

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

**TERMOKROMİK MALZEMEYLE FİBER OPTİK
ALGILAYICI TASARIMI**

**Hazırlayan
Ramazan KOÇOĞLU**

**Danışman
Prof. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU**

Yüksek Lisans Tezi

**Haziran 2019
KAYSERİ**

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

**TERMOKROMİK MALZEMEYLE FİBER OPTİK
ALGILAYICI TASARIMI**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Ramazan KOÇOĞLU**

**Danışman
Prof. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU**

**Haziran 2019
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

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.

Ramazan KOÇOĞLU



YÖNERGEYE UYGUNLUK

"Termokromik Malzemeyle Fiber Optik Algılayıcı Tasarımı" adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.



Tezi Hazırlayan

Ramazan KOÇOĞLU



Danışman

Prof. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU



Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD Başkanı Y.

Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR

Prof. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU danışmanlığında Ramazan KOÇOĞLU tarafından hazırlanan "Termokromik Malzemeyle Fiber Optik Algılayıcı Tasarımı" adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

19 / 07 / 2019

JÜRİ:

Danışman : Prof. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU

Üye : Prof. Dr. Celal YILDIZ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Erdem ASLAN

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 06/08/2019 tarih ve 2019/57-16 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bu günlere gelmemde en büyük katkı sahibi sayın hocam Prof. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Malzeme temini ve çalışmam hakkında, bilgilerini esirgemeyen Dr. Şekip Esat HAYBER'e ve deneysel çalışmalarımı yapmam için laboratuvar desteği veren ERKAM ve çalışanlarına, teşekkür ederim.

Eğitimim süresince bana her türlü desteği veren Türk Telekom A.Ş. Kayseri ESS Müdürü M.Buğra TAŞÇI'ya ve ESS Teknik Sorumlusu Murat AKKOYUN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen biricik eşim Meltem KOÇOĞLU'na, aileme ve canım oğluma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ramazan KOÇOĞLU

Kayseri, Haziran 2019

TERMOKROMİK MALZEMEYLE FİBER OPTİK ALGILAYICI TASARIMI

Ramazan KOÇOĞLU

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2019
Danışman: Prof. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU**

ÖZET

Sıcaklık, moleküllerin hareketinin bir sonucudur. Bir sürecin izlenmesi ve kontrolü, sağlıkta vücut içi ve vücut dışı sıcaklığın ölçülmesi, farklı ortamlarda iklimlendirme gibi pek çok amaç için, yöntemi ne olursa olsun sıcaklık ölçümüne ihtiyaç duyulur.

Son zamanlarda, taşınabilir, güvenilir, hızlı tepki veren, duyarlılığı yüksek ve uzaktan algılamaya yatkın algılayıcıların tasarımına olan ilgi giderek artmaktadır. Bu özelliklere sahip fiber optik algılayıcıların, ayrıca, güvenlik, elektriksel izolasyon, elektromanyetik girişimden bağımsızlık, RF yayını bakımından pasiflik, büyük bant genişliği, ağırlıkça hafiflik ve yüksek hassasiyet gibi avantajları sebebiyle de kullanımı her geçen gün artmaktadır.

Bu çalışmada, optik, fiber optik yöntemler kullanılarak geleneksel sıcaklık algılayıcılarına alternatif olan ve optik malzemelerin avantajlarını taşıyan bir fiber optik sıcaklık algılayıcı tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Algılayıcı sistemde; ışık kaynağı olarak bir RGB LED, optik-elektriksel dönüştürücü olarak bir fototransistör ve sıcaklığa bağlı tepkiyi algılamak için plastik fiber optik üzerine kaplanmış termokromik malzeme kullanılmıştır. Algılama sisteminde; RGB LED'den çıkan ışık ışını fiber optik kablo içerisine bağdaştırılır, termokromik malzemeli algılama bölgesinden geçen ışık, malzemedeki renk değişimine bağlı olarak şiddet değişimine uğrar. Işık şiddetindeki bu değişim, fototransistör tarafından elektriksel sinyale dönüştürülür ve Arduino yardımıyla sıcaklık belirlenir. Sıcaklık ölçümlerine düşük sıcaklıktan başlanıp fiber optik kablonun maksimum referans sıcaklığına kadar devam edilmiş, -10°C ve 60°C arasında kalibrasyon eğrileri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sıcaklık Algılama, Plastik Fiber Optik, Termokromik Pigment

FIBER OPTICAL SENSOR DESIGN WITH THERMOCROMIC MATERIAL

Ramazan KOÇOĞLU

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, June 2019

Supervisor: Prof. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU

ABSTRACT

Temperature is result of the movement of molecules. For many purposes, such as monitoring and controlling a process, measuring in-body and extra-body temperature in health, and air conditioning in different environments, temperature measurement is required regardless of the method.

Recently, there has been a growing interest in the design of portable, reliable, responsive, high-sensitivity sensors that are prone to remote sensing. Fiber optic sensors with these features are also increasing day by day due to their advantages such as safety, electrical isolation, immunity from electromagnetic interference, passivity in terms of RF propagation, large bandwidth, light weight and high sensitivity.

In this study, a fiber optic temperature sensor design and production, which is an alternative to conventional temperature sensors using optical, optical fiber methods and which have the advantages of optical materials, have been realized. In the sensor system; an RGB LED and a phototransistor are used as the light source, the optical-electrical converter, respectively. Also, a thermochromic material is coated on a plastic optical fiber to detect the temperature-dependent response. In the detection system; the light beam coming out of the RGB LED is connected into the fiber optic cable, the light passing through the sensing zone with thermochromic material changes intensity depending on the color change in the material. This change in light intensity is converted to electrical signal by the phototransistor and the temperature is determined with the help of Arduino. Temperature measurements were started from low temperature to the maximum reference temperature of the fiber optic cable. Calibration curves between -10 °C and 60 °C were obtained.

Keywords: Temperature Sensing, Plastic Optical Fiber, Thermochromic Pigments

İÇİNDEKİLER

TERMOKROMİK MALZEMEYLE FİBER OPTİK ALGILAYICI TASARIMI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL ONAY	iv
ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI

1.1. Algılayıcı ve Dönüştürücü	2
1.2. Literatür incelemeleri	3

2. BÖLÜM

SICAKLIK ÖLÇÜMLERİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

2.1. Sıcaklık Ölçümü	8
2.2. Sıcaklık Ölçüm Teknikleri	10
2.2.1. Temashlı Termometreler	11
2.2.1.1. Genişleme Tipli Termometreler	11

2.2.1.1.1. Sıvı Genişlemeli Termometreler	11
2.2.1.1.2. Bimetal tip termometre	11
2.2.1.1.3. Gaz termometreleri.....	12
2.2.1.2 Termistörler	12
2.2.1.3. Direnç Termometreleri (RTD)	13
2.2.1.4. Isıl çiftler (Thermocouple)	14
2.2.1.5. Sıvı kristal termometreler	14
2.2.2. Temassız Termometreler	14
2.2.2.1. Optik termometreler (Pirometre)	14
2.2.2.2 İnfrared (kızılaltı) termometreler	15

3. BÖLÜM FİBER OPTİK

3.1. Kırılma İndisi ve Işığın Kırılması	17
3.2. Fiber Optik	18
3.3. Bağıl Kırılma İndis Farkı	19
3.4. Kabul Açısı.....	19
3.5. Nümerik Açıklık	19
3.6. Normalize Frekans ve Fiber Türleri	19
3.7. Fiber Optik Kablolarda Kayıplar.....	21
3.7.1. Soğurma Kayıpları	21
3.7.2 Malzeme ya da Rayleigh Saçınım Kaybı.....	22
3.7.3. Renk ya da Dalga Boyu Dispersiyonu	22
3.7.4. Yayınım Kayıpları.....	22
3.7.5. Modal Dispersiyon.....	23
3.7.6 Bağlaşım Kayıpları.....	23
3.7.7. Fiber Optik Algılayıcılar ve Algılayıcıların Sınıflandırılması.....	23

4. BÖLÜM

MATERYAL, YÖNTEM VE ALGILAMA

4.1. Algılama Sisteminin Tanımı.....	25
4.2. Fiber Optik Algılayıcıyı Oluşturan Parçalar.....	25
4.2.1. Optik Vericiler	25
4.2.2 Optik Alıcılar	26
4.2.3 Plastik Optik Fiber	27
4.3. Sıcaklık Algılama Bölgesinin Oluşturulması.....	28
4.3.1. Plastik Optik Fiberin İnceltilmesi ve Algılama Uçlarının Hazırlanması ..	28
4.3.2. Termokromik Renk Pigmenti	30
4.3.3. Fiberlerin Sonlandırılması.....	31
4.3.4. Fiberlerin Kuplaj Kayıplarını Azaltmak İçin Parlatılması.....	32
4.4. Algılama Sisteminin Tasarlanması.....	33
4.5. Algılamada Kullanılacak Fiberin Seçimi	34
4.6. Çoklu Doğrusal Regresyon.....	48

5. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ.....	57

KISALTMALAR VE SİMGELER

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>	<u>Birimi</u>
RF	Radyo Frekans	(Hz)
RGB	Red (Kırmızı), Green (Yeşil), Blue (Mavi)	--
LED	Light Emitting Diode (Işık yayan diyot)	--
ISA	Instrument Society of America (Amerika ölçüm topluluğu)	--
pH	Power of Hydrogen (Hidrojen kuvveti)	--
AC	Alternative Current (Alternatif akım)	(A)
DC	Direct Current (Doğru akım)	(A)
SWI	Swept Wavelength Interferometry	--
SNR	Signal to Noise Ratio (Sinyal gürültü oranı)	(desibel)
QD	Quantum Dots (Quantum noktaları)	--
NA	Numerical Aperture (Nümerik açıklık)	--
EM	Electro Magnetic (Elektromanyetik)	--
POF	Plastic Optic Fiber (Plastik optik fiber)	--
LD	Laser Diode (Lazer diyot)	--
PCS	Plastic Clad Silica (Plastik yelekli silika fiberler)	--
PCOF	Plastik Yelekli Optik Fiberler	--
LCD	Liquid Crystal Display (Sıvı kristal ekran)	--
dB	Desibel Sayısı	--
n	Kırılma indisi	--
c	Işığın vakumdaki hızı	(m/s)
v	Işığın ortamdaki hızı	(m/s)
g	Gram	--
cm	Santimetre	--

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Sıcaklık ölçeklerinin dönüşümleri.....	9
Tablo 3.1. Kırılma İndisleri.	18
Tablo 4.1. Uygulamada kullanılan fiberin elektriksel ve optik özellikleri.....	27
Tablo 4.2. Uygulamada kullanılan fiberler.....	30
Tablo 4.3. Termokromik Malzemenin Renk Değişimi.....	31
Tablo 4.4. Sarı Termokromik Malzeme Kaplı Algılama Ucuna Ait Çıkış Voltajları.....	34
Tablo 4.5. Pembe Termokromik Malzeme Kaplı Algılama Ucuna Ait Çıkış Voltajları.....	35
Tablo 4.6. Kırmızı Termokromik Malzeme Kaplı Algılama Ucuna Ait Çıkış Voltajları.....	36
Tablo 4.7. Sarı Termokromik Malzeme Kaplı 3 cm. Uzunluğunda Algılama Ucuna Ait Çıkış Voltajları.....	37
Tablo 4.8. Pembe Termokromik Malzeme Kaplı 3 cm. Uzunluğunda Algılama Ucuna Ait Çıkış Voltajları.....	38
Tablo 4.9. Kırmızı Termokromik Malzeme Kaplı 3 cm. Uzunluğunda Algılama Ucuna Ait Çıkış Voltajları.....	39
Tablo 4.10. Sarı Termokromik Malzeme Kaplı 3 cm. Uzunluğunda Algılama Ucuna Ait Lineer Bölgeye Ait Çıkış Voltajları.....	42
Tablo 4.11. Kırmızı Termokromik Malzeme Kaplı 3 cm. Uzunluğunda Algılama Ucuna Ait Lineer Bölgeye Ait Çıkış Voltajları.....	44
Tablo 4.12. Sarı Termokromik Malzeme Kaplı 6 cm. Uzunluğunda Algılama Ucuna Ait Lineer Bölgeye Ait Çıkış Voltajları.....	46
Tablo 4.13. 3 cm inceltilmiş bölge ve 1,22 g. sarı termokromik malzemeyle kaplı ölçüm ucunda doğrusal regresyon denklemi.	48
Tablo 4.14. 3 cm inceltilmiş bölge ve 1,22 g. kırmızı termokromik malzemeyle kaplı ölçüm ucunda doğrusal regresyon denklemi.	49
Tablo 4.15. 6 cm inceltilmiş bölge ve 1,22 g. sarı termokromik malzemeyle kaplı ölçüm ucunda doğrusal regresyon denklemi.	49

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Termoskop.....	8
Şekil 2.2.	Sıcaklık genişlemeli termometre.....	11
Şekil 2.3.	Bimetal tip termometre.....	12
Şekil 2.4.	Direnç termometre.....	13
Şekil 2.5.	Sıvı kristal termometre.....	14
Şekil 2.6.	Toplam ışınım pirometresi.....	15
Şekil 2.7.	İnfrared (kızılaltı) termometre.....	15
Şekil 3.1.	Işığın Kırılması.....	17
Şekil 3.2.	İndis Türlerine Göre Fiberler (a.Tek Modlu Basamak İndisli b.Çok Modlu Basamak İndisli c. Çok Modlu Derece İndisli).....	20
Şekil 4.1.	RGB LED.....	26
Şekil 4.2.	Fototransistör.....	26
Şekil 4.3.	Uygulamada kullanılan tekyönlü (simplex) konnektör.....	28
Şekil 4.4.	3D yazıcıdan alınan sonlandırma konnektörleri.....	28
Şekil 4.5.	İnceltilen Plastik Fiber.....	29
Şekil 4.6.	Hazırlanan Örnek Uç.....	29
Şekil 4.7.	Fiber Uçların Konnektörde Sonlandırılması.....	32
Şekil 4.8.	Fiber Uçların Zımparalanması.....	32
Şekil 4.9.	Fiber Uçların Parlatılması.....	33
Şekil 4.10.	(a) Tasarlanan algılama sisteminin proteus çizimi. (b) Tasarlanan algılama sisteminin baskı devresi. (c) Tasarlanan algılama sisteminin kutulama sonrası.....	33
Şekil 4.11.	3 cm inceltilmiş bölge ve 1,22 g. sarı termokromik malzemeyle kaplı ölçüm ucunun lineer olduğu bölge.....	40
Şekil 4.12.	3 cm inceltilmiş bölge ve 1,22 g. kırmızı termokromik malzemeyle kaplı ölçüm ucunun lineer olduğu bölge.....	41
Şekil 4.13.	6 cm inceltilmiş bölge ve 1,22 g. sarı termokromik malzemeyle kaplı ölçüm ucunun lineer olduğu bölge.....	41

Şekil 4.14. Sarı Termokromik Malzeme Kaplı Algılama Ucuna Ait Lineer Bölgeye Ait Çıkış Voltajları.....	43
Şekil 4.15. Kırmızı Termokromik Malzeme Kaplı Algılama Ucuna Ait Lineer Bölgeye Ait Çıkış Voltajları.....	45
Şekil 4.16. Sarı Termokromik Malzeme Kaplı Algılama Ucuna Ait Lineer Bölgeye Ait Çıkış Voltajları.....	47



GİRİŞ

Optik malzemelerin, elektromanyetik girişimden etkilenmemesi, geniş frekans aralığında doğrusal tepki vermesi, küçük boyutları, hafif olması, yalıtkan doğada olması, güvenlik ve çevre koruma avantajları, elektro-optik metot ile yapılan çalışmaları ve uygulamaları artırmıştır. Optik algılayıcı teknolojisi, diğer geleneksel algılayıcılara göre belirgin avantajlar sağlar. Optik algılayıcıların bazı ilgi çekici özellikleri gerçek zamanlı gösterimleri, hızlı cevapları, kararlılıkları, geniş dinamik aralıkları ve uzaktan erişimleridir. Üstelik fotonlardan oluşan ışık, herhangi bir elektriksel yük taşımaz ve elektromanyetik alanlara karşı bağıstıktır.

Fiber optik algılayıcılarda, sinyalin uzak mesafelere iletimi kolaydır. Yarıiletken malzemelerle entegrasyona izin verirler. Bu avantajlarından dolayı optik algılayıcılar, çoğu durumda daha fazla güvenilirlerdir. Optik fiber hareketli parça veya elektrik devresi içermez ve bu nedenle bütün elektriksel bozuculardan bağımsızdır. Kıvılcım saçma olasılığı yoktur ve bu da algılayıcının yağ rafinerilerinde, madencilikte, eczacılıkta ve kimyasal işlemlerde güvenle kullanılmasını sağlar. Ayrıca kırılmış fiberi onaran kişi için de elektriksel şok tehlikesi yoktur. Optik algılayıcılar, kullanım sahasının genişliği, algılanan sinyali elektriksel olarak yalıtkan bir ortam vasıtasıyla taşımaları gibi özelliklerinden dolayı, geleneksel algılayıcılara göre büyük avantajlar sağlamaktadır. Optik algılayıcılar; güvenlik, elektriksel izolasyon, elektromanyetik girişimden bağıstıklık, RF yayınımlı bakımından pasiflik, büyük bant genişliği, ağırlıkça hafiflik ve yüksek hassasiyet gibi etkenler sebebiyle kullanımı her geçen gün artmaktadır [1].

Fiber optik algılayıcılar günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Mesela, sıcaklık farkı, basınç farkı, tektonik hareketlerin algılanmasında kullanılır. Dünyada sadece birkaç üretici fiber optik sıcaklık algılama teknolojisine sahiptir ve pek çok değişik maksat için kullanılabilen bu ürünler yangın algılama uygulamalarında da kullanılabilir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI

1.1. Algılayıcı ve Dönüştürücü

Ortamların fiziksel değişimini (ısı, ışık, basınç, ses vb.) algılayan cihazlara algılayıcı denilmektedir. Algıladığı bilgiyi elektriksel sinyale dönüştüren cihazlara da dönüştürücü (transducer) denilir [2]. Bu iki kavram kesin çizgiler ile birbirinden ayrılmamakla birlikte birbirleri yerine sık sık kullanılmaktadır. 1969 yılında ISA (Instrument Society of America) bu terimleri eşanlamlı kabul etmiş ve “Ölçülen fiziksel özellik, miktar ve koşulları kullanılabilir elektriksel büyüklüğe dönüştüren bir araç” olarak tanımlamıştır.

