin, algılayıcı uygulamaları için de tercih nedeni olmalarını sağlamıştır [47].

Elektronik sistemlerin çoğunda algılayıcıların rolü oldukça büyüktür. Fiber optik algılayıcılar büyüyen yeni kullanım alanlarının yanı sıra patlayıcı ve elektromanyetik girişimden etkilenen olumsuz çevre koşullarında kullanılmaya elverişlidir.

Fiber optik algılayıcıların temeli, fiber boyunca hareket eden optik sinyalde meydana gelen değişimleri gözlemlemeye dayanır [48, 49]. Bir optik alan; polarizasyon, genlik ya da şiddet, frekans ya da dalga boyu ve faz olmak üzere dört önemli parametreden oluşmaktadır. Dışsal etki ile bu parametrelerde meydana gelen değişim algılanarak dışsal etkinin miktarı belirlenir. Parametrelerdeki değişim miktarını doğru olarak ölçmek ve değerlendirmek optik algılayıcı güvenirliliği için çok önemlidir.

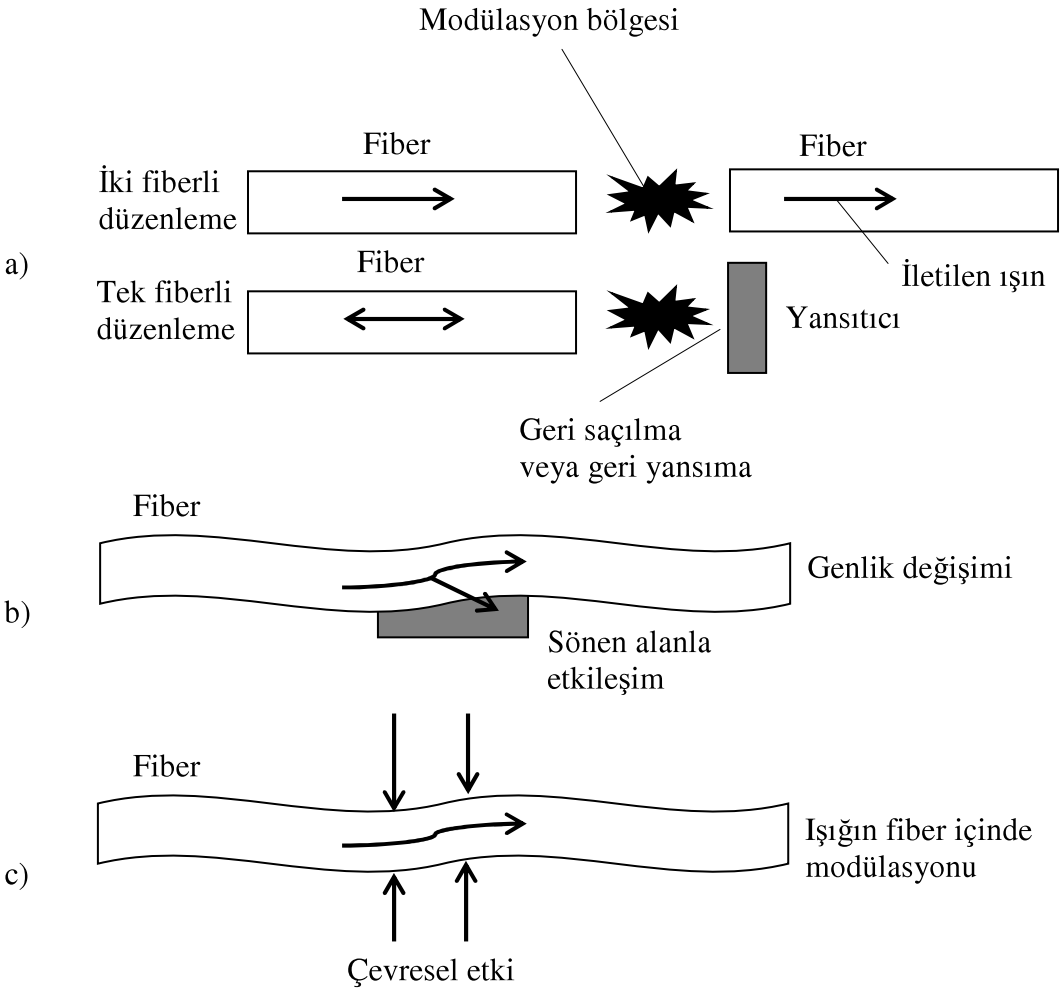
Fiber optik algılayıcılar, modülasyon ve demodülasyon işlem türüne göre, şiddet temelli, polarizasyon temelli, faz temelli ve frekans temelli fiber optik algılayıcılar olarak dört gruba ayrılırlar. Optik araştırmalarda, faz ya da frekans algılanması, interferometrik teknik olarak adlandırılır. Algılama mekanizması faz değişimi olan fiber optik interferometrik algılayıcılar, çoğu algılayıcı yapısına göre karmaşık yapıdadır ve yüksek çözünürlük gerektiren uygulamalar için iyi bir performans sunmaktadır. Optik interferometrik algılayıcıların duyarlılığı ve çözünürlüğü, şiddet ve polarizasyon temelli algılayıcılardan daha iyidir [48].

Fiber optik algılayıcılar, uygulama alanlarına göre, sıcaklık ve basınç ölçümünde kullanılan fiziksel algılayıcılar, gaz analiz ve pH ölçümünde yer alan kimyasal algılayıcılar ve biyolojik işaretlerin gözlenmesinde yararlanılan biyomedikal algılayıcılar olarak sınıflandırılır.

3.5.1. Fiber Optik Algılayıcıların Sınıflandırılması

Fiber optik algılayıcılar, modülasyon bölgesine göre ise, içte etkileşimli (intrinsic) ve dışta etkileşimli (extrinsic) algılayıcılar olmak üzere iki grupta incelenir [50]. İçte etkileşimli algılayıcılara aktif algılayıcılar, dışta etkileşimli algılayıcılara da pasif algılayıcılar denmektedir. Pasif tipte ışığın modülasyonu (değişikliğe uğratılması), sadece ışığı taşıyıcı olarak iş gören fiberin dışında olur (Şekil 3.4.a., Şekil 3.4.b.). Aktif algılayıcılarda ise, ölçülecek etki doğrudan fibere uygulanır ve modülasyon fiberin içinde olur (Şekil 3.4.c.) [42].

Fiberlerin aktif algılayıcılar olarak kullanılması halinde, fiber içindeki ışığın ya kutuplanma durumunu, ya genliğini veya fazını modüle etmek mümkündür. Bununla beraber, çok modlu fiberlerde, yayılan modların fazları ve kutuplanma durumları arasındaki çoğunlukla rastgele ilişkiler ve mod bağlaşımı (kuplaj) faz ya da kutuplanma modülasyonunun kullanılmasını önler. Böylece aktif çok modlu fiber algılayıcılar, hemen hemen daima genlik modülasyonunu kullanır. Diğer taraftan tek modlu fiberlerde, faz ve kutuplanma modülasyonunun her ikisi de mümkün olur. Faz modülasyonu, son derece yüksek duyarlılıklar sunabilen fiber temelli interferometrik algılayıcıların kullanılmasına imkan sağlar. Aktif fiber algılayıcılarına dahil edilebilen bir üçüncü tip algılayıcı sönen alanlı (evanescent) algılayıcıdır (Şekil 3.4.b.) [42].



Şekil 3.4. Üç tip fiber optik algılayıcının şematik gösterimi.

3.5.1.1. Pasif veya Dışta Etkileşimli (Extrinsic) Algılayıcılar

Pasif fiber optik algılayıcılarda algılama, fiberin dışındaki bir bölgede, algılanacak niceliğin ışık üzerinde yapacağı modülasyon ölçülmesiyle yapılır. Modülasyon, ışık üzerinde ya doğrudan veya bir modülatör kullanarak dolaylı olarak yapılır [42]. Dışta etkileşimli algılayıcılarda, algılama fiberin dışında gerçekleştiği için, burada fiberin asıl görevi, ışığı verimli bir şekilde istenen formda algılama bölgesine ulaştırmaktır [51, 52].

3.5.1.2. Aktif veya İçte Etkileşimli (Intrinsic) Algılayıcılar

İçte etkileşimli fiber optik algılayıcılar ise, çevresel etkiyle ışığın modülasyonunu fiber içinde ölçerler. Bu tür algılayıcılarda, algılamayı gerçekleştirmek için optik fiberin öz bölgesinin yapıldığı camın kimyasından yararlanılır. Burada kullanılan temel mekanizmalar, soğurma, saçılma, flouresan, yansıma katsayısındaki değişim ve

polarizasyondur [51, 52]. Bu tip algılayıcılarda ışığın modülasyonu tamamen fiberin içinde gerçekleştiği için, bunlara tamamen fiber algılayıcılar da denir. Ölçülecek niceliğin fiber üzerine uygulanması ile fiberin geometrik, fiziksel veya optik özellikleri (çap, kırılma indisi, fiber boyu, bükülme kaybı) değiştirilerek fiber içinde yayılan ışık modüle edilebilir. Bu tip aktif algılayıcılara içten modülasyonlu algılayıcılar denebilir. İnterferometrik algılayıcı denilen diğer tip aktif algılayıcılarda ise algılama prensibi olarak, iki farklı koldan (referans kolu ve ölçme kolu) geçirilen ve aynı kaynaktan sağlanan koherent ışığın girişim etkileri kullanılır. İçten modülasyonlu algılayıcılarda faz modülasyonu, kutuplanma modülasyonu, benek deseni değişimi, mikro bükülme kaybı kavramları kullanılır [42].

4. BÖLÜM

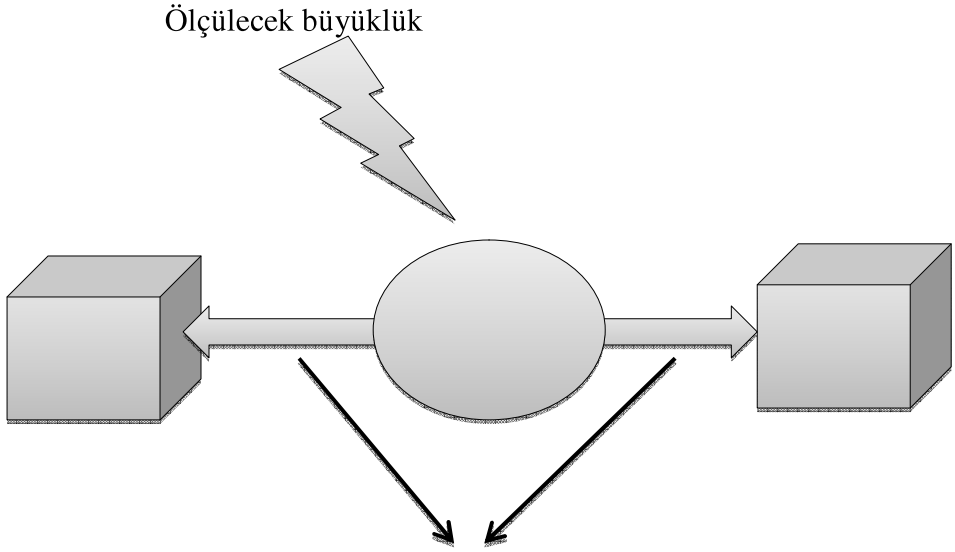
YÖNTEM, MATERYAL ve ALGILAMA BÖLGESİNİN OLUŞTURULMASI

4.1. Algılama Sisteminin Tanımı

Bu bölümde POF kullanarak, bükülmeyle hassasiyeti artırılmış, kırılma indisi değişimine duyarlı bir fiber optik algılayıcı tasarımının ayrıntıları verilmiştir. Tasarlanan algılayıcı ile inek sütü içerisinde bulunması olası, hilecilik maddeleri tespit edilmiştir. Ayrıca tasarlanan algılayıcının taşınabilirliği sağlanarak, yerinde ölçüm yapmaya da uygun hale getirilmiştir. Ortamın kırılma indisi artığında algılayıcı cevabının artması ise ekranda okunan değerlerin, kolay yorumlanabilirliğini sağlamıştır. Son olarak, tasarlanan algılayıcının, fiber optik kablolarla uzatılarak, her an ulaşılması muhtemel olmayan ortamlarda da çalışabileceği gösterilmiştir.

4.2. Fiber Optik Algılayıcı Bileşenleri

Fiber optik algılayıcılar, genelde bir verici, fiber optik kablo ve bir alıcıdan oluşurlar. Fiberlerin aktif algılayıcılar olarak kullanılması durumunda, fiber içindeki ışığın ya kutuplama durumunu, ya genliğini veya fazını modüle etmek mümkündür. Bununla beraber çok modlu fiberlerde, yayılan modların fazları ve kutuplanma durumları arasındaki çoğunlukla rastgele ilişkiler ve mod bağlaşımı faz ya da kutuplanma modülasyonunun kullanılmasını önler. Böylece aktif çok modlu fiber algılayıcılar, hemen hemen daima genlik modülasyonunu kullanır [42]. Aktif çok modlu fiber algılayıcıda, taşınan optik sinyalin genliği, algılanacak etki tarafından değiştirilir ve bu sayede genlik değişimi algılanacak özellikle ilişkilendirilebilir. Şekil 4.1.'de bir fiber optik algılayıcı yapısının genel gösterimi verilmektedir. Aşağıda, bu bileşenlerden genel olarak bahsedilerek, tasarlanan algılayıcı sisteminde kullanılan materyallere değinilmiştir.



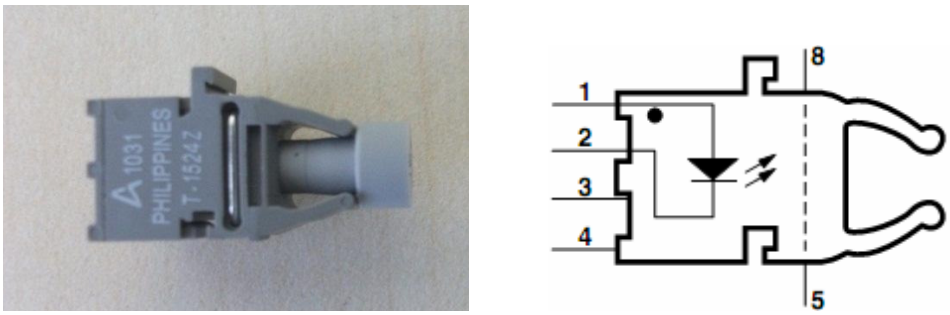
Şekil 4.1. Bir fiber optik algılayıcı yapısının genel gösterimi.