Algılayıcıları birbirinden farklı sınıflara ayırmak mümkündür [3]:

Giriş büyüklüğüne göre;

Algılayıcılar ile ölçülen büyüklükler altı gruba ayrılır. Bunlar:

- Mekanik algılayıcılar; alan, uzunluk, miktar, kütleli akış, tork, basınç, ivme, hız,
- Termal algılayıcılar; ısı akışı, sıcaklık,
- Elektriksel algılayıcılar; voltaj, direnç, akım,
- Manyetik algılayıcılar; alan şiddeti, manyetik moment,
- Işıma algılayıcıları; ışık şiddeti, dalga boyu, faz,
- Kimyasal algılayıcılar; pH miktarı, yoğunlaşmadır.

Çıkış büyüklüğüne göre;

Çıkış büyüklükleri AC, DC, analog ve dijital olabilmektedir.

Besleme ihtiyacına göre;

Besleme ihtiyacına göre algılayıcılar ikiye ayrılmaktadır:

- Aktif algılayıcılar: Çalışmaları için harici enerji bağlantısı gerekmektedir. Zayıf sinyalleri ölçmek için kullanılırlar. Bu tür algılayıcılarda giriş çıkış sinyallerine dikkat etmek gerekmektedir. Bu tür algılayıcılar dijital ya da analog türde çıkış sinyali üretirler.
- Pasif algılayıcılar: Dışardan enerji almadan fiziksel ya da kimyasal büyüklüğü bir başka değere çevirirler. Örnek olarak ısılıçiftler verilebilir.

1.2. Literatür incelemeleri

Fiber optik kablolar yaygın olarak sıcaklık, gerilme ve basınç gibi fiziksel büyüklüklerin ölçülmesinde algılayıcı olarak kullanılmaktadırlar. Uzun mesafeli ölçüm sistemi oluşturabilmeleri, ekstra enerji ihtiyacı duymamaları ve klasik fiber optik kablo avantajları bu tür algılayıcılar çekici hale getirmektedir. Yücel ve ark., tarafından yapılan çalışmada klasik tek modlu bir fiberin sıcaklık algılayıcısı olarak tasarımı yapılarak deneysel olarak gerçekleştirilmiştir [4].

Lebid ve ark., tarafından anlatılan algılayıcıda ise, geleneksel fiber optik sıcaklık algılayıcısında olduğu gibi yarı iletken-fiber birleştirme kayıplarından kaçınılarak sıcaklığın ölçülmesi sağlanmıştır [5].

Fiber optik algılayıcılardan olan fiber ızgara algılayıcılarının, önemli avantajları olduğundan kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Fiber ızgaralar, ağ yapısı şeklinde gerçekleştirilip kullanıldıkları için etkinliği daha fazla olan sistemlerdir. Fiber ızgara düzenekleri sıcaklığa, basınç ve gerilmeye doğrudan duyarlıdır. Fiber ızgara algılayıcı ağları ile çok çeşitli yapılarda ve ortamlarda sıcaklık ve çeşitli hareketlilikler algılanıp sürekli olarak izlenebilmektedir [6].

Bir fiber optik kablo boyunca Rayleigh saçılmasıyla yansıyan sinyalin, sıcaklığa bağlı spektral kaymasını ölçmeye dayanan dağıtılmış fiber optik sıcaklık algılaması da ilginç bir tekniktir. Gifford ve ark., Rayleigh saçılmasını ölçmek için süpürme-dalga boyu interferometrisini (SWI) kullanarak bir algılayıcı tasarlamıştır. SWI, bir optik fiber

boyunca Rayleigh geri saçılmadaki spektral kaymayı ölçmek için kullanılabilir. Bu, herhangi bir standart tek modlu fiber boyunca dağılmış sıcaklık algılamayı sağlar [7].

Elsarnagawy tarafından yapılan çalışmada ise bir sıcaklık algılayıcı olarak tek modlu optik fiberin bir uygulaması tanıtılmaktadır. Uygulama, Michelson-İnterferometre prensibine dayanmaktadır. Birkaç metre tek modlu fiber optik kablo, bir köpük silindirin etrafına gevşekçe sarılmıştır. Çalışmada kullanılan interferometrik prensip, çıkışın doğrudan elektriksel sinyal haline dönüştürülmesinden sonra dijital bir okuma olarak elde edilmesi avantajını sağlamaktadır [8].

Azizan ve ark., tarafından yapılan çalışmada sıcaklık ve gerilme algılaması için dağıtılmış bir fiber optik algılayıcının benzetimleri sunulmaktadır. Brillouin ve Rayleigh saçılmalarının optik fiberlerdeki davranışları geri saçıcı sinyaller aracılığıyla incelenmektedir. Geliştirilen tüm simülasyon modelleri, yayınlanan ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılarak doğrulanmıştır [9].

Xia ve ark., tarafından yapılan çalışmada ise Raman saçılımındaki fiber optik dağılmış sıcaklık algılama sistemi tabanındaki modifiye edilmiş bir demodülasyon algoritması ele alınmıştır. Bu, ham verinin sinyal gürültü oranını (SNR) yükselten ve algılama fiberinin Stokes ve Anti-Stokes dalga boyu arasındaki zayıflama farkını ince bir şekilde dengeleyen dalgacık alanı gürültü azaltma ve iterasyon tekniğinin bir kombinasyonudur. 8 km'lik bir konvansiyonel OM1 fiber (OM1 fiber, multimod bir fiber olup 62,5 μm 'lik bir çekirdek boyutuna sahiptir.), sıcaklık algılama fiberi olarak kullanılır ve demodüle edilen sıcaklığın ham verileri, fiber kesiminde sıcaklık çözünürlüğünü 8.0' dan 1.0 $^{\circ}\text{C}$ 'ye yükselten dalgacık alanı denoising yöntemi ile işlenir ve burada en kötü SNR'ye ulaşılır. Ayrıca Stokes ve Anti-Stokes dalga boyu arasındaki zayıflama farkı, 8 kez tekrarlama ile ince telafi edilir ve 8 km'lik bir fiber üzerinde 0.1 $^{\circ}\text{C}$ lik bir sıcaklık çözünürlüğü elde edilir [10].

Yin ve ark., tarafından yapılan çalışmada farklı floresan dalga boylarının sulu kuantum noktalar (QD) çözeltileri ile dolu içi boş çekirdekli mikro-yapılandırılmış optik fiberlerden oluşan çok noktalı algılama için QD tabanlı çoklayıcı fiber optik sıcaklık algılayıcıları da önerilmiştir. Floresan emisyonların çapraz geçişini önlemek ve pratik sondalar oluşturmak için paralel yansıtıcı bir konfigürasyon benimsenmiştir. Sıcaklık deneyleri, iki algılayıcıların flüoresan tepe dalga boyunun ve kendinden referanslı

yoğunluğunun, hem pozitif geri beslemeli, -10°C ila 120°C aralığında doğrusal olarak değiştiğini göstermektedir. Sonuçta, floresan tepe dalga boyunun ve iki algılayıcının kendiliğinden öne sürülen yoğunluğunun çapraz karışımı, sıcaklık ölçümleri aralığında test edilir [11].

Kablo eksenini boyunca yüksek sıcaklık bölgelerinin olması, yeraltı güç kablolarında iletilebilir yük kapasitesini sınırlar. Bu "sıcak noktaları" belirlemek ve kontrol etmek çok zordur. Bu, kablo yapımında ilave bir maliyet veya kablonun ömründe bir daralma ile sonuçlanır. Enerji kablolarının optimum kullanımı ve yükleme prosesi öncesinde ve sırasında herhangi bir risk almadan kablo boyunca sıcaklık profilinin optimum kontrolü, sıcaklık verisinin hızlı bir şekilde toplanmasına ve değerlendirilmesine ihtiyaç duyar. Bu gereksinimleri karşılamak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Yılmaz ve ark., tarafından yapılan çalışmada, fiber optik kablolu güç kablolarının dağıtılmış sıcaklık algılaması incelenmiş ve diğer tekniklerle karşılaştırılmıştır. Pratik ölçüm örnekleri verilmekte ve bu ölçümlerin sonuçları yorumlanmaktadır. Dağıtılmış sıcaklık algılama yöntemi ile toplanan verileri değerlendiren Gerçek Zamanlı Termal Değerlendirme (RTTR) adı verilen bir Scada tabanlı sistemin uygulamaları da açıklanmaktadır [12].

Rice ve ark., çeşitli Fabry-Perot ve diğer interferometrik teknikler (EFPI, IFPI), fiber Bragg ızgaraları (FBG), uzun periyodlu ızgaralar (LPG), Raman geri saçılma, optik frekans dahil olmak üzere fiber optik tabanlı sıcaklık algılayıcı teknolojilerine genel bir bakış sunmaktadır: Alan reflektometrisi (OFDR), Brillouin geri saçılma ve diğer fiber optik sıcaklık algılayıcı tipleri gibi. Ayrıca, fiber optik algılayıcı teknolojisi bugün günümüzde kullanılan belirli endüstriyel, ticari ve havacılık uygulamalarının genişlediği bir alan olacaktır [13].