4.2.1. Optik Vericiler

Işık kaynağının temel görevi, elektriksel enerjiyi ışık enerjisine dönüştürmektir. Başka bir değişle, bu kaynaklar, fiber optik algılayıcılara ışık sağlamak için kullanılır. Yarı iletken fiber optik algılayıcılar boyut, maliyet, güç tüketimi ve güvenirlilik açısından en iyi avantajı sağlar [50, 53]. Bu yüzden LED (Light Emitting Diode) ve LD (Laser Diode) tipi yarı iletken ışık kaynakları, fiber optik algılayıcı uygulamalarında yaygın olarak kullanılır. LD'lar, interferometrik algılayıcılar için gerekli olan yüksek modülasyon genişliğine sahip olma ve eş fazlı radrasyon yayma gibi özelliklere sahiptir. Buna karşın, LD'lara göre LED'ler daha uzun ömürlüdür, daha ucuzdur ve ısıya karşı daha az duyarlıdır.

Çalışmada, Şekil 4.2.'de gösterilen, HFBR-1524Z parça numaralı fiber optik verici (trasmitter) kullanılmıştır [54]. Bu optik kaynağın çalışma sıcaklık aralığı $-40°C$ ile $+85°C$ arasındadır ve bu sıcaklık aralığı ölçümlerimiz için yeterli olmuştur. Yaydığı ışığın dalga boyunun tepe değeri 660 nm'dir. Bu da elektromanyetik tayfta görünür bölgedeki kırmızı ışığa karşılık gelmektedir. Besleme voltajının ortalama 1,67 V gibi bir değerde olması da taşınabilir uygulamalar için avantaj sağlamaktadır. Optik kaynağın

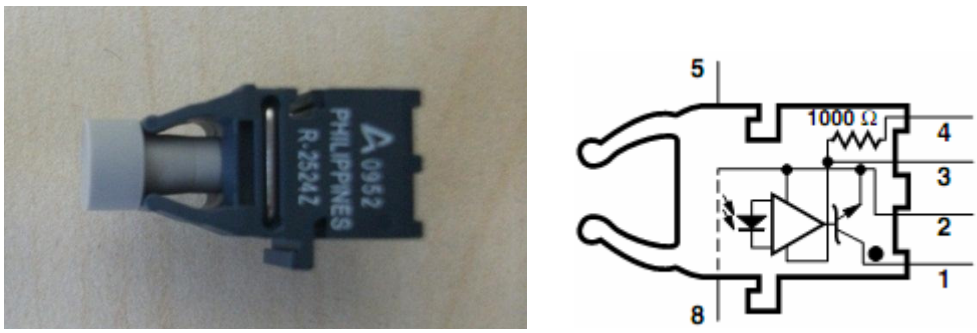
nümerik açıklık değerinin 0,5 olması, bağlanılacak optik fiber kabloya 60° 'lik bir kabul konisi sağlamaktadır.



Şekil 4.2. Fiber optik verici (transmitter).

4.2.2. Optik Alıcılar

Optik detektörler, yer aldıkları optik haberleşme sisteminin performansını yönlendiren elemanlardan birisidir; görevleri, alınan optik sinyali elektriksel sinyale dönüştürmektir. Sistem içindeki önemli yerinden dolayı dedektörler, çalıştığı dalga boyunda yüksek duyarlılık, alınan optik sinyale büyük elektriksel cevap verme, kısa cevap zamanı, minimum gürültü, durağan performans karakteristiği küçük boyut, düşük fiyat ve yüksek güvenilirlik gibi özelliklere sahip olmalıdır. Optik dedeksiyon için bu özellikleri en iyi şekilde karşılayanlar, yarı iletken foto diyotlardır. Optik haberleşmede yaygın olarak kullanılan yarı iletken foto diyotlar, PIN (Positive Intrinsic Negative) diyotlar ve APD (Avalanche Photo Diode, çığ etkili foto diyotlar) dir [55].



Şekil 4.3. Fiber optik alıcı (receiver).

Çalışmamızda, Şekil 4.3.'de gösterilen, HFBR-2524Z parça numaralı fiber optik alıcı (receiver) kullanılmıştır [54]. Bu optik alıcının, çalışma sıcaklığı, dalga boyu ve nümerik açıklık gibi değerleri, yukarıda bahsedilen optik verici için verilen değerler ile aynıdır.

Bu verici-alıcı çiftinin haricinde Tablo 4.1.'de parça numaraları verilen farklı tip verici-alıcı çiftleri, sinyal işleme devremizin geliştirilme aşamalarında denenmiştir. Fakat sinyal işleme devresinin son hali Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.'de verilen verici-alıcı çiftiyle yapılmıştır.

Tablo 4.1. Fiber optik verici-alıcı çiftleri parça numaraları.

Verici	Alıcı
HFBR-1521Z	HFBR-2521Z
HFBR-1522Z	HFBR-2522Z
HFBR-1523Z	HFBR-2523Z

4.2.3. Plastik Optik Fiberler

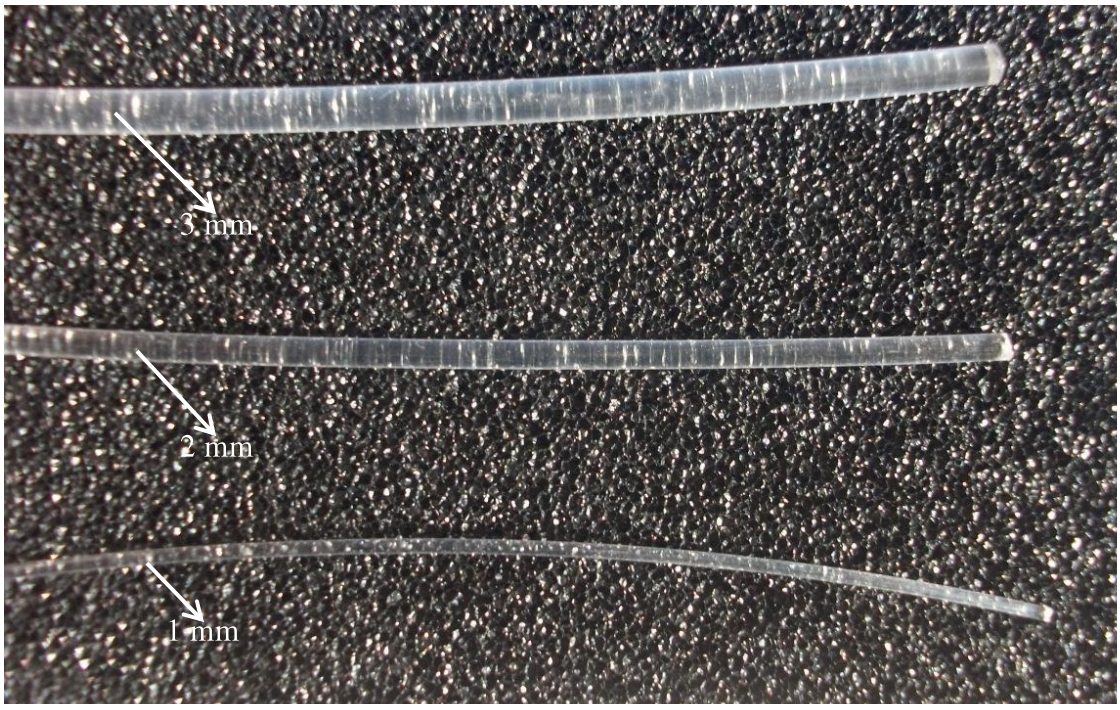
Birçok metal ve seramik fiber optik bileşenlerin yerini, maliyeti azaltmak için, plastik veya polimer malzemeler almıştır [56]. Silika esaslı optik fiberler uzak mesafe haberleşme amaçları için en yaygın kullanılmalarının yanında, ek yapma sırasındaki zorluklar ve kırılganlığı sebebiyle de dezavantajları vardır. Kısa ve orta mesafeli (çok sayıda bağlantı ihtiva eden) haberleşmeler için yüksek kayıplı kolay kullanımlı fiberler tercih edilebilir. Plastik fiberler bu tür fiberlerdir. Plastik fiberleri kendi içinde ikiye ayırmak mümkündür; Plastik Yelekli Silika Fiberler (Plastic Clad Silica, PCS) veya Plastik Yelekli Optik Fiberler (PCOF) ve Tamamen Plastik Fiberler (Plastic Optical Fibers, POF). PCOF fiberler, çoğu kez camsı silika olan bir cam öze ve genellikle silikon elastomer olan daha düşük kırılma indisli yeleğe sahiptirler [42].

Başlıca USA ve Japonya'da geliştirilen POF fiberler, şu ana kadar, onları 10 Mb/s'lik bir hızla 150 m'nin üzerindeki mesafeler için uygun yapan bir zayıflatma değerine ulaşmıştır. Bütün ticari POF fiberler basamak indisli yapıdadırlar. Kullanışlı fiberlerin çapları oldukça değişkendir ve 3 mm kadar geniş olabilir. Ortalama nümerik açıklık 0,5'dir. Öz genellikle bir floropolimer kaplı PMMA (poli-metil-metaklirit) dır. Polistiren özlü POF'lar da yapılmıştır. Ticari POF fiberler 570 ve 660 nm arasındaki

dalga boyları için optimize edilmişlerdir ve 85℃'nin altındaki sıcaklıklarda kullanılırlar. Öz çapları büyüktür (>1000μm) ve zayıflatma değeri yüksektir (birkaç bin dB/km); ayrıca yüksek dispersiyona (300-700 ns) sahiptirler. Bu yüzden tipik çalışma mesafeleri 1km'den azdır [42].

Plastik fiberlerin termal zafiyeti önemlidir. En yaygın kullanılan plastiklerde, 80°C-100°C arasındaki sıcaklıklarda, optik kayıplar kadar mekanik güvenilirlik gibi polimer yapısında değişimler söz konusu olabilir. Bunula beraber, kısa fiber, yüksek NA, sıkı bükme çapları, düşük bant genişliği veya ucuz sistem elemanları (konektör gibi) gerektiren uygulamalar, plastik fiber kullanma fırsatı sağlarlar [42].

Uygulamada üç tip ceketsiz polimer fiber (bare polymer fibre) kablo kullanılmıştır (Şekil 4.4.). Çalışma sıcaklıkları, nümerik açıklıkları ve taşıyabildikleri ışığın dalga boyları, yukarıda verilen optik verici-alıcı çiftleri içinde uyumluluk göstermektedir. Bu kabloların elektriksel ve optik özellikleri Tablo 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Uygulamada kullanılan ceketsiz fiberler.

Tablo 4.2. Uygulamada kullanılan fiberlerin elektriksel ve optik özellikleri [57].

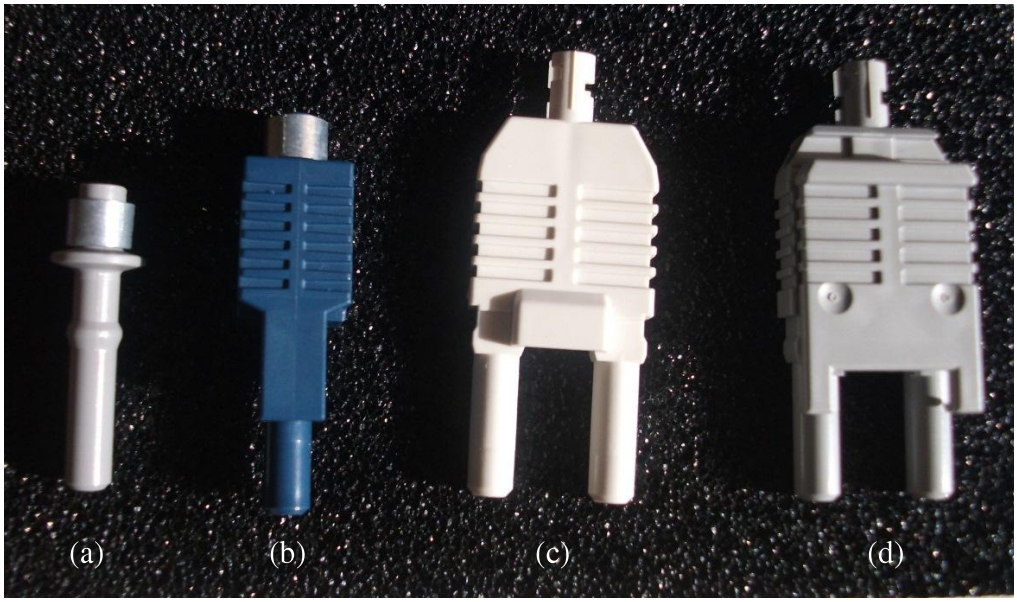
Çap (μm)		Nümerik Açıklık	Kırılma İndisi	Sıcaklık Aralığı
Fiber	Öz			
1000	980	0,5	1,49	-55°C / +70 °C
2000	1960	0,5	1,49	-55°C / +70 °C
3000	2944	0,5	1,49	-55°C / +70 °C

Ayrıca, uzaktan algılama denemesi için, Şekil 4.5.'de gösterilen, biri 10 m, diğeri 20 m olmak üzere iki adet çift yönlü ceketli yapı fiberler kullanılmıştır. Bu fiber kablonun öz bölgesi polimetil metakrilat (polymethyl methacrylate) ve kaplama bölgesi ise florin polimer (fluorinated polymer)'den yapılmış, basamak indisli bir fiberdir. Nümerik açıklığının 0,5 olmasından dolayı $60°$'lik bir kabul konisi sağlamaktadır [58]. Bunların yanı sıra, çalışma sıcaklığı ve taşıyacağı ışığın dalga boyu değerleri de kullanılan optik verici-alıcı çifti ve algılama bölgesinin oluşturulmasında kullanılan ceketsiz fiberlerle de uyum göstermektedir.



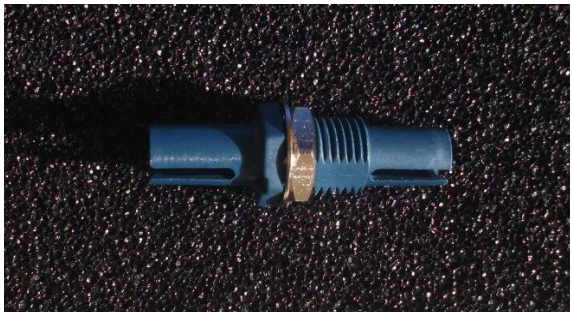
Şekil 4.5. Çift yönlü ceketli yapı fiberler.

Plastik fiber optik kabloları, sonlandırmak için dört tip konektör uygulamada kullanılmıştır (Şekil 4.6.). Bunlar, tek yönlü (simplex) (Şekil 4.6.a.), tek yönlü mandallı (simplex latching) (Şekil 4.6.b.), çift yönlü (duplex) (Şekil 4.6.c.) ve çift yönlü mandallı (duplex latching) (Şekil 4.6.d.) olarak isimlendirilirler.



Şekil 4.6. Plastik fiber konektör tipleri a) tekyönlü. b) tekyönlü mandallı. c) çift yönlü. d) çift yönlü mandallı.

Algılama bölgesinin oluşturulmasında kullanılan ceketsiz fiberler ile çift yönlü ceketli yapıdaki fiberleri birleştirmek için, Şekil 4.7.'de gösterilen birleştirici adaptör (bulkhead adapter) kullanılmıştır.

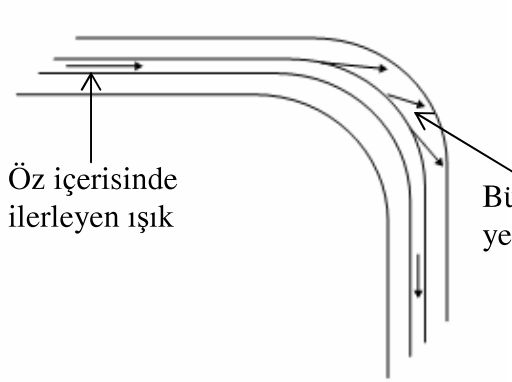


Şekil 4.7. Birleştirici adaptör.

4.3. Fiber Bükülme Kayıpları

Fiberin içindeki kayıplardan ayrı olarak, bir fiber yolu boyunca eğrilik ve bükülmeler nedeniyle, fiber içerisinde ilerleyen ışınlar için kayıplar oluşmaktadır. Bu tür kayıplara fiber bükülme kayıpları denilir (Şekil 4.8.). Bu kayıplar, öz ve yelek indis farklılıkları, öz yarıçapı ve çalışılan dalga boyuna da bağlıdır. Öz ile yeleğin kırılma indisleri arasındaki fark arttırıldığında daha büyük nümerik açıklığa sahip olan fiberler

oluşturulabilir ve bu fiberlerin bükülmeye karşı duyarlılıkları daha azdır. Bunun yanında tek modlu fiberlerde mümkün olan en kısa dalga boyunda çalışmak da, fiberin bükülmeye karşı olan duyarlılığını azaltır [41]. Bu tür kayıplara makro bükülme kayıpları da denmektedir.



Şekil 4.8. Bir fiber bükümünde radyasyon ile kayıp.

Bir dalga cephesinin, yayılma yönüne dikliğinin sürmesi için, modun, bükümün dış taraftaki kısmının iç taraftaki kısımdan daha hızlı ilerlemesi gerekir. Sonuçta, modun yelek içindeki kısmının, o ortamdaki ışığın hızından daha hızlı hareket etmesi gerekir. Bu mümkün olmadığından, modun bu kısmına eşlik eden enerji radyasyon yoluyla kaybolur. Ampirik (deneysel verilere dayanarak) olarak, makro-bükülme kaybı, dB olarak,

$$\gamma_b = 10\log\frac{\alpha+2}{(2\alpha)(a/R\Delta)} \tag{4.1}$$

ifade edilebilir [42]. Burada Δ, bağıl kırılma indis farkı; R, bükülme yarıçapı; a, öz yarıçapı ve α, profil parametresidir. Kritik bir eğrilik yarıçapında (R_C), büyük miktarlarda bükülme kayıpları meydana gelir [42]:

$$R_C \cong \frac{3n_1^2\lambda}{4\pi(n_1^2-n_2^2)^{3/2}} \tag{4.2}$$

Eşitlik 4.2.'den, bükülmeye olan duyarlılığın, (a) büyük bağıl kırılma indis farkları olan fiberler tasarlayarak, (b) mümkün en kısa dalga boyunda çalışarak azaltılabileceği görülmektedir. Artık, fiber özü içinde tamamıyla kılavuzlanamayan, kesime yakın

yayılan modlar, daha büyük eğrilik yarıçaplarında radyasyona uğrayabilirler. Bu yüzden kritik yarıçapa yakın eğrilik yarıçaplı keskin bükülmelerden, optik fiber kablolar tesis edilirken, sakınılır. Şekil 4.8.'de bükülme yüzünden oluşan kaybın yapısı gösterilmiştir. Çok modlu fiberde yüksek dereceli modlar kaybolduğundan toplam zayıflama yüksektir. Bu yüzden çok modlu fibere ait bükülme kaybı, dalga boyundan bağımsızdır [42].

Diğer kayıplar ve bükülme kayıplarından dolayı ışın, eksenle artık aynı açıyı yapmaz. Bu durum, elektromanyetik teoride ışığın yayılma modunda bir değişime karşılık gelir. Bu yüzden modlar komşu modlara büyük enerji transferi yapmadan fiber boyunca normal şekilde yayılmazlar. Bu mod dönüşümü, mod bağlaşımı veya mod karışımı olarak bilinir. Mod bağlaşımı, fiberin iletim özelliklerini (en önemlisi dispersif özellikler) birkaç önemli şekilde etkiler [42].

4.3.1. Bükülmüş Fiber İçin Yaklaşımlar

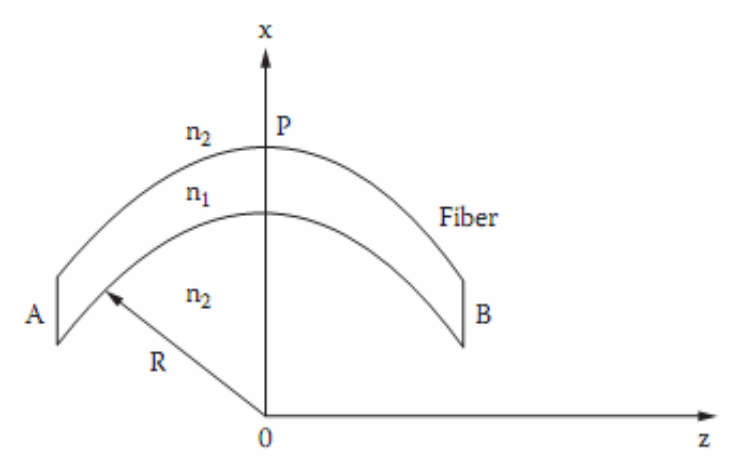
Şekil 4.9.'daki fiber, deforme edildiğinde kırılma indisi aynı kalır fakat fiberin geometrisi değişir. Bununla birlikte bükülmüş fiber geometrisi üzerine bir çözüm elde etmek oldukça zordur. Şekil 4.10.'daki gibi, bükülmüş fiberi temsil eden bir geometriye yaklaşım kullanarak bu problemi analiz edebiliriz. Başka bir deyişle, bükülmüş fiber eşdeğer bir düz çizgiye dönüştürülmüş olur. Böylelikle kırılma indisi x yönü boyunca değişir ve

$$n^2(r) - n_0^2 = \frac{2x}{R} n_0^2 \tag{4.3}$$

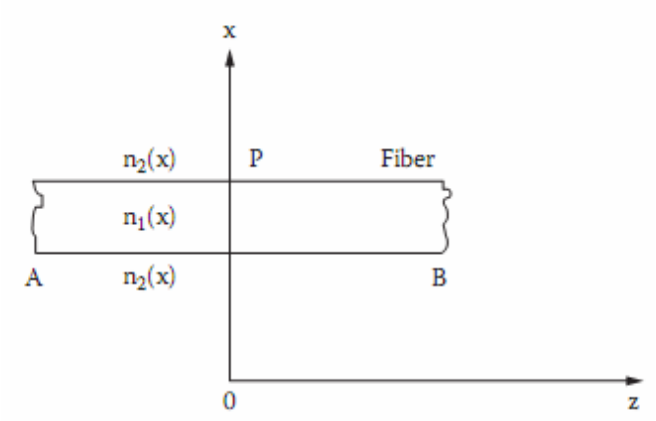
şeklinde ifade edilir [43]. Buradaki n_0 fiberin bükülmemiş halinin kırılma indisi ve R ise bükülme yarıçapıdır. Şekil 4.9. ve 4.10.'da A, giriş tarafı; B, çıkış tarafı; R, bükülme yarıçapı; n_1 ve n_2, kırılma indislerini göstermektedir. R yaklaşık olarak,

$$R \approx \frac{D^2}{8\delta} \tag{4.4}$$

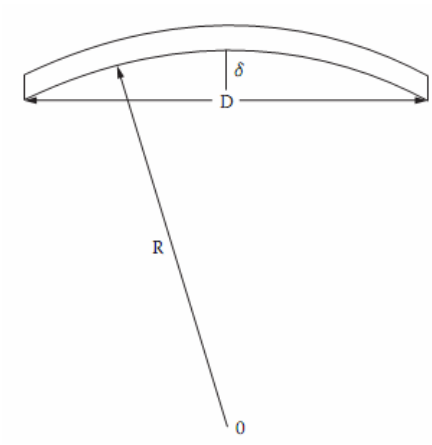
yazılabilir [43]. Buradaki δ enine yer değiştirme ve D ise fiberin iki uç noktası arasındaki uzaklıktır ve Şekil 4.11'de gösterilmiştir [43].



Şekil 4.9. Bükülmüş fiber geometrisi.



Şekil 4.10. Bükülmüş fiber için eşdeğer geometri.



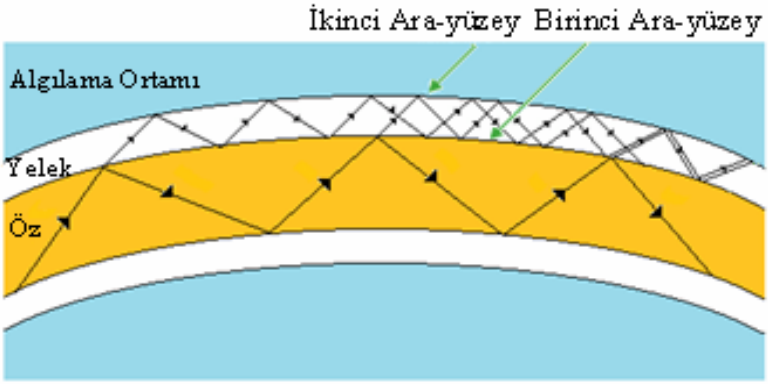
Şekil 4.11. Bükülmüş fiberin eğriliği.

4.4. Algılama Yönteminin Geliştirilmesi

Optik fiberlerde ışık ışınları çoklu tam yansımalarla iletilir. Öz-yelek ara-yüzeyindeki süreksizlikler ve bozukluklar, tam iç yansımadan ziyade ışınların kırılmasına sebep olur. Bu durumda ışık ışını yeleğe girerek kayıpların oluşmasına yol açar. Veri iletiminde bu kayıplar istenmeyen durumlardır fakat fiber optik algılayıcılarda bu kayıplar farklı tasarımlarla avantaj haline getirilip herhangi bir parametrenin algılanmasında kullanılır. Bu çalışmada fiber bükülme kayıplarından yararlanılmıştır.

Optik fiberlerde çoklu tam yansımalarla iletilen ışık ışınları, farklı iki ortam ara-yüzeyine geldiğinde, ortamların kırılma indislerine göre farklı oranlarda kırılmaya uğrarlar. Fiber içerisinde kılavuzlanan ışın için, öz ve yelek olmak üzere iki farklı ortam bulunmaktadır.

Normal şartlarda, fiber geometrisinde herhangi bir değişim olmadığı sürece ışının büyük bir kısmı öz içerisinde taşınır. Fakat fiber geometrisindeki değişiklikler sayesinde, örneğin bükülme kayıpları nedeniyle ışının bir kısmı yelek içerisine girerek taşınır. Bu kaybın derecesine göre yelek içerisine giren ışın miktarı da değişecektir. Yeleğe sızan ışın için yelek ve yeleğin dışındaki ortam olmak üzere yeni bir ara-yüzey oluşmuş olur. Bu durum Şekil 4.12.'de gösterilmiştir.

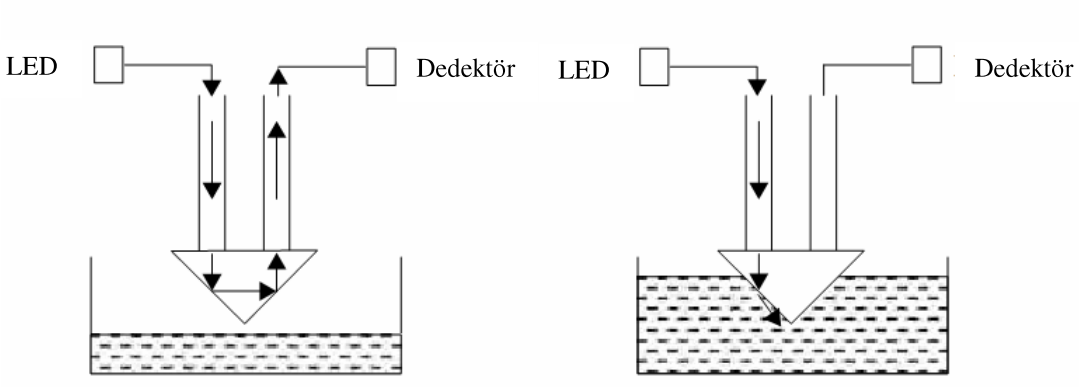


Şekil 4.12. Fiber bükümünde iki farklı ara-yüzey.