Dairesel optik fiberlerdeki seçici yüksek mertebeden modların etkileşimine dayalı bir fiber optik sıcaklık algılayıcısı Li ve ark., tarafından anlatılmıştır. Yazarlar LP_{01} modunu standart bir tek modlu fiber ile birçok modlu fiberde LP_{0m} modlarına bağlayarak ve daha yüksek seviyeli modların girişimini kullanarak, son derece basit bir yapıya ve uygun bir fiber optik sıcaklık algılayıcısına sahip olduklarını göstermektedir. Yüksek sıcaklık ölçümleri için yapılan çalışmanın kullanışlı olacağı ifade edilmektedir [14].

Teknolojik gelişmelerin hızla arttığı bu dönemde yaşantımızın hemen her yerinde elektronik cihazlarda bulunan sensörleri kullanmaktayız. Sensörlerle herhangi bir makine veya elektronik devre kontrol edilebilmesi için gerekli bilgi sağlanabilmektedir. Sensörler bu işlemi sıcaklık, ışık, basınç, ses gibi fiziksel büyüklüklerdeki değişimleri algılayarak yapmaktadırlar. Sensörler, ortamda bulunan fiziksel bir değişikliği elektrik işaretlerine çevirerek elektronik sistemlere aktarmada kullanılırlar [15].

Optik sensörler diğer sensörlere göre bazı avantajları olduğundan dolayı daha çok tercih edilmektedir. Bu avantajlar; daha fazla duyarlılık, uzun algılama mesafesi, hızlı tepki süresi, elektriksel pasiflik, elektromanyetik girişime daha az maruz kalma, yüksek çözünürlük, kolay kurulum, renk tanımlama, temassız algılamadır [16].

Civan ve ark., tarafından yapılan çalışmada, termokromik malzemelerin kaplama malzemesi olarak karakterizasyonu incelenmiş olup, dışa bağımlılığı azaltacak, uluslararası rekabet gücünü artıracak ve enerji verimliliğini destekleyecek yenilikçi malzemelerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Isıtılan termokromik malzeme renk değiştirmiş, soğutulunca da malzeme tekrar orijinal rengine dönmüştür [17].

Coşkun tarafından yapılan çalışmada, uzun yıllardan beri yapılan araştırma, geliştirme ve tüketici taleplerine daha iyi cevap verebilmek adına ortamın sıcaklığına ve çevresel faktörlere bağlı olarak renk değiştiren tekstiller üretilmiştir. Bu renk değişimi kromik malzemeler sayesinde elde edilmektedir. Kromik materyaller, dış etkenler sonucu renk değiştiren, rengi yok olan ve renk yayan materyallerdir. Bu grupta değerlendirilen akıllı yapıların reaksiyona başlangıç etkilerine göre aldıkları isimler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır [18]:

- Termokromik materyaller; ısı etkisiyle,
- Fotokromik materyaller; ışık (ultraviyole ışınlar dahil) etkisiyle,
- İyonokromik materyaller; pH değerinin etkisiyle,
- Elektrokromik materyaller; elektrik enerjisinin etkisiyle,
- Piezokromik materyaller; basınç etkisiyle,
- Solventkromik materyaller; sıvı etkisiyle,
- Carsolkromik materyaller; elektrik ışınlarının etkisiyle renk değiştirmektedir.

Bu çalışmada ısıya duyarlı/ ısıyla renk değiştiren termokromik malzemeye yer verilecektir. Isıyla renk değiştiren bu malzemenin fiber optik kabloda kılavuzlanan ışık ışınlıyyla tepkimesi sonucu çıkış voltajındaki değişim analiz edilecek ve ortamın sıcaklığı ölçülmeye çalışılacaktır.



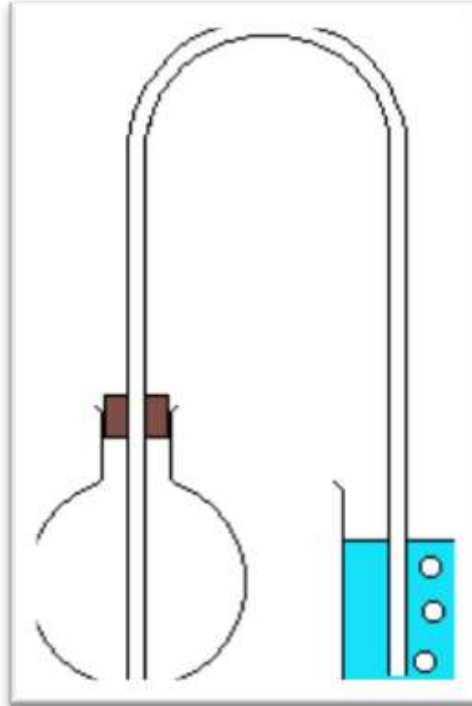
2. BÖLÜM

SICAKLIK ÖLÇÜMLERİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

2.1. Sıcaklık Ölçümü

Sıcaklık, moleküllerin hareketinin göstergesidir. Fiziksel bir büyüklük olup sıcaklık ölçü aletlerine termometre veya sıcaklık ölçer denilir.

Sıcaklık ölçmek için tasarlanan ilk cihaz Galilei'nin 1597 yılında yapmış olduğu termoskoptur. Termoskop; ince ve uzun bir tüp şeklinde boynu olan yumurta şeklinde bir hazneden oluşan cam şişedir. Yumurta şeklindeki kısım elle ovuşturularak ısıtılıyordu. Eller yumurta şeklindeki hazneden çekildiğinde kaptaki sıvı cam tüpte belli bir yüksekliğe geliyordu [19].



Şekil 2.1. Termoskop.

1641 yılında ilk sıvılı termometre yapılmıştır [19]. Bu termometrede sabit bir nokta olmayıp eşit 50 bölümle işaretlenmiş cam içerisindeki alkolden oluşuyordu.

Robert Hooke 1664'te termometrede sıvı olarak alkolün içerisine kırmızı boya katarak kullanmıştır. Yapmış olduğu termometreyi 500 eşit parçaya bölmüş her bir parçası 1 dereceye karşılık gelmiştir. Sabit nokta olarak suyun donma noktasını seçmiştir [19].

1702 yılında Gökbilimci olan Roemer yapmış olduğu ölçekte, buzun ergime ve suyun kaynama noktalarını almıştır [19].

Gabriel Fahrenheit 1724'te ilk kez termometre içindeki sıvıyı civa olarak kullanmıştır. Civanın genleşmesi yüksek olduğundan yüksek sıcaklıkları ölçmede sorun olmamıştır. Fahrenheit tuz-buz karışımının sıcaklığına sıfır, insan vücudunun sıcaklığına 96 demiştir. Bu değerlere göre yapılan ölçümler sonucu buz sıcaklığının 32 buhar sıcaklığının 212 olduğunu tespit etmiştir. Bu noktaları sabit noktalar olarak belirlemiştir. Bu iki değer suyun donma ve kaynama noktaları olmuş ve bu iki değer arasını 180 eşit parçaya bölmüştür. Bu ölçekte ölçülen değere Fahrenheit derecesi (F) denilmiştir [19].

1742 de Celsius 100 derecelik (santigrat) ölçeği yapmıştır. Suyun kaynama noktasını 0° , buzun ergime noktasını 100° olarak almıştır. Sonra bu değerler ters çevrilmiştir. 1948 yılına kadar ismi santigrat ölçeği olarak anılmış, bu yıldan sonra Celsius ölçeği olarak anılmıştır [19].

Kelvin 1848 Celsius dereceyi kullanırken sıfırını mutlak sıfır (- 273) olan bir ölçek ortaya koymuştur [19].

Rankine sıcaklık ölçeği, fahrenheit ölçeğini kullanmasına rağmen mutlak sıcaklık ölçeğidir [19].

Sıcaklık ölçeklerinin dönüşümü Tablo 2.1.'deki eşitlikler yardımıyla yapılabilir.

Tablo 2.1. Sıcaklık ölçeklerinin dönüşümleri.

Eşitlik
$T(K)=T(^{\circ}C)+273$
$T(R)=T(^{\circ}F)+460$
$T(R)=1.8*T(K)$
$T(^{\circ}F)=1.8T(^{\circ}C)+32$

Bir sıcaklık algılayıcısı seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıdaki gibidir.

- Sıcaklık okuma hassasiyeti
- Ölçüm yapılacak sıcaklık aralığı
- Maksimum sıcaklık seviyesine karşı duyarlılık sınırı
- Sıcaklık değişikliğine karşı verilen tepki hızı ve algılama doğruluğu
- Kararlılık ve doğruluğun devam etme süresi
- Ortam sınırlamalarının düzeyi
- Uygulamanın doğruluk derecesine ve cihazın monte ediliş şekline göre farklılık gösteren maliyet

2.2. Sıcaklık Ölçüm Teknikleri

Yaygın olarak kullanılan sıcaklık ölçüm teknikleri [20-22];

a- Temaslı termometreler

1- Genişleme tipli termometreler

- Sıvı genişlemeli
- Bimetal tip
- Gaz termometreleri

2- Termistörler

3- Direnç termometreleri (nikel, bakır, platinyum, tungsten)

4- Isıl çiftler (thermocouple)

5- Sıvı kristal termometreler

b- Temassız termometreler

1. Optik termometreler

2. İnfrared (kızılaltı) termometreler

2.2.1. Temash Termometreler

2.2.1.1. Genişleme Tipli Termometreler

2.2.1.1.1. Sıvı Genişlemeli Termometreler

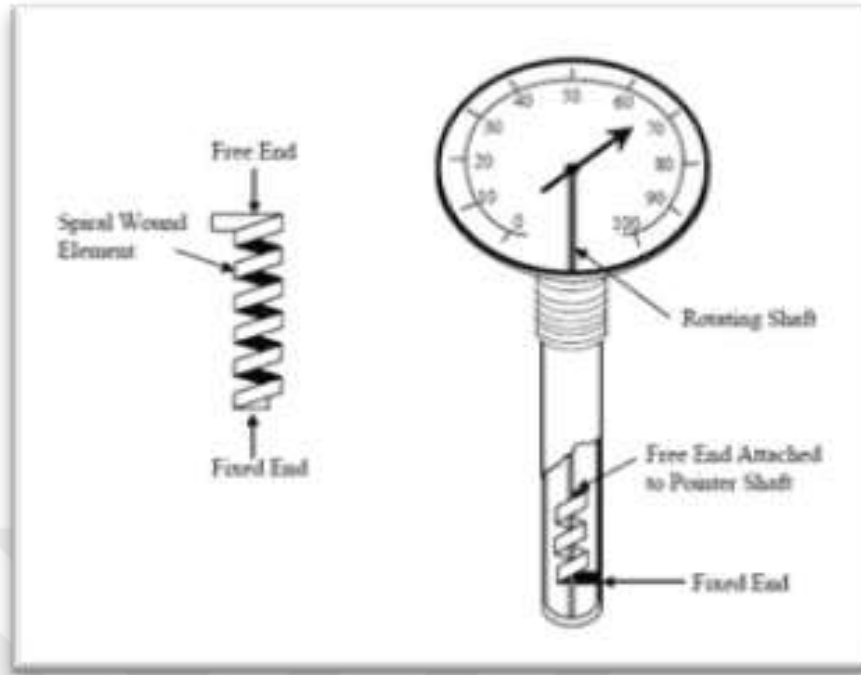
Çalışma prensibi hazne içerisindeki sıvı sıcaklıkla genişleyerek boru içerisinde yükselir. Kullanılan en yaygın sıvı cıvadır. Basit, ekonomik ve rahat okunabilmelerinden ötürü tercih sebebidir. Cam termometrelerde cıva, tolüen, etil alkol ve pentan gibi sıvılar kullanılabilir. Cıva cam yüzeyini ıslatmadığından tercih edilir. Diğer sıvılar camı ıslattığından okumada zorluk çıkarırlar [20-22].



Şekil 2.2. Sıcaklık genişlemeli termometre.

2.2.1.1.2. Bimetal tip termometre

Genleşme katsayısı farklı iki metalin birleştirilmesiyle oluşur. Bu metal çiftleri ısıtıldığında ya da soğutulduğunda farklı yönlerde eğilirler. Ölçüm aralığı $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındadır. Hassas değildir. Düşük sıcaklıklar için metallerin büzüşmesi hassas olmadığından uygun değildir. Endüstride bimetaller helisel biçimde sarım yapılarak kullanılırlar. Bir ucu sıcaklık ölçmek için kullanılır diğer ucu da ibreye bağlıdır [20-22].



Şekil 2.3. Bimetal tip termometre.

2.2.1.1.3. Gaz termometreleri

Gazların $PV = RT$ şeklinde yazılan ideal gaz kanuna dayanır. Burada P basınç, V hacim, R iniversal gaz sabiti T ise mutlak sıcaklığı göstermektedir. Uygun bir gaz sabit kapalı bir hacim içerisine konulur. Gazın sıcaklığı değiştikçe basıncı da değişir. Gerçekte bu sistemde sıcaklık ölçümü bir manometre yardımıyla yapılır. Sıcaklık değerlerinde işaretlenmiş manometreden sistemin sıcaklığı ölçülür. Sabit hacimde, belirli bir referans sıcaklıkta;

$$T = T_{ref} \left(\frac{P}{P_{ref}} \right) \quad (2.1)$$

şeklinde yazılabilir [20-22].

2.2.1.2. Termistörler

Sıcaklıkla direnci değişen elektronik elemanlara denilir. Term (sıcaklık) ve rezistör (direnç) kelimelerinin birleşiminden oluşur. İki çeşittir:

- a) PTC (Pozitif ısı katsayılı termistör)
- b) NTC (Negatif ısı katsayılı termistör)

dir.

PTC, bulunduğu ortamın veya temas ettiği yüzeyin sıcaklığı arttıkça elektriksel direnci artar. $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında çalışabilir. Daha çok elektrik motorlarında ısınmaya karşı kullanılır.

NTC, bulunduğu ortamın veya temas ettiği yüzeyin sıcaklığı arttıkça elektriksel direnci azalır. $-300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında çalışabilir. Daha çok elektronik termometrelerde, amplifikatörlerin çıkış güç katlarında, ısı denetimli havyalarda kullanılırlar [20-22].

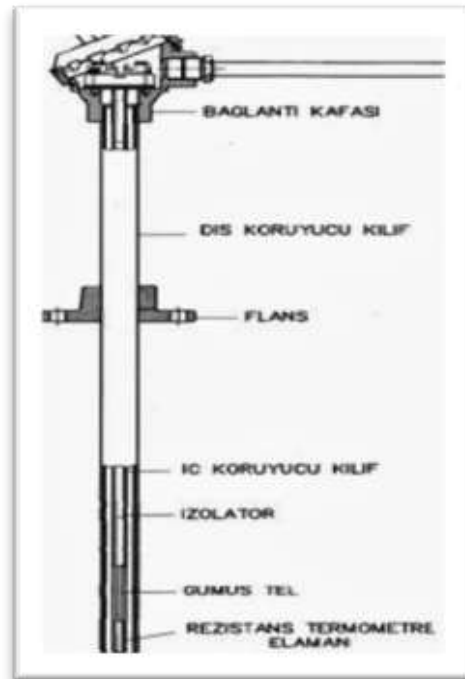
2.2.1.3. Direnç Termometreleri (RTD)

Direnç termometreleri iletken bir telin direnç değerinin sıcaklıkla değişmesi prensibine dayanır. $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında hassas ölçüm yapabilmektedir. Özellikle düşük sıcaklıkta Isılçiftlere göre daha iyi sonuçlar verirler. $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ye kadar standart tip, $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ den sonra özel tipleri kullanılır. Ölçüm için sarımlı direnç ölçüm yapılacak ortama daldırılır ve üzerinden sabit akım geçirilerek ölçüm yapılır. Direnç termometrelerinde sıcaklık değişim faktörü olarak α tanımlanır:

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100R_0} \quad (2.2)$$

$R_0 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki direnç değeri

$R_{100} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki direnç değeri



Şekil 2.4. Direnç termometre.

Sıcaklık direnç değişimi incelendiğinde biręok metal içerisinde en iyi neticeyi veren platin ve nikel kullanılır [20-22].

2.2.1.4. Isıl çiftler (Thermocouple)

Isıl çiftler kullanılarak $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $2320\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında ölçüm yapılabilir. Çalışma prensibi Seebeck etkisi olarak bilinen termoelektriksel olaya dayanır. Seebeck etkisi farklı malzemelerden yapılmış iki iletken veya yarıiletkenin uçları birleştirilir elde edilen uçlar farklı sıcaklıklara maruz bırakılırsa uçlar arasında bir termik gerilim meydana gelir. Bunun nedeni sıcak kaynaktan soğuk kaynağa akan elektronlardır [20-22].

2.2.1.5. Sıvı kristal termometreler

Sıvı kristali, yapı olarak katı görünüş olarak sıvıdırlar. Hareketleri moleküllerin dizilişine göredir. Sıvı kristalların renkleri kırmızı renkten mor renge kadar değişmektedir. Sıcaklıkla renk değişimi terstir. Sıvı kristal sıcaklığı ölçülecek cisim üzerine sürülerek gözlemlenir [20-22].



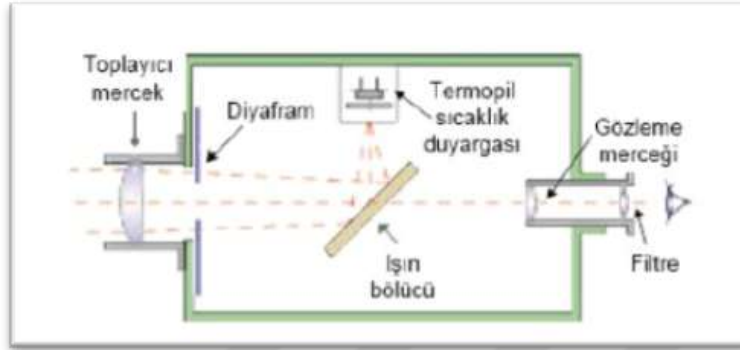
Şekil 2.5. Sıvı kristal termometre.