Işık ışını ara-yüzeye geldiğinde, eğer ikinci ortamın kırılma indisi daha büyükse, tam yansıma şartı sağlanamayacağından, bu ortama geçme eğilimi gösterir. Bu çalışmada kullanılan fiberlerin öz kırılma indisi 1,49 iken yeleğin kırılma indisi 1,40 değerindedir. Dolayısıyla ışık ışınları öze iyi bir şekilde hapsedilir. Fakat bükülme nedeni ile ışığın

geliş açısındaki değişimlerde kırınımı etkilediğinden yelek bölgesine sızıntılar meydana gelir. Yelek-hava ara-yüzeyi dikkate alınırsa, havanın kırılma indisi 1,00 olduğundan ışık yelek tarafından daha iyi kuşatılacaktır. Fakat öz-yelek ara-yüzeyinde olduğu gibi bükülmenin etkisi ile ışık hava ortamına sızarak kayıpları oluşturacaktır. Buradaki sızıntı öz bölgesinden yeleğe geçen ışık miktarına göre çok daha az olacaktır. Bunun sebebi, öz-yelek kırılma indisleri arasındaki oranın yelek-hava kırılma indisleri oranından farklı olmasıdır. Fiber havadan farklı bir ortama daldırıldığında yeni ortamın kırılma indisi havanın kırılma indisinden farklı olacağından, bu ortama sızan ışık miktarı da değişecektir (Şekil 4.13.). Hava ortamına üçüncü ortam dersek, bu üçüncü ortamın değişimi fiberin çıkış noktasına ulaşan ışık miktarını değiştirecektir. Bahsedilen üçüncü ortam, sürecin sonraki adımlarında algılama ortamını oluşturmaktadır. Bu ortamdaki değişimleri daha hassas bir şekilde algılamak için, bu çalışmada fiber bükülme kayıplarından faydalanılmıştır. Fiber bükülme kayıpları diğer kayıplar gibi haberleşmede istenmeyen bir durumdur.

Fakat bu istenmeyen durumu kullanılabilir hale getirmek için, Bölüm 4.2.3.'de bahsedilen ceketsiz fiberler bükülerek, 15 tip bobin uç oluşturulmuştur.



Şekil 4.13. Algılama bölgesine göre detektöre ulaşan ışık miktarının değişimi [41].

4.5. Algılama Bölgesinin Oluşturulması

4.5.1. Fiberlere Bobin Şeklinin Verilmesi

Uygulamada çapları 1 mm, 2mm ve 3 mm olan üç tip ceketsiz plastik fiber kablo kullanılmıştır. Algılamada kullanılacak olan fiberler, fiber yan keski (fiber side cutter) ile 30 cm uzunluğunda kesildiler. Bu işlem sırasında, fiberin yelek kısmının zarar

görmemesine dikkat edilmiştir. Öncelikle deneme amaçlı parça fiberlere, sıcak hava üflenerek ortalama +70°C'de bükülmeye başladıkları tespit edilmiştir. Bu işlemden sonra 3 mm'lik kalaylı (pürüzsüzlük amacıyla) metal bir nüve etrafına, her bir çap fiber için 1, 2, 3, 4 ve 5 turlu bobinler oluşturulmuştur. Tur sayıları bobinlere üst kısmından bakılarak referans alınmıştır. Böylelikle, 15 tip fiber bobin ucu elde edilmiştir. 3 mm'lik fiberlerden oluşturulmuş algılama uçları Şekil 4.14.'de verilmiştir.



Şekil 4.14. 3 mm'lik ceketsiz plastik fiberlerden oluşturulmuş algılama uçları.

4.5.2. Fiberlerin Konektör ile Sonlandırılması

Bu aşamadan sonra hazırlanan bobin uçlarının verici ve alıcılara uyumlandırılması için, Bölüm 4.2.3.'de tarif edilen konektörlerden faydalanılmıştır. Bu konektörler sadece 1 mm çapında öz kısmına sahip, dış çapı ise 2,2 mm olan ceketli plastik fiber optik kabloya uyduğundan, elimizde ki kablolara uygun hale getirilmesi için birkaç aşamadan geçirilmiştir. Öncelikle 1 mm'lik ceketsiz fiberler konektöre uyumlandırmak için, ceketli fiberlerin ceket kısımları, fiber optik sıyırıcı (fiber optic stripper) ile 1,5 cm boyunda sıyrılmıştır. Elde edilen ceketler 1 mm'lik ceketsiz fiberlere, lastik eldiven yardımıyla uç kısımlarından 7 mm taşacak şekilde giydirilmiştir (Şekil 4.15.). Ceketli hale getirilen fiberler konektörlere, uçlarından 1,5 mm taşacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 4.16.). Son olarak 0,195 inçlik fiber optik sıkıştırma aparatı (fiber optic crimping tool) ile konektörlerimizin yüzükleri ceketler içerde kalacak şekilde sıkıştırılmıştır.



Şekil 4.15. Ceketsiz fibere ceketin giydirilmesi.

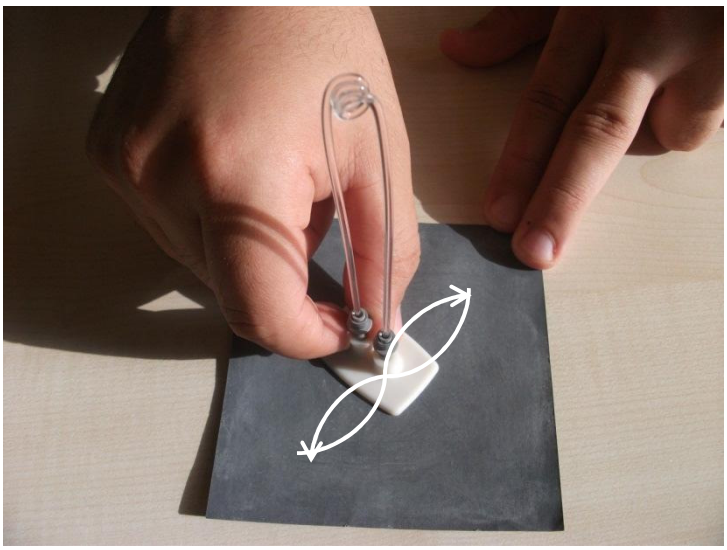


Şekil 4.16. Fiberin konektöre yerleştirilmesi.

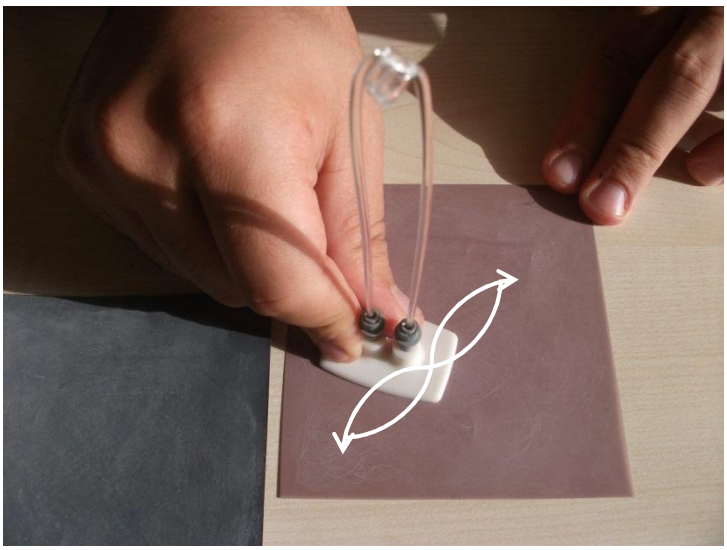
Tek yönlü konektörler 2 mm'lik bir mobil matkapla düşük devirde, delik çapları 2 mm ye genişletilmiştir. Ardından 2 mm'lik ceketsiz fiberler, konektör uçlarında 1 mm taşacak şekilde yerleştirilmiştir. Fiberler konektörlere yerleştirildikten sonra yukarıda bahsedilen sıkma işlemi burada da gerçekleştirilmiştir. Son olarak 3 mm'lik fiberler için, tek yönlü konektör bir mobil matkapla düşük devirde, delik çapları 2 mm'ye ve ardından sırası ile 2,5 mm ve 3 mm'ye genişletilmiştir. Fakat konektörlerin dış çapı 3,8 mm olduğu için, konektöre sadece 0,4 mm et kalınlığı kalmıştır. Bu sebepten, çok sayıda konektör çap genişletme aşamasında deforme olmuştur. Ardından 3 mm'lik ceketsiz fiberler, konektör uçlarından 1 mm taşacak şekilde yerleştirilmiştir. Aynı sıkma işlemi bu aşamada da gerçekleştirilmiştir.

4.5.3. Fiberlerin Kuplaj Kayıplarını Azaltmak İçin Parlatılması

Konektörlere yerleştirilmiş olan fiberler, parlatma kitinin konektör sabitleme aparatına (polishing fixture) yerleştirilerek ve yine aynı kitin 600 numaralı zımpara kağıdı ile (600 grit abrasive paper) fiber uçları sekiz şekli çizdirilerek zımparalandı. Zımparalama işlemi konektör sabitleme aparatının alt yüzeyi ile fiber uçları aynı seviyeye gelene kadar devam edildi (Şekil 4.17.). Ardından zımparalama işleminde olduğu gibi parlatma işlemi de aynı şekilde gerçekleştirildi (Şekil 4.18.).



Şekil 4.17. Fiber uçlarının zımparalanması.

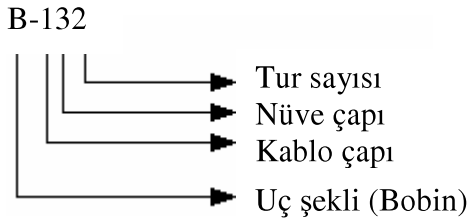


Şekil 4.18. Fiber uçlarının parlatılması.

Şekil 4.19.'da oluşturulmuş bobin uçlar gösterilmektedir. Oluşturulmuş bobin uçlarında, kullanılan fiberin çap değeri ve sarılan nüvenin çap değeri milimetre olarak ve oluşturulmuş bobin şeklinin tur sayısı olmak üzere üç parametre değeri kullanılarak kodlanmıştır. Bu değerler Şekil 4.20.'de ifade edilmiştir.



Şekil 4.19. Ceketsiz fiberlerden oluşturulmuş algılama uçları.



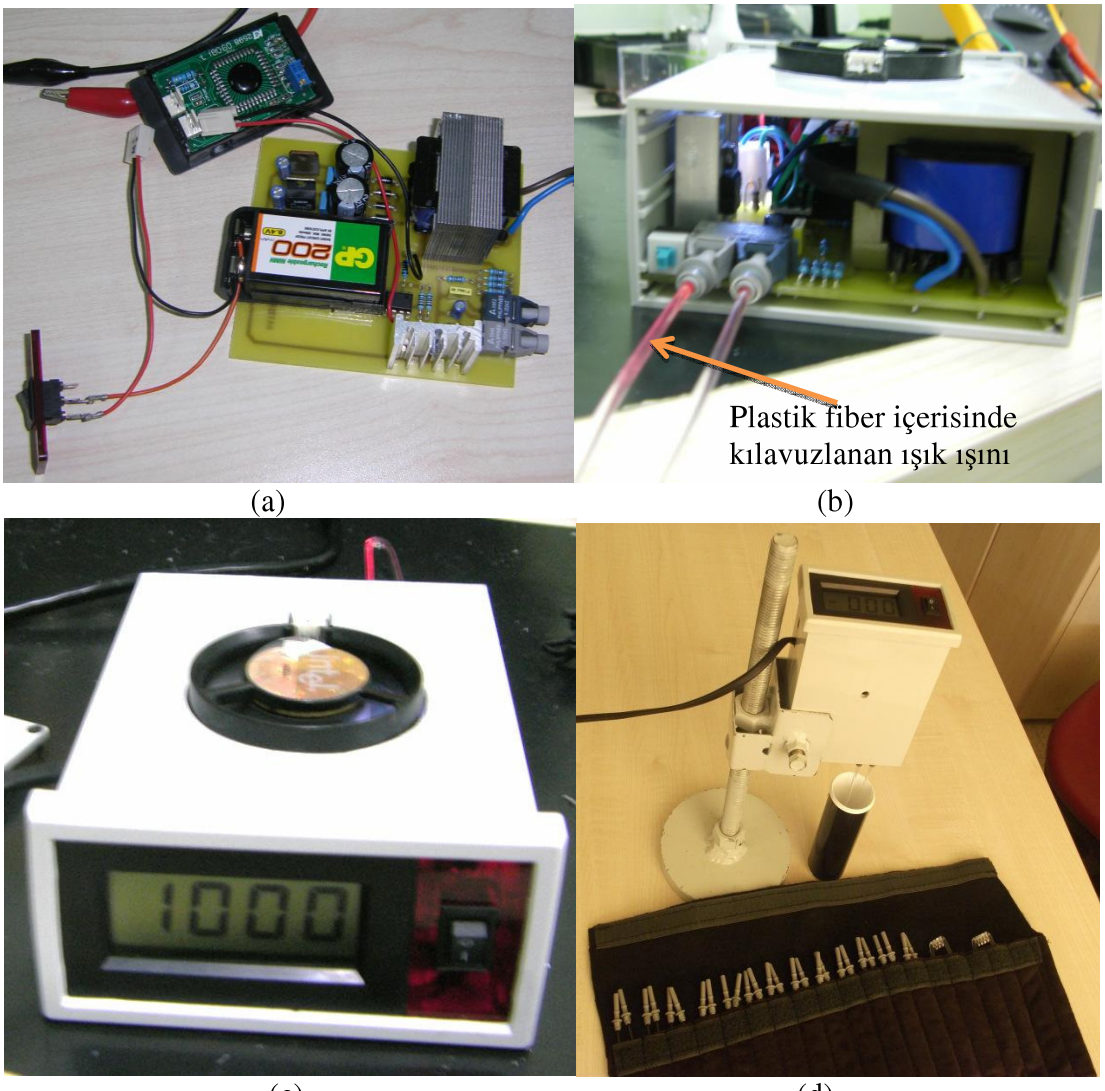
Şekil 4.20. Uçların parametre değerleri.