2.2.2. Temassız Termometreler

2.2.2.1. Optik termometreler (Pirometre)

Cisimlerden yayılan ısıl ışınımın tespitine dayanır. Toplam ışınım pirometresi ve optik pirometre olmak üzere iki çeşittir.

Toplam ışınlam pirometresi, sıcaklığı ölçülecek cisimden yayılan ısı ışınım enerjisinin tamamının, ölçme cihazı içerisindeki sıcaklığı ölçülecek cisimden daha soğuk bir yüzey üzerine düşürülür, cihaz içerisindeki bu yüzeyin sıcaklığının değişimi ölçülür [20-22].



Şekil 2.6. Toplam ışınlam pirometresi.

Optik pirometre, sıcaklığı ölçülecek cisimlerden yayılan ışınımın görünür dalga boyunun değişimi ölçülür. Sıcaklığı ölçülecek cisimlerin yaydığı ışınla, elektrikle ısıtılmış lamba filameninin karşılaştırılması prensibine dayanır [20-22].

2.2.2.2. İnfrared (kızılaltı) termometreler

Temassız sıcaklık ölçerlerdir. Bu tip sıcaklık ölçerler iki kısımdan oluşur. Isıl ışınımı tarayan kamera ve ısı görüntüyü gösteren ekrandır. Bu tip kameralar güvenlik, elektrik problem tespitinde, binalarda sıcaklık analizinde kullanılır [20-22].



Şekil 2.7. İnfrared (kızılaltı) termometre.

Yapılan bu çalışmada, optik, fiber optik yöntemler kullanılarak geleneksel sıcaklık algılayıcılarına alternatif olan ve optik malzemelerin avantajlarını taşıyan bir fiber optik sıcaklık algılayıcı tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir.



3. BÖLÜM

FİBER OPTİK

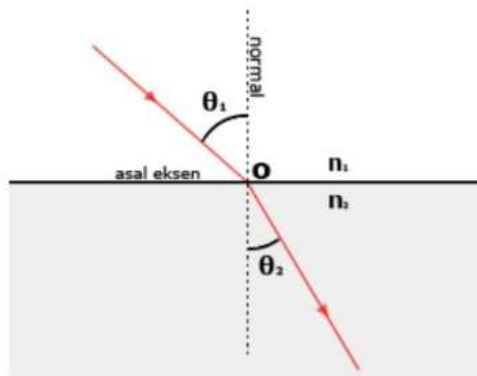
3.1. Kırılma İndisi ve Işığın Kırılması

Kırılma indisi fiziksel bir özellik olup, maddeye özeldir. Işığın kırılması, ışığın farklı ortama geçerken yön değiştirmesidir. Kırılma indisi ışığın boşluktaki hızının madde içerisindeki hızına oranı olarak bilinir.

Ortamın kırılma indisine n , elektromanyetik ışımının vakumdaki hızına c , elektromanyetik ışımının bu ortamdaki hızına v denilirse;

$$n = \frac{c}{v} \quad (3.1)$$

bağıntısı elde edilir [23].



Şekil 3.1. Işığın Kırılması.

Işığın geliş açısına θ_1 , Kırılma açısına θ_2 denilirse

Snell Yasasına göre;

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (3.2)$$

elde edilir. Burada;

v_1 = Birinci ortamdaki ışık hızı

v_2 = İkinci ortamdaki ışık hızı

n_1 = Birinci ortamın kırılma indisi

n_2 = İkinci ortamın kırılma indisi

Bir optik sistemde ışığın kırıldığı noktada asal eksene 90° olan dikmeye normal denir.

Bazı maddelerin kırılma indisleri aşağıdaki tabloda verilmiştir:

Tablo 3.1. Kırılma İndisleri.

Madde	Kırılma İndisi
Boşluk	1.00
Hava	1.0003
Su	1.333
Cam	1.5 – 1,7 arası (Camın kalitesine göre)

Işık ışınları az yoğun ortamdan çok yoğun ortama geçerken normale yaklaşırken, çok yoğun ortamdan az yoğun ortama geçişte ise normalden uzaklaşır.

3.2. Fiber Optik

Fiber optik, camdan veya plastikten imal edilmiş ışık sinyalinin iletilmesi prensibine dayanan kablolardır. 1960'lı yıllarda lazerin bulunmasıyla fiber optik ile iletişim çalışmaları hız kazanmıştır. Fiber optik kablo üç kısımdan oluşmaktadır [24]:

- Çekirdek: Işık ışınının kablo içerisinde ilerlediği kısımdır.
- Koruyucu Zarf: Çekirdeği saran ve çekirdek içerisinde ilerleyen ışık ışınının dışarıya çıkmasını engelleyen kısımdır.
- Kılıf: Fiberi darbe ve gerilmelere karşı koruyan polimer veya plastikten yapılmış kısımdır.

Çekirdeğin kırılma indisi n_1 , koruyucu zarfın kırılma indisi ise n_2 olmak üzere koruyucu zarfın kırılma indisi çekirdeğin kırılma indisinden daha azdır. Bundan dolayı çekirdek içerisinde kılavuzlanan ışık ışını koruyucu zarfa geçemez.

Malzeme yapısına göre temel olarak üç çeşit fiber optik kablo vardır, bunlar:

- Plastik çekirdeğe ve plastik koruyucu zarfa sahip olan fiberler
- Cam çekirdeğe ve plastik koruyucu zarfa sahip olan fiberler (Çoğunlukla PCS fiber olarak bilinmektedir.)
- Cam çekirdeğe ve cam koruyucu zarfa sahip olan fiberler (Çoğunlukla SCS fiber olarak bilinmektedir.)

3.3. Bağlı Kırılma İndis Farkı

Genellikle kırılma indisi yerine tanımlanır. Δ ile gösterilir. Fiberin karakteristiklerindedir [25].

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \cong \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (3.3)$$

3.4. Kabul Açısı

Işığın optik fiber içerisinde ilerleyebilmesi için fiber girişindeki fiber eksenine ile yapılan en büyük açıya denilir ve θ_a ile gösterilir [25].

3.5. Nümerik Açıklık

Işık ışını, kabul açısından daha küçük bir açıyla fibere geldiğinde fiber içerisinde yol alır ve nümerik açıklık büyüdükçe daha fazla ışık ışını fiber içerisinde yol alır [26].

$$(NA) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = n_0 \sin \theta_a \quad (3.4)$$

3.6. Normalize Frekans ve Fiber Türleri

Fiber optik kabloda kılavuzlanan mod sayısını ve kılavuzlanan modların yelekteki ve çekirdekteki güç oranlarını belirleyen parametredir.

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a (\sqrt{n_1^2 - n_2^2}) \quad (3.5)$$

Şeklinde verilir. Burada λ dalga boyu, a fiber çekirdeğinin yarıçapıdır. Tek modlu yayılımında $0 \leq V \leq 2,405$ olmalıdır.

İndis profiline göre fiber türleri:

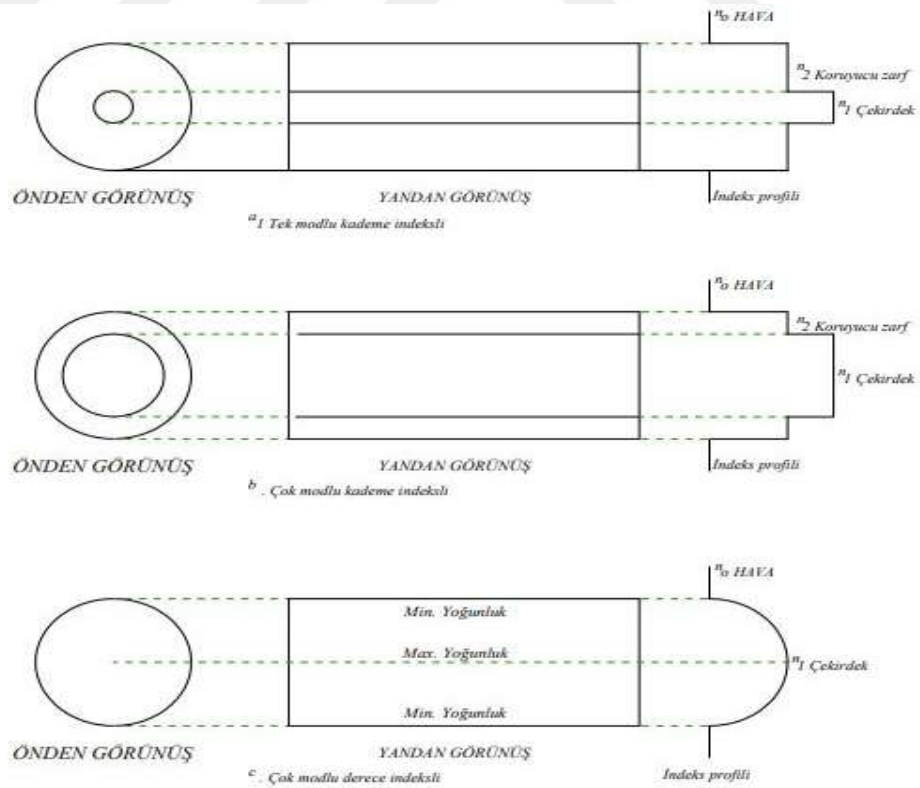
- Basamak indisli fiberler
- Derece indisli fiberler

olmak üzere 2 çeşittir.

Basamak indisli bir fiber, sabit kırılma indisli merkezi bir çekirdeğe sahiptir. Çekirdeğin çevresi, sabit ve merkezi çekirdeğin kırılma indisinden daha düşük bir kırılma indisine sahip, harici bir koruyucu zarfla sarılmıştır. Şekilden, çekirdek/koruyucu zarf sınırında, basamak indisli bir fiberin kırılma indisinde ani bir değişiklik olduğu görülebilir.

Derece indisli fiberde koruyucu zarf yoktur ve çekirdeğin kırılma indisi sabit değildir. Kırılma indisi, merkezde en yüksek değerdedir ve dış kenara doğru yavaşça azalır.

Şekil 3.2 de indis türlerine göre fiberler görülmektedir [24].



Şekil 3.2. İndis Türlerine Göre Fiberler (a. Tek Modlu Basamak İndisli b. Çok Modlu Basamak İndisli c. Çok Modlu Derece İndisli).

Beslediği mod sayısına göre fiberler ikiye ayrılır. Bunlar fiber içinde birden fazla modun yayılmasına izin verecek kadar büyük çekirdek çapına sahip olan çok modlu basamak indisli fiberler ve sadece bir enine EM modun (tipik olarak HE_{11}) yayılmasına izin veren çekirdek çapı yaklaşık olarak 2-10 μm olan tek modlu basamak indisli fiberler olarak adlandırılırlar.

3.7. Fiber Optik Kablolarda Kayıplar

Zayıflama; ışık fiber içerisinde yol alırken meydana gelen güç kaybıdır, dB/km olarak ölçülür. Plastik fiberler için 300 dB/km tek modlu cam fiberler için 0,21 dB/km civarındadır. Zayıflamanın en fazla olduğu bölgeler 730–950 nm ve 1250–1380 nm bölgeleridir. Bu bölgelerde çalışmamak daha avantajlı olur. 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. Başlıca fiber kayıpları şunlardır [27]:

- Soğurma kayıpları
- Malzeme ya da Rayleigh saçınım kayıpları
- Renk ya da dalga boyu dispersiyonu
- Yayılım kayıpları
- Modal dispersiyon
- Bağlaşım kayıpları

3.7.1. Soğurma Kayıpları

Fiber optik kablolardaki soğurma (yutma) kaybı, bakır kablodaki güç kaybına benzer. Fiberin saf olmaması sebebiyle fiber içerisinde bulunan maddeler, ışığı soğurur ve ısıya dönüştürür. Fiber optik kabloları imal etmede kullanılan aşırı saf cam, yaklaşık olarak % 99.999 saflığa sahiptir. Temel olarak, fiber optiklerdeki soğurma kayıplarına yol açan üç faktör vardır: morötesi soğurma, kızılaltı soğurma ve iyon rezonans soğurması.

Morötesi soğurma: Morötesi soğurmaya, fiberlerin imal edildiği silika malzemesindeki valans elektronları neden olur. Işık, valans elektronlarını iyonize ederek iletkenlik

yaratır. İyonizasyon, toplam ışık alanındaki bir kayba eşdeğerdir ve bu nedenle fiberin iletim kayıplarından birini oluşturur.

Kızılaltı soğurma: Kızılaltı soğurmaya, cam çekirdek moleküllerinin atomları tarafından soğurulan ışık fotonları neden olur. Soğurulan fotonlar, ısınmaya özgü rastgele mekanik titreşimlere dönüştürülür.

İyon rezonans soğurması: İyon rezonans soğurmasının nedeni, malzeme içindeki OH- iyonlarıdır. OH- iyonlarının kaynağı ise, imalat boyunca camın içerisinde sıkışıp kalan su molekülleridir. İyon soğurmasına krom, bakır ve demir molekülleri de neden olabilir.

3.7.2. Malzeme ya da Rayleigh Saçınım Kaybı

İmalat sürecinde, cam gerdirilerek çok küçük çaplı uzun fiberler şekline getirilir. Bu süreç boyunca, cam plastik haldedir (sıvı ya da katı halde değildir). Uygulama esnasında cama uygulanan germe kuvveti, soğuyan camda mikroskopla bile görülemeyecek kadar küçük kalıcı düzensizliklerin oluşmasına sebep olur. Işık ışınları, fiberde yayılırken bu oluşan düzensizliklerden birine çarparsa kırınım oluşur. Bu kırınım, ışığın birçok yöne dağılmasına ya da saçılmasına neden olur. Kırınıma uğrayan ışığın bir kısmı fiberde yoluna devam ederken, bir kısmı da koruyucu zarf üzerinden dışarı kaçar. Kaçan ışık ışınları, ışık gücünde bir kayba sebep olur. Bu kayba Rayleigh saçınım kaybı denir.

3.7.3. Renk ya da Dalga Boyu Dispersiyonu

Bir ortamın kırılma indisi, dalga boyuyla ilişkilidir. LED'ler (ışık yayan diyotlar) çeşitli dalga boylarını ihtiva eden ışık yayarlar. Bileşik ışık sinyalindeki, dalga boyları farklı hızda ilerlerler. Bu yüzden, bir LED'den aynı zamanda yayılan ve fiber optik kabloda yayılım yapan ışık ışınları, fiberin en uç noktasına aynı zamanda ulaşmazlar. Bunun sonucu olarak, algılama sinyalinde bozulmalar meydana gelir; bu bozulmaya kromatik bozulma denir.

3.7.4. Yayınım Kayıpları

Yayınım kayıplarına, fiber optikteki küçük bükümler ve burulmalar sebep olur. Temel olarak, iki çeşit büküm vardır: Sabit yarıçaplı büküm ve mikro bükümdür. Sabit yarıçaplı bükümler, fiberin imalatı ya da montajı sırasındaki bükülmeler sonucu

meydana gelir. Mikro büküm ise, koruyucu yelek malzemesi ile çekirdek malzemesinin ısıl büzülme oranları arasındaki farktan kaynaklanır. Mikro büküm, fiber optikte Rayleigh saçınımının ortaya çıkacağı bir süreksizlik oluşturur.

3.7.5. Modal Dispersiyon

Modal yayılmanın ya da darbe yayılmasının nedeni, bir fiber optikte farklı yollarda ilerleyen ışık ışınlarının yayılım süreleri arasındaki farka denilmektedir. Modal yayılma yalnızca çok modlu fiberlerde meydana gelir. Dereceli indisli fiber optikler kullanılması yoluyla darbe yayılma önemli ölçüde azaltılabilir; tek modlu basamak indisli fiber optikler kullanıldığında ise hemen hemen bütünüyle yok edilebilirler.

3.7.6. Bağlaşım Kayıpları

Fiber optik kablolarında, şu üç optik bağlantı türünden herhangi birinde bağlaşım kayıpları meydana gelebilir:

- Işık kaynağı-fiber bağlantıları
- Fiber-fiber bağlantıları
- Fiber-fotodedektör bağlantıları

3.7.7. Fiber Optik Algılayıcılar ve Algılayıcıların Sınıflandırılması

Fiber optik kablolar haberleşme iletiminde 1960'lı yıllardan bu yana kullanılmaktadır. Fiber optikler küçük boyutlu olması, elektriksel ortamlardan etkilenmemesi, yüksek iletim hızı, elektromanyetik girişimden etkilenmeme, düşük kayıp, yüksek bant genişliği gibi özelliklere sahiptir. Fiber optik algılayıcıların temeli, fiber içerisinde kılavuzlanan ışık ışınındaki değişimin gözlenmesine dayanmaktadır. Fiber optik algılayıcılar; basınç ve sıcaklık ölçümünde, pH ölçümü ve gaz analizlerinde ve biyomedikal alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır [27].

Fiber optik algılayıcılar, içte etkileşimli (intrinsic) ve dışta etkileşimli (extrinsic) olmak üzere (modülasyon bölgesine göre) ikiye ayrılmaktadır. Dışta etkileşimli algılayıcılara pasif, içte etkileşimli algılayıcılara ise aktif algılayıcılar da denilmektedir.

Pasif algılayıcılarda algılama, fiberin dışındaki bir bölgede algılanacak niceliğin ışık ışını üzerinde yapacağı modülasyon ölçülmesiyle yapılmaktadır. Bu tip algılayıcılarda algılama fiberin dışında olduğundan fiber optik kablonun asıl görevi, ışığı verimli bir şekilde algılayıcıya ulaştırmaktır.

Aktif algılayıcılarda algılama, çevresel etkiyle ışığın modülasyonunu fiber içerisinde ölçmektedir. Bu tür algılayıcılarda, ölçüm yapmak için fiber çekirdek bölgesinin yapıldığı camın kimyasından faydalanılır. Burada kullanılan temel olaylar, yansıma katsayısındaki değişim, saçılma, soğurmadır. Aktif algılayıcılarda ışığın modülasyonu tamamen fiber optik içerisinde olduğundan, bu algılayıcılara tamamen fiber optik algılayıcılar denilmektedir [28,29].