4.5.4. Uzaktan Algılama Denemesi İçin Fiber Kablolarının Hazırlanması

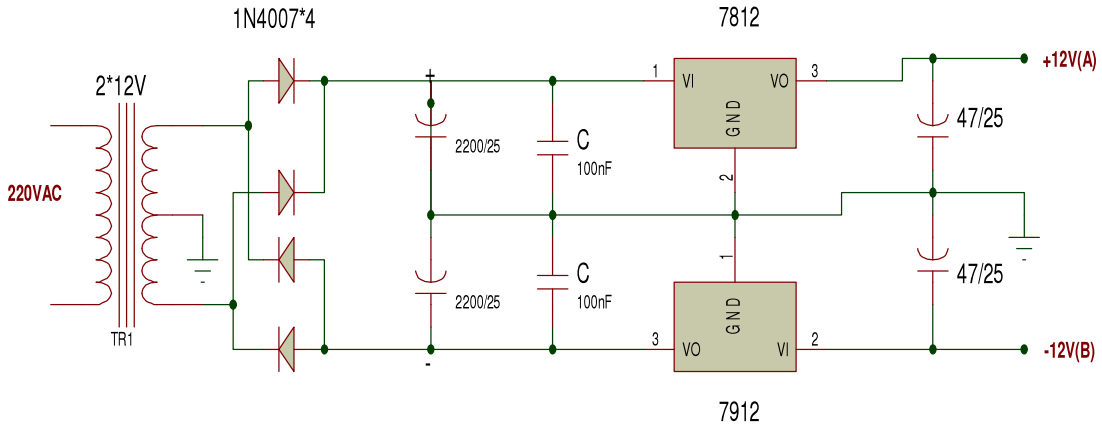
Uzaktan algılanmanın denenmesi için biri 10 m, diğeri 20 m olmak üzere iki adet, çift yönlü ceketli yapı fiber kablo kullanılmıştır. Bu kabloların yapılmasında Şekil 4.6.'da gösterilen tek ve çift yönlü konektörler kullanılmıştır. Çift yönlü konektörler uzatma kablosunun algılama cihazımıza giren kısmında, tek yönlü olanlar ise bobin uçlarımızın birleştirildiği, birleştirici adaptör kısımda yer almaktadır.

4.6. Algılama Sisteminin Tasarlanması

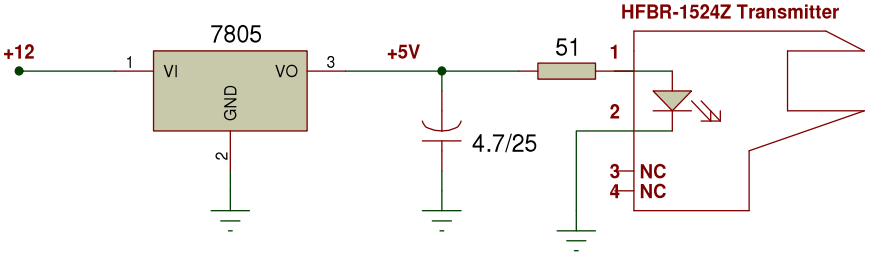
Şekil 4.21.'de tasarlanan algılama sisteminin resimleri ve Şekil 4.22.'de de açık devre şeması gösterilmektedir. Verici tarafından yollanan ışık ışını, fiber optik kablo ile algılama bölgesine taşınarak, bu bölgedeki kırılma indisleri değişimiyle modüle edilmektedir. Modüle edilmiş ışık ışını, fiber optik kablonun diğer tarafındaki alıcı sayesinde elektriksel sinyale dönüştürülmektedir. Elektriksel sinyale dönüşmüş olan ışık ışını, basit bir işaret işleme devresiyle de yorumlandıktan sonra, devre üzerine yerleştirilmiş ekranda sayısal olarak gösterilmektedir.



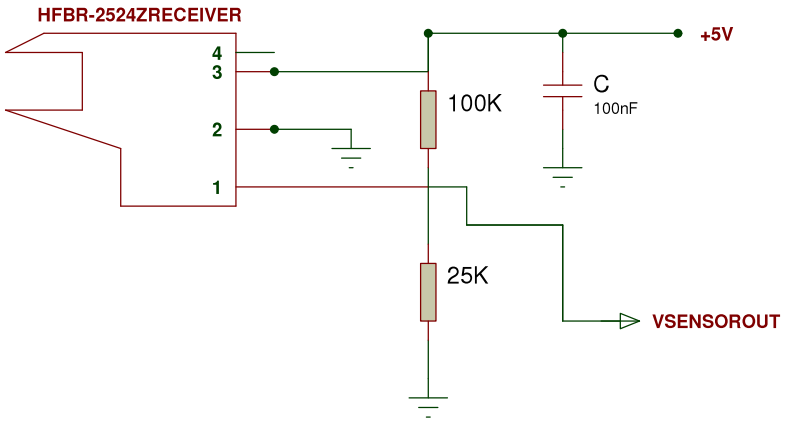
Şekil 4.21. a) Devrenin kutulama öncesi üstten, b) Kutulama sonrası arkadan, c) Önden ve d) Sabitleme aparatı ile bobin uçları görünüşleri.


1N4007*4
7812
2*12V
220VAC
TR1
2200/25
C
100nF
2200/25
C
100nF
VI
VO
GND
47/25
47/25
+12V(A)
-12V(B)
7912

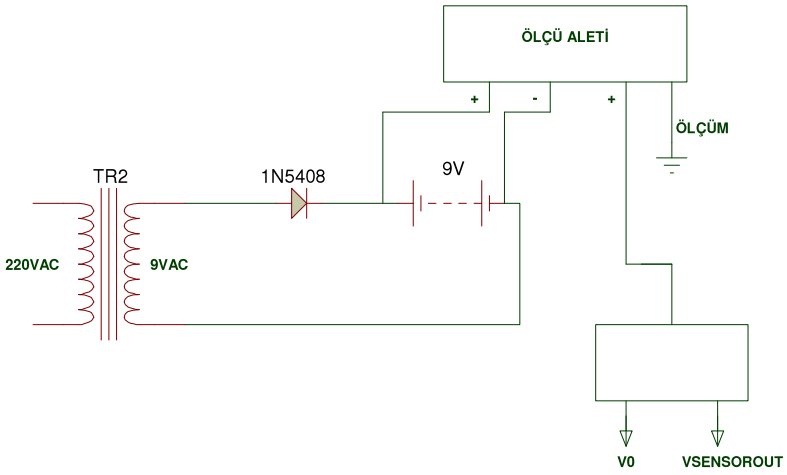
(a)


HFBR-1524Z Transmitter
+12
7805
VI
VO
GND
+5V
51
4.7/25
NC
NC

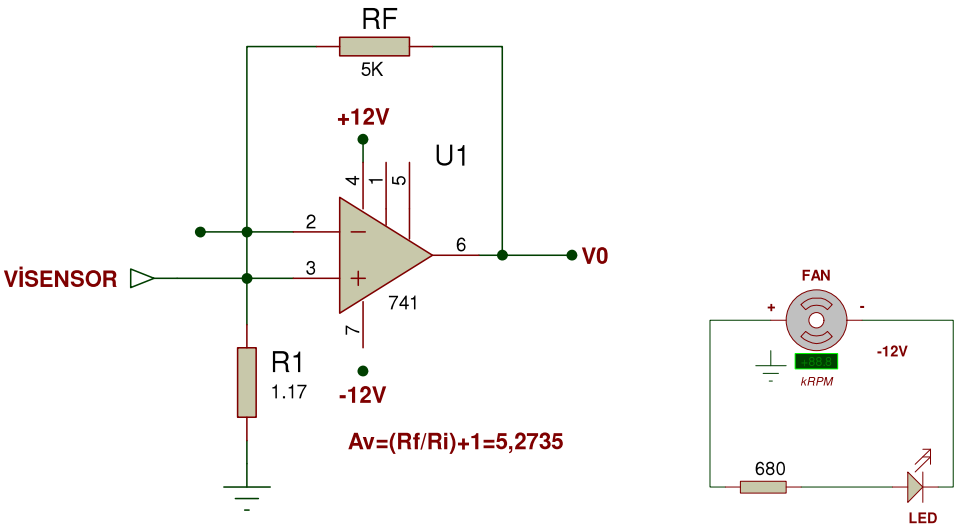
(b)


HFBR-2524ZRECEIVER
+5V
100K
C
100nF
25K
VSENSOROUT

(c)



(d)



(e) (f)

Şekil 4.22. a) Besleme katı. b) Optik verici katı. c) Optik alıcı katı.
d) Ölçüm ve şarj katı. e) Yükselteç katı. f) Soğutucu katı.

Algılayıcı sistem, alıcı kısma ulaşan ışık miktarı azaldıkça algılayıcının cevabı artacak şekilde ayarlanmıştır. Böylece algılama bölgesinin bulunduğu ortamdaki artan kırılma indisi, alıcı tarafa ulaşan ışık miktarını azaltacağı için, ekranda okunan sayısal değerin artmasını sağlayacaktır. Başka bir deyişle, ekranda gösterilen sayısal değer, kayıplar artıkça (ortamın kırılma indisi artıkça) artmaktadır.

5. BÖLÜM

KIRILMA İNDİSİ DEĞİŞİMİ ESASLI ALGILAYICININ DENEYSEL ÇALIŞMASI

5.1. Algılamada Kullanılacak Uçların Seçimi

Şekil 4.20.'de ifade edilen parametrelerin değişiminin algılama üzerine etkisi bu bölümde incelenmiştir. Buna göre ölçülecek numuneler için uygun uç seçilmiştir. Artan tur sayıları ve fiber kablo çapları, öz kısmından yeleğe sızacak ışık miktarı ile ilişkilidir. Tur sayısı fazla olan uçların yelekte taşıdıkları ışık miktarı da fazla olacağından değişen ortam şartlarına daha çok tepki vermiş olacaklardır. Bunu tespit edebilmek için öncelikle her bir uç için hava ortamında ve su ortamındaki algılayıcı cevapları alınarak Tablo 5.1.'deki değerler elde edilmiştir. Tablonun 1. satırında, verici ile alıcı arasında bağlantı yokken açık devre değeri ve 2. satırında ise kayıpsız kablo değeri bulunmaktadır. Fazla deforme olmuş uçlar suya daldırıldığında, devrenin açık devre değerine (ışık alıcı tarafa geçemediği için) eşit olmaktadır. Fakat bu uçlara dikkat edilirse havada iken ışığı alıcı tarafına iletebilmektedir. Algılama bölgesinin deforme olma oranları ve buna bağlı olarak da algılama kabiliyetleri, suya daldırıldığında hava değeri ile su değeri arasındaki farkın büyüklük derecesiyle ilişkilidir. Tablo 5.1.'de görüldüğü gibi, kalın çaplı fiberler her bir sarım sayısı artışına daha çok tepki verirken, daha ince çap değerine sahip olan fiberler sarım sayısından daha az etkilenmektedir. Tablo 5.1.'de algılayıcı uçların hava ortamındaki cevapları R_H, su ortamındaki cevapları ise R_S ile gösterilmiştir.

B-234, B-235, B-332, B-333, B-334 ve B-335 algılayıcı uçlar hava-su geçişinde, ışığı alıcı tarafa taşıyamamaktadır. Bu uçlar ile kırılma indisi, havanın kırılma indisine daha yakın ortamlarda algılama yapılabilir. Tablo 5.1.'den de anlaşılacağı gibi fiber çapı ve tur sayısı arttıkça, uçların verdikleri cevaplar da artmaktadır.

Tablo 5.1. Uçların hava-su ortamındaki cevapları.

Uç	Ölçümler		R_S-R_H cevap farkı
	R_H	R_S	
	n=1	n=1,33	
Açık Devre	5307	-	-
Kayıpsız Kablo	1000	-	-
B-131	1000	1002	2
B-132	1000	1003	3
B-133	1000	1005	5
B-134	1000	1006	6
B-135	1003	1017	14
B-231	1002	1052	50
B-232	1004	1113	109
B-233	1005	1258	253
B-234	1022	(*)	-
B-235	1043	(*)	-
B-331	1012	1303	291
B-332	1048	(*)	-
B-333	1090	(*)	-
B-334	1298	(*)	-
B-335	1401	(*)	-

(*) Işık alıcı tarafa geçemediği için kablosuz değere eşit.

En fazla cevabı B-331 vermiştir fakat bu uç algılama bölgesindeki algılanacak parametrelerin dışında diğer parametrelerden de (ortam ışığı, ortam sıcaklığı, sarsıntı, vb.) çok fazla etkilenir hale gelmiştir. Bunun yanında algılanacak olan numunelerin kırılma indisi suyunkinden daha büyük olduğu için alıcı tarafa geçen ışık miktarı çok daha azalacaktır. B-331 ucu geliştirilerek temas, basınç, sıvı seviyesi gibi parametrelerin algılanmasında kullanılabilir. Bu çalışmadaki ölçümler de B-331 ucundan sonra en fazla cevabı veren diğer uçlar olan B-232 ve B-233 kullanılmıştır.

5.2. Süte Katılması Muhtemel Kimyasalların Sütteki Artışının Algılanması

Uygulamada kullanılabilecek uçların seçiminden sonra, süt içerisindeki hidrojen peroksit, formaldehit, sodyum karbonat maddelerinin artışının algılanabileceği deneysel olarak gösterilmiştir. Bu ölçümde, yağ oranı % 0,1 olan süt kullanılmıştır. Kimyasallar ise Carlo Erba marka % 39'luk (W/V) hidrojen peroksit, % 37'lik (W/V) formaldehit, % 12,5 ve % 25'lik (W/V) sodyum karbonat seçilmiştir. Bu numuneler katı maddelerin yüzde çözeltileri olup, yüzde miktarları kadar gram olarak tartılıp, 100 ml'ye saf su ile tamamlanarak oluşturulmuşlardır.

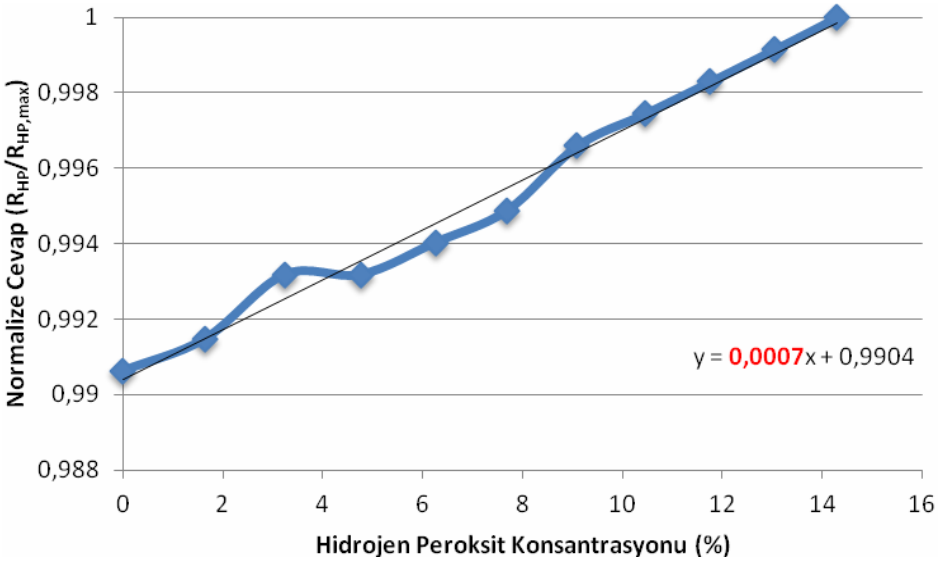
Ölçümler B-232 ve B-233 uçlarıyla yapılmıştır. 30 ml'lik süt numunelerine her defasında 0,5 ml değerlerinde kimyasallar karıştırılarak, her karışım sonrasında sırasıyla, hidrojen peroksit, formaldehit, % 12,5'lik sodyum karbonat ve % 25'lik sodyum karbonat R_{HP}, R_F, $R_{SC(\%12,5)}$, $R_{SC(\%25)}$ algılayıcıların cevaplarını göstermek üzere Tablo 5.2. ve Tablo 5.3.'deki değerler elde edilmiştir.

Tablo 5.2. B-232 kodlu algılayıcı ucun sütteki hidrojen peroksit, formaldehit ve iki farklı oranda sodyum karbonat artışlarına cevapları.

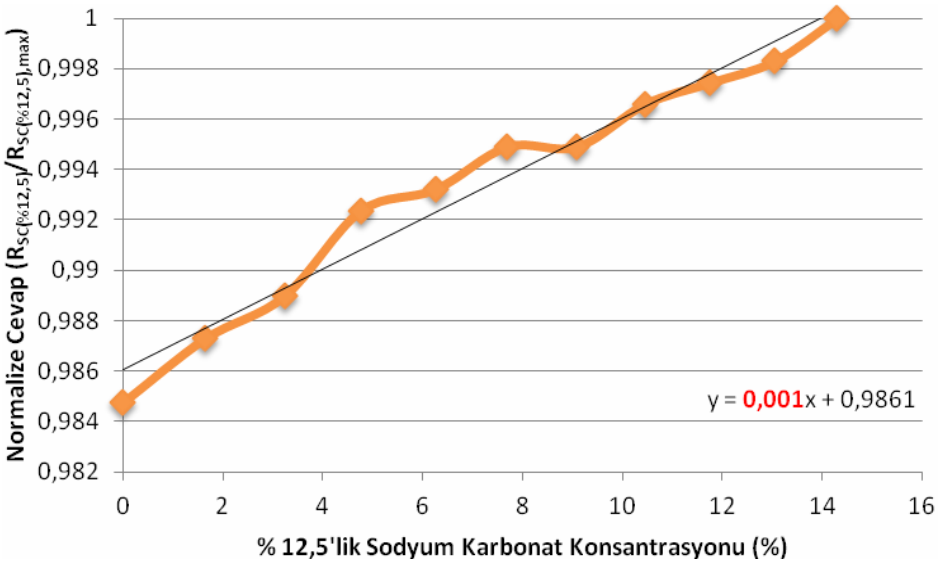
B-232 Kodlu Ucun Cevapları				
Konsantrasyon (%)	**R_{HP}**	**$R_{SC(\%12,5)}$**	**R_F**	**$R_{SC(\%25)}$**
Hava	1006	1006	1006	1006
Süt	1162	1162	1162	1162
1,64	1163	1165	1167	1165
3,23	1165	1167	1171	1173
4,76	1165	1171	1174	1173
6,25	1166	1172	1178	1179
7,69	1167	1174	1180	1191
9,09	1169	1174	1183	1200
10,45	1170	1176	1187	1205
11,76	1171	1177	1190	1210
13,04	1172	1178	1193	1216
14,29	1173	1180	1195	1221

Tablo 5.2. incelendiğinde beklenildiği gibi en yüksek tepkiyi $R_{SC(\%25)}$ vermiştir. Çünkü dört numune arasında kırılma indisi en yüksek sıvı budur. Tablo 5.2.'nin üçüncü ve beşinci sütunlarında aynı kimyasalın olmasına rağmen, beşinci sütundaki sodyum karbonatın daha çok tepki verdiği görülmektedir. Bu da Bölüm 2.2.'de değinilmiş olan, bir maddenin kırılma indisinin derişimle artması özelliğini doğrulamaktadır. Tablo 5.2.'den algılayıcının, ortalama % 2'nin altındaki konsantrasyonlarda bile algılanabilir bir tepki ürettiği görülmektedir. Özellikle bu oran formaldehit ve sodyum karbonat için daha doğru olmaktadır. Bu orandaki hidrojen peroksite verilen tepki çok azdır. Tablo 5.2.'de safsızlıklara sebep olacak birbirinden farklı kimyasallar için bazı durumlarda algılayıcı aynı sonucu vermiştir. Örneğin % 7,69'luk derişime sahip olan hidrojen peroksit ile % 1,64'lük derişime sahip olan formaldehit için algılayıcı çıkışları aynıdır. Böyle bir durumda bu iki numune

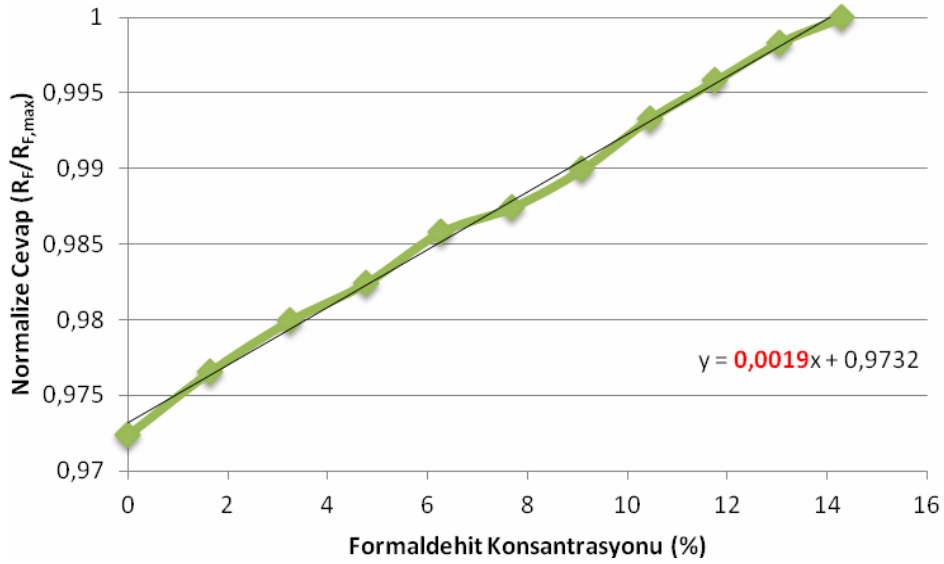
ısıtılarak birkaç farklı sıcaklık değerlerinde algılayıcı cevapları not edilmiş ve kırılma indisi yüksek olan kimyasalın bulunduğu süt numunesinin sıcaklığa vermiş olduğu tepki daha hızlı olduğu görülmüştür. Tablo 5.2.'deki değerlere göre, B-232'nin normalize edilmiş algılayıcı cevaplarının grafikleri Şekil 5.1.'de gösterilmektedir.



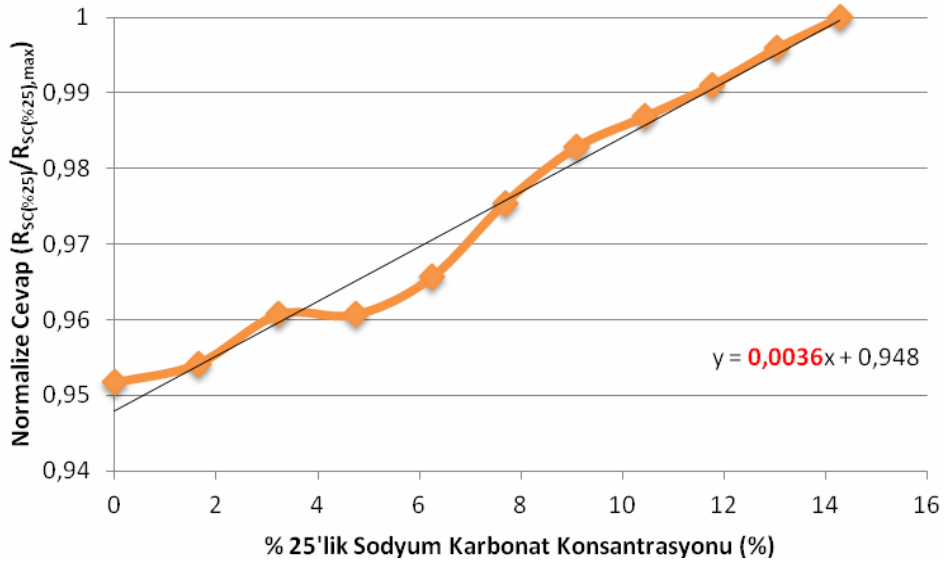
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 5.1. B-232 kodlu algılayıcının normalize cevabının a) % hidrojen peroksit b) % sodyum karbonat (%12,5) c) % formaldehit d) % sodyum karbonat (%25) miktarları ile değişimi.

Şekil 5.1.'de % konsantrasyonla algılayıcı cevabının doğrusal olduğu görülmektedir. Çünkü kırılma indisi konsantrasyonla doğru orantılıdır. Şekil 5.1.a.'daki grafiğin eğiminin en az olmasının sebebi, algılanacak olan kimyasalın kırılma indisinin sütün kırılma indisine yakın olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 5.1.'deki grafiklere birer doğru denklemiyle yaklaşımda bulunulmuştur. Bu doğru denklemlerinin eğimlerinin

büyüklük sıralaması ile algılanacak olan kimyasalların kırılma indislerinin arasındaki büyüklük sıralaması aynıdır. Sıvıların kırılma indislerinin artması, bobin uçlar içerisinde yeleğe sızan ışığın, sıvının bulunduğu ortama daha çok geçmesi anlamına gelmektedir. Bunun sonucunda da alıcı kısma ulaşan ışık miktarı azalacağından algılayıcının vermiş olduğu cevabın artması beklenmektedir. Şekil 5.1.'deki doğruların giderek eğimlerinin artması bu durumu doğrulamaktadır.

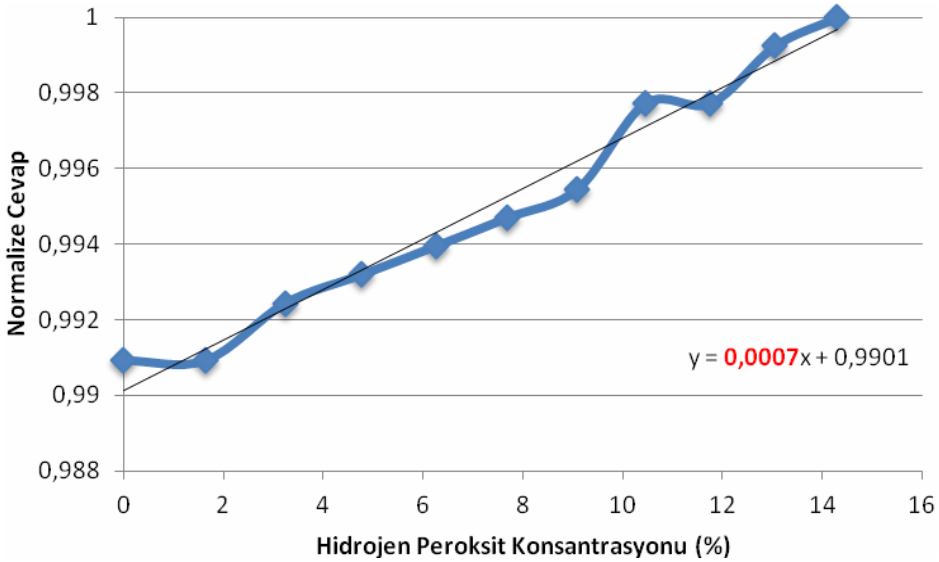
B-232 kodlu uç ile ölçümler sonuçlandıktan sonra aynı şartlarda sadece algılayıcının ucu değiştirilerek, B-233 kodlu uç takılmıştır. Dört kimyasal için yapılmış olan ölçümler sonucunda Tablo 5.3. oluşturulmuştur.

Tablo 5.3. B-233 kodlu algılayıcı ucun sütteki hidrojen peroksit, formaldehit ve iki farklı oranda sodyum karbonat artışlarına cevapları.

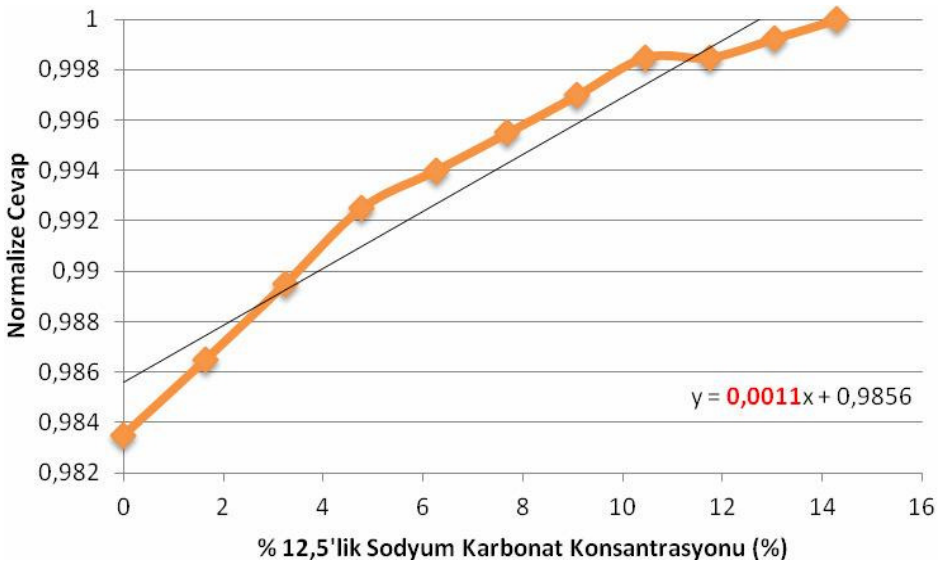
B-233 Kodlu Ucun Cevapları				
Konsantrasyon (%)	**R_{HP}**	**$R_{SC(\%12,5)}$**	**R_F**	**$R_{SC(\%25)}$**
Hava	1008	1008	1008	1008
Süt	1310	1310	1310	1310
1,64	1310	1314	1312	1314
3,23	1312	1318	1318	1324
4,76	1313	1322	1320	1330
6,25	1314	1324	1323	1336
7,69	1315	1326	1329	1344
9,09	1316	1328	1334	1350
10,45	1319	1330	1336	1355
11,76	1319	1330	1339	1360
13,04	1321	1331	1343	1366
14,29	1322	1332	1346	1373

Tablo 5.3. incelendiğinde algılayıcının, en yüksek kırılma indisine sahip olan numuneye ($R_{SC(\%25)}$) vermiş olduğu tepki en yüksektir. Bunun yanında kırılma indisi sütünkine çok yakın olan hidrojen peroksite verilen tepkide oldukça azdır. B-232 kodlu uçta olduğu gibi, Tablo 5.3.'ün üçüncü ve beşinci sütunlarında aynı kimyasalın olmasına rağmen, beşinci sütundaki sodyum karbonatın daha çok tepki verdiği görülmektedir. Bu da bir maddenin kırılma indisinin derişimle artması özelliğini doğrulamaktadır. Tablo 5.3.'den algılayıcının, ortalama % 2'nin altındaki konsantrasyonlarda bile algılanabilir bir tepki ürettiği görülmektedir. Bu oran formaldehit ve sodyum

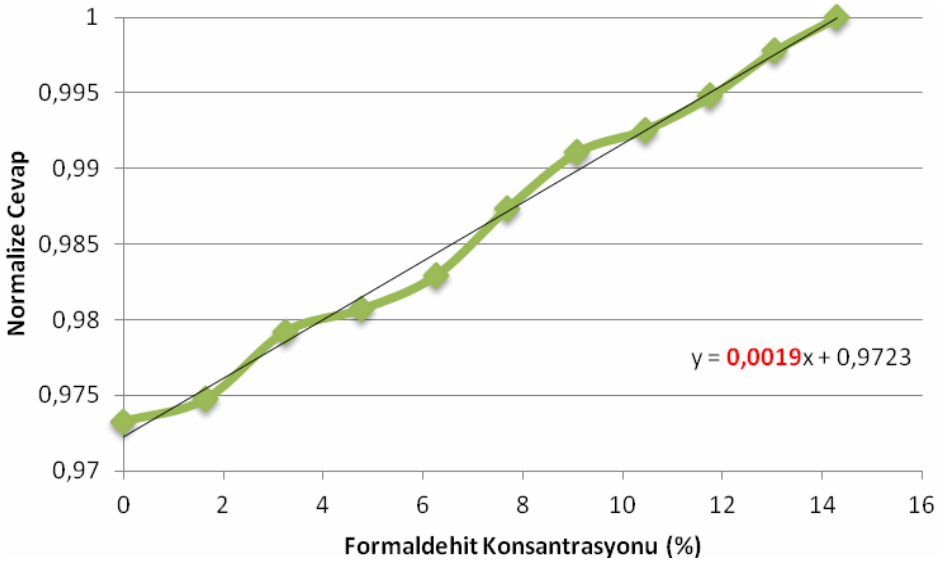
karbonat için geçerli olmaktadır. Bu orandaki hidrojen peroksit için algılayıcı herhangi bir tepki vermemektedir. Tablo 5.3.'de safsızlıklara sebep olacak birbirinden farklı kimyasallar için bazı durumlarda algılayıcı aynı sonucu vermiştir. Örneğin % 3.23'lük derişime sahip olan hidrojen peroksit ile % 1,64'lük derişime sahip olan formaldehit için algılayıcı çıkışları aynıdır. Böyle bir durumda bu iki numune ısıtılarak birkaç farklı sıcaklık değerlerinde algılayıcı cevapları not edilmiş ve kırılma indisi yüksek olan kimyasalın bulunduğu süt numunesinin sıcaklığa vermiş olduğu tepki daha hızlı olduğu görülmüştür.



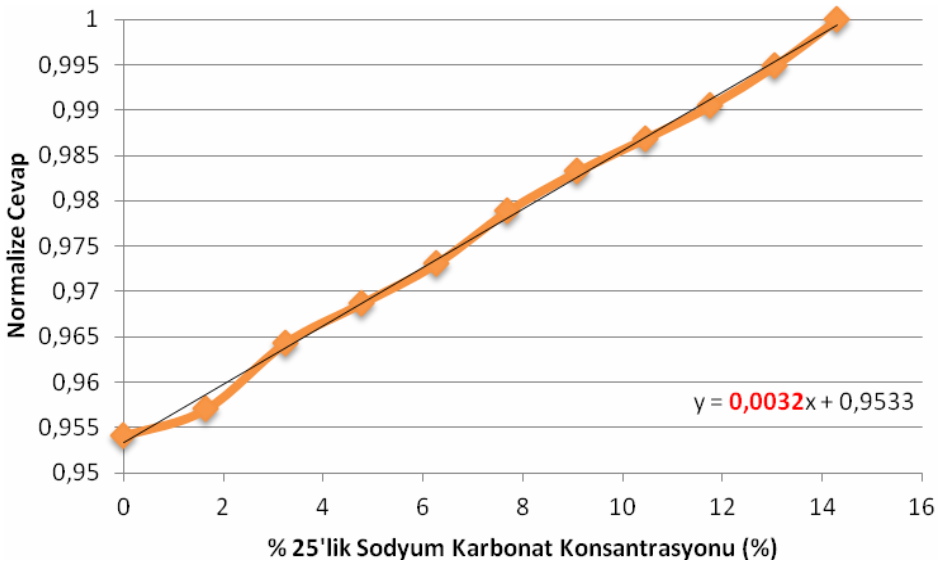
(a)



(b)



(c)



(d)

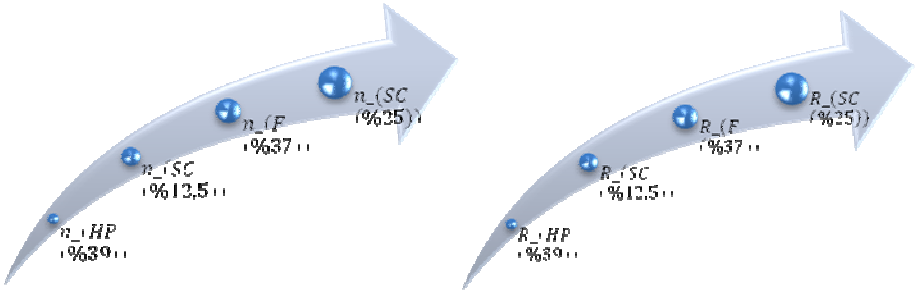
Şekil 5.2. B-233 kodlu algılayıcının normalize cevabının a) % hidrojen peroksit b) % sodyum karbonat (%12,5) c) % formaldehit d) % sodyum karbonat (%25) miktarları ile değişimi.

Tablo 5.2. ve 5.3.'ün birinci ve ikinci satırlarına bakıldığında, saf sütün havaya göre sırasıyla, % 15,5 ve % 29,9 daha büyük cevaba sahip olduğu görülmektedir. Algılayıcının cevabının artmasının nedeni sütteki ışık kaybının havaya göre daha fazla oluşudur. Örneğin % 1,64'lük konsantrasyona sahip olan formaldehitli sütün, her iki uç için havaya göre sırasıyla % 16 ve % 30,2 daha büyük cevaba sahip olması kaybın

giderek arttığını gösterir. Bu durum algılamada kullanılan diğer kimyasallar için de aynıdır. Bu oranlardan da anlaşılacağı gibi B-233 kodlu algılayıcı uç hava-süt ortamları arasındaki yüzde farkı, B-232 kodlu uca göre daha fazla biçimde göstermektedir. Buna bağlı olarak B-233 kodlu ucun, süt içerisindeki kimyasalların artışına tepkisi B-232 kodlu uçtan daha fazla olmaktadır. Bu sonuca, her iki ucun en fazla ve en düşük konsantrasyondaki cevaplarının farklarını alarak ulaşabiliriz.

Tablo 5.3.'deki değerlere göre, B-233'nin normalize edilmiş algılayıcı cevaplarının grafikleri Şekil 5.2.'de gösterilmektedir.

Şekil 5.1.'deki grafiklerde olduğu gibi Şekil 5.2.'deki grafiklerde de, doğru eğimlerinin büyüklük sıralaması ile algılanacak, hidrojen peroksit, % 12,5'lik sodyum karbonat, formaldehit ve % 25'lik sodyum karbonatın kırılma indisleri arasındaki sıralama, aynıdır. Bir başka ifadeyle algılanacak ortamın kırılma indisi arttıkça kayıplar da artmakta dolayısıyla algılayıcının cevabı da artmaktadır (Şekil 5.3.).



Şekil 5.3. Algılamada kullanılan kimyasalların kırılma indisleri arasındaki sıralama ile algılayıcının cevapları arasındaki sıralama.

Bölüm 2.2.'de bir maddenin kırılma indisinin; kullanılan ışının dalga boyuna, derişime ve sıcaklığa bağlı olduğundan bahsedilmişti. Ölçümlerde 660 nm'lik tek bir ışık kaynağı kullanılmış ve ortam ile numune sıcaklıkları oda sıcaklığındadır. Bunun sağlanması için, ölçümlerden önce süt ve kimyasallar bir süre oda sıcaklığında bekletilmiştir. Böylece algılayıcı cevabının sadece konsatrasyon miktarına bağlı olarak değişmesi sağlanmıştır. Şekil 5.2.'nin Şekil 5.1.'e göre daha fazla sapmasının nedeni, B-233 kodlu uçtaki hassasiyetliğin artışı, bu ucu ortamdaki bozucu şartlardan daha fazla etkilenir hale getirmesidir.

Ölçümlerde süt içerisine kimyasalların eklenmesi bitip, tekrar süt eklenerek konsantrasyon değerleri düşürüldükten sonra, yani süreç tersten işletildiğinde artan algılayıcı cevabının tekrar azaldığı tespit edilmiştir. Bu da algılamada tekrarlanabilirlik şartının sağlandığını gösterir.

Algılamada kullanılan B-232 ve B-233 kodlu uçlarının haricindeki diğer uçların, yukarıdaki konsantrasyon değerlerine vermiş oldukları tepkiler çok az olduklarından dolayı hassas ölçümlerde tercih edilmemişlerdir. B-232 ve B-233 kodlu uçlarından sonra en fazla cevaba sahip olan B-231, B-135 ve B-134 kodlu uçların, sütteki formaldehit artışına verdikleri cevaplar sırasıyla, R_{B-231}, R_{B-135} ve R_{B-134} olmak üzere Tablo 5.4.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.4. B-231, B-135 ve B-134 kodlu uçların sütteki formaldehit artışına verdikleri cevaplar.

B-231, B-135 ve B-134 Kodlu Uçların Cevapları			
Konsantrasyon (%)	R_{B-231}	R_{B-135}	R_{B-134}
Hava	1002	1003	1000
Süt	1083	1052	1021
1,64	1085	1053	1021
3,23	1087	1053	1021
4,76	1088	1054	1023
6,25	1091	1055	1023
7,69	1092	1055	1024
9,09	1094	1057	1024
10,45	1095	1058	1024
11,76	1095	1059	1025
13,04	1098	1059	1025
14,29	1101	1061	1026

Tablo 5.4.'den B-231, B-135 ve B-134 kodlu uçların bu ölçümler için her bir kimyasal eklendiğinde ortalama artış oranları sırasıyla, 1,8; 0,9 ve 0,5 olmaktadır. Bu değerlere, her üç ucun en fazla ve en düşük konsantrasyonlardaki cevaplarının farklarını ölçüm sayısına bölerek ulaşabiliriz. Bulunan bu oranlar B-233 ve B-232 kodlu uçlar için sırasıyla, 3,6 ve 3,3 olmaktadır. Buradan da anlaşıldığı gibi B-233 ve B-232 kodlu uçların, eşit şartlarda vermiş oldukları tepkiler daha fazladır.

6. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, sıvı içerisinde safsızlık saptanmasında kullanılabilen, değişen kırılma indisine duyarlı, taşınabilir bir algılayıcı tasarımı sunulmuştur. Tasarlanan algılayıcı ile farklı kırılma indislerine sahip olan ve birbirleri içerisinde karışan veya çözünen sıvı-sıvı ve sıvı-katı karışımlarının ortalama karışım oranlarını belirlemek mümkün hale gelir.

Çalışmada, farklı bükülme kayıplarına sahip olan 15 farklı uç tasarlanmıştır. Tasarlanan uçlar 3 mm sabit nüve genişliğinde bobinler şeklinde oluşturulmuştur. Bu tercihin sebebi, kullanılan kablo çapları eşit olan uçlarda eğrilik yarıçaplarının aynı kalmasını sağlayarak, kayıplarda sadece tur sayısının etkisini anlayabilmek içindir. 1 mm, 2 mm ve 3 mm olmak üzere her bir kablo çapından beş adet algılayıcı uç oluşturulmuştur. Her bir çap fiber için 1, 2, 3, 4 ve 5 turlu bobinler sarılmıştır. Tur sayılarının beş tur olarak sınırlandırılmasının sebebi, 2 ve 3 mm'lik kabloların sırasıyla dört ve iki turludan itibaren kaybın derecesinin çok fazla olmasıdır. Bu aşırı kayıplı uçlar hava ortamından su ortamına geçişlerinde alıcı tarafı tetikleyecek kadar ışığı geçirememektedirler. Ölçümlerde kullanılacak olan numunelerin kırılma indisleri suyun kırılma indisinden daha fazla olması da, bu kaybın derecesini daha da artıracağından, tur sayıları daha fazla artırılmamıştır.

Uçlarla yapılan ölçüm sonuçlarına göre, sarım sayısı artıkça hassasiyet artmaktadır. Aynı sarım sayısına sahip olan uçlarda ise kullanılan kablo çapı artıkça hassasiyet artmaktadır. Bunun sebebi eşit çaplı nüve etrafına sarılmasından dolayı kalın çaplı fiberlerin eğrilik yarıçaplarının daha fazla olmasıdır. Tur sayısının hassasiyetlik üzerine etkisini anlamak daha da kolaydır. Her bir turda yeleğe sızan ışık miktarı artacağından bu uçların yelekte taşıdıkları ışınlar dış ortama daha kolay sızarak kayıpları oluşturmaktadır. Ölçümlerde 1 mm'lik kablolardan oluşturulmuş uçların tercih

edilmemesinin sebebi, bu uçların ancak çok yüksek konsantrasyonlar da cevaplarının anlaşılabilir aralıkta oluşlarıdır. B-331 kodlu ucun tercih edilmemesinin sebebi ise, hassasiyetlik derecesinin çok fazla olmasından dolayı ortamdaki bozuculardan çok fazla etkilenir hale gelmesidir. Algılamada kullanılacak olan uçlar sıvı numunelerine daldırılıp bu uçlar içerisinde kılavuzlanan ışığın, değişen ortam şartları tarafından modüle edilmesi sağlanmıştır. Böylelikle alıcı tarafında tasarlanan basit bir işaret işleme devresiyle mevcut sıvı içeriğinin değişimi tespit edilmiştir. Ayrıca tasarlanan sisteme besleme ve gösterge gibi çevre birimleri dahil edilip taşınabilir hale getirilmiştir. Farklı kayıp miktarlarına sahip olan uçlar tasarlanarak, sıvı içerisindeki çok daha hassas safsızlık durumları algılanabilir hale getirilebilir. Böylelikle herhangi bir sıvı numunesinin safsızlığının saptanması için ön test işlemi gerçekleştirilmiş olur.

Bu çalışmada süt içerisine ortalama % 2'nin altında bile katılması muhtemel kimyasalların (özellikle formaldehit ve sodyum karbonat) algılanması mümkün olmuştur. Tasarımla ilgili bir diğer sonuç ise, safsızlıklara sebep olacak birbirinden farklı kimyasallar için bazı durumlarda algılayıcı aynı tepkiyi verebilmektedir. Böyle bir durumda sıvı numunesinden birkaç farklı sıcaklık değerlerinde ölçümler alarak, algılayıcının değişim hızına göre sıvı içerisindeki maddeye karar vermek daha kolaylaşır. Ayrıca tasarlanan algılayıcının, istenildiğinde, fiber optik kablolarla uzatılarak, her an ulaşılması mümkün olamayan ortamlarda da çalışabileceği gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Micron Optics, 2005. Optical Fiber Sensors Guide Fundamentals & Applications. (Web sayfası: **http://www.micronoptics.com/sensing_doc_library.php**), (Erişim tarihi: Temmuz 2011).
2. MEGEP, 2007. Elektronik Enstrümantasyon ve Kontrol. Ankara, 81s.
3. Kelley, P., L., Kaminow, I., P., Agrawal, G., P., 2001. Nonlinear Fiber Optics. Academic Press, New York, 457 pp.
4. Kersey, A. D., 1996. A review of recent developments in fiber optic sensor technology. **Optical Fiber Technology**, **2** (3): 291-317.
5. Peterson, J. I., Vurek, G., G., 1984. Fiber-optic sensors for biomedical applications. **Science Magazine**, **224** (4645):123-127.
6. Seitz, W. R., 1984. Chemical sensors based on fiber optics. **Anal. Chem**., **56** (1): 16-34.
7. Miguel, J., Higuera L., 2002. Handbook of Optical Fiber sensing technology. John Wiley and Sons Ltd, Baffins Lane, Chichester, West Sussex, England, 789 pp.
8. Falate, R., Kamikawachi, R., C., Fabris J., L., Müller, M. , Kalinowski, H., J., 2004. Fiber optic hydrocarbon sensors based on long period gratings. **Journal of Microwaves and Optoelectronics**, **3** (5): 47-55.
9. Erkmen, E., 1995. Günümüzde oto sanayiinde sensörler ve uygulamaları. **Mühendis ve Makina**, **35** (429): 15-21.
10. Sadiku M. N. O., 2002. Optical and Wireless Communications. CRC Press, New York, 240 pp.
11. Choudhury, P., K., Yoshino,T., 2004. On the fiber-optic chlorine sensor with enhanced sensitivity based on the study of evanescent field absorption spectroscopy. **International Journal for Light And Electron Optics, 115** (7): 329-333.
12. Bohnert, K., Gabus, P., Kostovic, J., Bräandle, H., 2005. Optical fiber sensors for the electric power industry. **Optics and Lasers in Engineering, 43** (3-5): 511-526.
13. Lee, B., 2003. Review of the present status of optical fiber sensors. **Optical Fiber Technology, 9** (2): 57-79.

14. Choudhury, P., K., Yoshino,T., 2004. TE and TM modes power transmission through liquid crystal optical fibers. **International Journal for Light and Electron Optics, 115** (2): 49-56.
15. Choudhury, P., K., Yoshino,T., 2003. On the ph response of fiber optic evanescent field absorption sensor having a u-shaped probe: An experimental analysis. **International Journal for Light and Electron Optics, 114** (1): 13-18.
16. Grattan, K. T. V., Sun, T., 2000. Fiber optic sensor technology: An overview. **Sensors and Actuators A, 82** (1-3): 40-61.
17. Lima Monteiro, D., W., Vdovin, G., Sarro, P., M., 2004. High-speed wave front sensor compatible with standard cmos technology. **Sensors and Actuators A, 109** (3): 220-230.
18. Li, P.,, Tigang, N., Lei, H., W., Bin, Y., Yantao, L., Shuisheng, J., 2006. A smart optical liquid level sensor based on hg cladding optical waveguide. **International Journal for Light and Electron Optics, 117** (3): 95-100.
19. Schuster, T., Neumann, N., Schäffer, C., G., 2009. Concept for a fiber-optic sensor utilizing surface-plasmon waves. **Procedia Chemistry, 1** (1): 309-312.
20. Lin, H., Huang, S.C., 2005. Fiber-optics multiplexed interferometric current sensors. **Sensors and Actuators A, 121** (2): 333-338.
21. Yeo, T., L., Sun, T., Grattan K.,T.,V., 2008. Fibre-optic sensor technologies for humidity and moisture measurement. **Sensors and Actuators A, 144** (2): 280-295.
22. Micheletto R., Hamamoto, K., Kawai, S., Kawakami, Y., 2005. Modeling and test of fiber-optics fast SPR sensor for biological investigation. **Sensors and Actuators A, 119** (2): 283-290.
23. Gu, B., Yin, M., Zhang, A., P., Qian, J., He, S., 2009. Low-cost high- performance fiber-optic ph sensor based on thin-core fiber modal interferometer. **Optics Express, 17** (25): 22296-22302.
24. Dubra, A., 2007. Wavefront sensor and wavefront corrector matching in adaptive optics. **Optics Express, 15** (6): 2762-2769.
25. Bloemhof, E. E., Wallace, K., 2004. Simple broadband implementation of a phase contrast wavefront sensor for adaptive optics. **Optics Express**, **12** (25): 6240-6245.

26. Wu, Y., Rao, Y., Chen, Y., Gong, Y., 2009. Miniature fiber-optic temperature sensors based on silica/polymer microfiber knot resonators. **Optics Express**, **17** (20): 18142-18147.

27. Shi, C., Chen, J., Wu, G., Li, X., Zhou, J., Ou, F., 2006. Stable dynamic detection scheme for magnetostrictive fiber-optic interferometric sensors. **Optics Express, 14** (12): 5098-5102.

28. Santos, E., J., P., 2003. Determination of ethanol content in gasoline: theory and experiment, pp. 349-353. *Microwave and Optoelectronics Conference, September 20-23, 2003.*

29. Possetti, G., R., C., Muller, M., Fabris, J., L., 2009. Refractometric optical fiber sensor for measurement measurement of ethanol concentration in ethanol-gasoline blend, pp. 616-620. *Microwave and Optoelectronics Conference, Nowembwer 3-6, 2009.*

30. Maggıolı, V., J., 1985. Fiber optic sensors in petrochemical plants. **IEEE Transactions on Industry Applications, 21** (6): 1491-1495.

31. Cavrar, A., Sevindik, F. N., Çarıkçı, G., Müyesser, H. H., Aydın, İ., Işık, İ., Eralp, İ. E., Alkollü İçkilerde Refraktometrik Yöntemle Etanol Tayini. (**http://web.itu.edu.tr/~kaygusuzh/proje1.pdf**), (Erişim tarihi: Temmuz 2011).

32. Açıkgöz, S., 2007. Plastic Fiber Optic Humidity and Gas Sensor. Boğaziçi University, Master of Science, İstanbul, 47 pp.

33. Mignani, A. G., Ciaccheri, L., Cucci, C., Mencaglia, A. A., Cimato, A., Attilio, C., Ottevaere, H., Thienpont, H., Paolesse, R., Mastroianni, M., Monti, D., Gerevini, M., Buonocore, G., Nobile, M. A. D., Mentana, A., Grimaldi, M. F., Asta, C. D., Faccini, A., Galaverna, G., Dossena, A., 2008. Eat-by-light: fiber-optic and micro-optic devices for food quality and safety assessment. **IEEE Sensors Journal, 8** (7): 1342-1353.

34. Kulkarni, A., Kim, Y., Kim, T., 2009. A novel approach to the sensing of liquid density using a plastic optical fibre cantilever beam. **Physics Education 44** (1): 65-69.

35. Öztürk, S., Süt ve Süt Ürünlerinde İstenmeyen Maddelerin Analizleri-Biyosensörler-. (**http://www.akademikgida.com/detay1.asp?id=87**), (Erişim tarihi: Temmuz 2011).

36. MEGEP, 2010. Gıdalarda Enstrümental Analizler 1. Ankara, 68s.

37. Yılmaz, M., Yurtbilir S., 2008. Süt Teknolojisi. (Web sayfası: **http://www.gidacilar.net/sut-teknolojisi-t536.html**), (Erişim tarihi: Temmuz 2011).
38. Ülker, 2011. Süt ve bileşenleri. (Web sayfası: **http://www.ulker.com.tr/sut-ve-bilesenleri.aspx**), (Erişim tarihi: Temmuz 2011).
39. Türk Standardları Enstitüsü, Nisan 2003. İnek Sütü-Çiğ Tadil 1, TS 1018, ICS 67.100.10.
40. MEGEP, 2008. Çözelti Hazırlama 1. Ankara, 80s.
41. Thyagarajan, K., Ghatak A., 2007. Fiber Optic Essentials. John Wiley & Sons and IEEE Press, Canada, 259 pp.
42. Özsoy, S., 2009. Fiber Optik. Birsen Yayınevi, İstanbul, 278 s.
43. Yin, S., Ruffin, P. B., Yu, F. T. S., 2008. Fiber Optics Sensors. CRC Press, Boca Raton, 494 pp.
44. Lecoy, P., 2008. Fiber-Optic Communications. John Wiley & Sons, Antony Rowe Ltd, Great Britain, 363 pp.
45. Agrawal, G. P., 2002. Fiber-Optic Communication Systems. A John Wiley & Sons, Wiley-Interscience, New York, 567 pp.
46. Laferriere, J., Lietaert, G., Taws, R., Wolszczak, S., 2007. Referenced Guide to Fiber Optic Testing. JDS Uniphase Corporation, France, 138 pp.
47. Ünverdi, N. Ö., Türkmen, Ö., 2006. Propagation analysis in optical fiber interferometric sensors, pp. 1-4. *Signal Processing and Communications Applications, IEEE 14th, April 17-19, 2006, Antalya.*
48. Türkmen Ö., 2005 Optik Dalga Kılavuzlarının Propagasyon Özelliklerinin İncelenmesi ve Optik Kuplor ile Optik Sensor Analizi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
49. Yu, F., Yin, S., 2002. Fiber Optic Sensors. Marcel Dekker, New York, 495 pp.
50. Udd, E., 1995. Fiber Optic Smart Structures. Wiley Interscience, New York, 67 pp.
51. Krohn, D. A., 1999. Fiber Optic Sensors Fundamentals and Applications. Instrument Society of America. USA, 288 pp.
52. Udd, E., 1991. Fiber Optic Sensors: An Introduction for Engineers and Scientists. Wiley Interscience. New York, 136 pp.
53. Bodur, A., 2011. Örneklerle Optoelektronik. EMO Yayın No: Ek/2011/5. Ankara, 221 s.

54. Avago Technologies, HFBR-0500Z Series Versatile Link The Versatile Fiber Optic Connection. (**http://www.farnell.com/datasheets/461207.pdf**). (Erişim tarihi: Temmuz 2011).

55. Senior, J., M., 1992. Optical Fiber Communications, Second Edition, Prentice - Hall, Cambridge, 908 pp.

56. DeCusatis, C., 2002. Fıber Optic Data Communıcatıon: Technologıcal Trends and Advances. Academic Press, New York, 555 pp.

57. OMC, Bare Polymer Fibre. (**http://www.farnell.com/datasheets/32325.pdf**). (Erişim tarihi: Temmuz 2011).

58. OMC, The Optoelectronic Manufacturing Corporation. Ruggedised 1mm Polymer Fibre Optic Cable. (**http://www.farnell.com/datasheets/90821.pdf**). (Erişim tarihi: Temmuz 2011).

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Şekip Esat HAYBER

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Tarihi ve Yeri: 03 Şubat 1982, Adana

Medeni Durumu: Bekâr

Tel: +90 505 346 32 02

Tel: +90 386 712 41 69

Fax: +90 386 712 76 89

email: sehayber@ahievran.edu.tr

Yazışma Adresi: Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Kaman MYO, Ahi Evran Üniversitesi, 40300, Kaman, Kırşehir

EĞİTİM

Derece	**Kurum**	**Mezuniyet Tarihi**
Lisans	MEÜ Müh. F. El.-Elektronik Bl.	2004
Lise	Paksoy Lisesi, Adana	1999

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görev**
2008- Halen	Ahi Evran Üni. Kaman MYO	Öğr. Gör.
2006–2008	Mersin Üni. Tarsus Tek. Eğ. Fak.	Ücretli Öğr. Gör.

YAYINLAR

1. Hayber Ş. E., Saraçoğlu Ö. G.. “Kırılma İndisi Değişimine Duyarlı Bir Taşınabilir Optik Algılayıcı Tasarımı” 4. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, 199-205, 28-29 Nisan 2011, Çankaya Üniversitesi, Ankara.