Yapılan bu çalışmada fiberin soğurma kayıplarından faydalanılarak, fiber içerisinde kılavuzlanan ışık ışınının termokromik malzemedeki soğurum oranına göre algılayıcıdan algılanan ışık miktarındaki değişim incelenmiştir.

4. BÖLÜM

MATERYAL, YÖNTEM VE ALGILAMA

4.1. Algılama Sisteminin Tanımı

Bu bölümde plastik optik fiber (POF) kullanılarak, sıcaklık değişimine duyarlı bir fiber optik algılayıcı tasarımının ayrıntıları verilmiştir. Ortamın sıcaklığı değiştiğinde algılayıcı cevabının değişmesi yorumlanabilirliğini sağlamıştır. Tasarlanan algılayıcının, farklı sıcaklık aralığında ölçümler için kullanılabileceği gösterilmiştir.

4.2. Fiber Optik Algılayıcıyı Oluşturan Parçalar

Fiber algılayıcılar, bir verici, bir alıcı ve fiber optik kablodan oluşmaktadır [32].

4.2.1. Optik Vericiler

Işık kaynağı, elektriksel enerjiyi ışık enerjisine dönüştürür. Dönüşen bu enerji optik fibere ışık enerjisi sağlar. Fiber optik uygulamalarında LED (Light Emitting Diode) ve lazer diyot (Laser Diode) yaygın olarak kullanılır. LED'ler lazer diyotlara göre daha uzun ömürlü ve daha ekonomiktir [30].

Yapılmış olan çalışmada ışık kaynağı olarak Şekil 4.1 de gösterilen RGB LED kullanılmıştır. Her renk için 255 değeri Arduino'da ilgili terminale maksimum voltaj (5V) vererek ayarlanmıştır. Örneğin LED'in saf yeşil ışık vermesi için 0-255-0 değerleri Arduino'ya tanımlanması gerekmektedir.



Şekil 4.1. RGB LED.

4.2.2. Optik Alıcılar

Optik alıcılar almış olduğu optik sinyali elektriksel sinyale dönüştüren elemanlardır. Yapmış olduğumuz çalışmada Şekil 4.2 de gösterilen fototransistör kullanılmıştır [31]. Fototransistör RGB LED ten çıkan ışık ışınını algılayıp kararlı hale gelmesi için 5 adet ardışık okuma gerçekleştirir.



Şekil 4.2. Fototransistör.

Yapılan çalışmanın geliştirme aşamasında alıcı olarak fotodiyot da denemiş olup, devrenin son halinde fototransistör kullanılmıştır. RGB LED'den gönderilen kırmızı, yeşil ve mavi ışık ışınları fototransistörün emiterde oluşturduğu voltaj değeri ölçülerek yorumlanmıştır.

4.2.3. Plastik Optik Fiber

Seramik ve metal fiberlerin yerini maliyeti azaltmak adına polimer veya plastik fiberler almıştır. Bu fiberler uzak mesafe haberleşmeleri için yaygın kullanılsa da ek yapımı sırasındaki zorluklar ve kırılma özellikleri sebebiyle dezavantaja sahiptirler. Plastik fiberler kendi arasında ikiye ayrılırlar:

- Plastik yelekli silika fiberler (Plastic Clad Silica, PCS) ya da Plastik yelekli optik fiberler (PCOF)
- Tamamen plastik fiber (Plastic Optical Fibers, POF)

PCOF fiberler, genellikle camsı silika olan bir cam çekirdeğe ve silikon elastomer olan daha düşük kırılma indisli yeleğe sahiptir [32].

Ticari amaçlı üretilen POF'lar 570 ve 660 nm arasındaki dalga boyları için uygun hale getirilmiştir. Çalışma sıcaklığı 85 °C'nin altındadır.

Yapılan çalışmada 1 mm çapında çekersiz polimer fiber kablo kullanılmıştır. Çalışma sıcaklığı, taşıyabileceği ışık dalga boyu deneyde kullanılan optik verici ve alıcı için de uygundur. Kullanılan fiberin elektriksel ve optik özellikleri Tablo 4.1 de verilmiştir [33]:

Tablo 4.1. Uygulamada kullanılan fiberin elektriksel ve optik özellikleri.

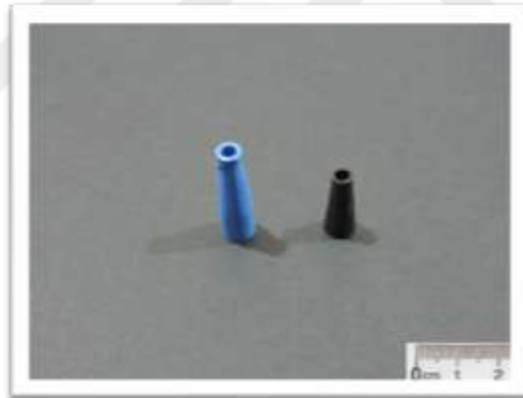
Çap (µm)		Nümerik Açıklık	Kırılma İndisi	Sıcaklık Aralığı
Fiber	Çekirdek			
1000	980	0,5	1,49	-55 °C / +70 °C

Uygulamada kullanılan fiberi sonlandırmak için Şekil 4.3 deki konnektör kullanılmıştır:



Şekil 4.3. Uygulamada kullanılan tekyönlü (simplex) konektör.

Algılama bölgesi için kullanılan fiber ile fototransistör birleşimi ve RGB LED birleşimi için bir adaptör tasarlanmış, daha sonra 3D yazıcıdan çıktı alınmış olup uygulamada sonlandırma aparatı olarak kullanılmıştır (Şekil 4.4.).

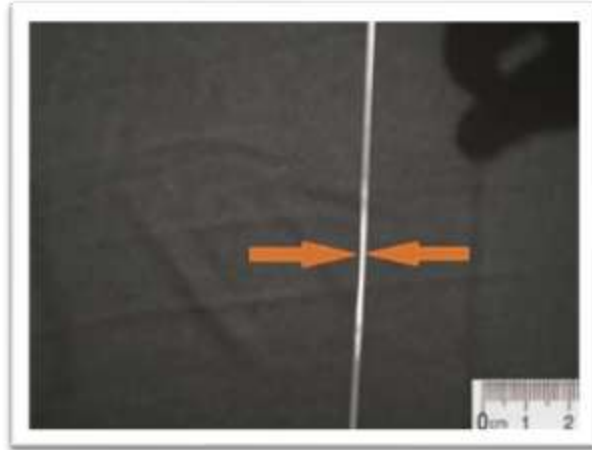


Şekil 4.4. 3D yazıcıdan alınan sonlandırma konektörleri.

4.3. Sıcaklık Algılama Bölgesinin Oluşturulması

4.3.1. Plastik Optik Fiberin İnceltilmesi ve Algılama Uçlarının Hazırlanması

Uygulamada çapı 1 mm olan ceketsiz plastik fiber kablo kullanılmıştır. Kullanılan fiberler fiber yan keski ile 50 cm uzunluğunda kesildiler. Bu işlem sırasında fiber yelek bölgesinin zarar görmemesine dikkat edilmiştir. Öncelikle kesilen fiberlerin algılama için kullanılacağı bölümlerinde 3 cm, 6 cm ve 9 cm uzunluğunda bir bölgede inceltirme çalışması yapılmıştır. İnceltilecek bölge Şekil 4.5. de verilmiştir.

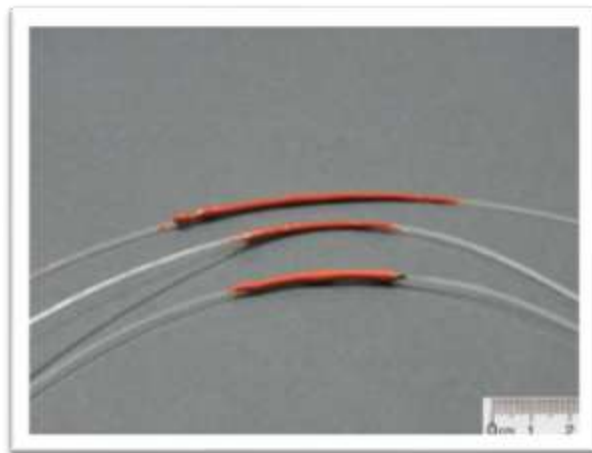


Şekil 4.5. İnceltilen Plastik Fiber.

İnceltme işlemi elektronik kumpas yardımıyla ölçülerek yapılmış olup, 980 μm ye kadar inceltiştir.

Daha sonra inceltilen bölgeye; 0,5 g epoxy sabit kalmak üzere sırasıyla 1,22 g'lık üç farklı termokromik malzeme (Turuncu renk, kırmızı renk, pembe renk) ile karışım oluşturulmuş ve inceltilen bölge kaplanarak algılama uçları hazırlanmıştır. (termokromik malzeme hakkında başlık 4.3.2'de bilgi verilmiştir.)

Termokromik malzeme miktarının algılamaya etkisini incelenmek için; 0,5 g epoxy sabit kalmak üzere sırasıyla 0,53 g lık üç farklı termokromik malzeme ile de karışım oluşturulmuş ve 3 cm lik uzunlukta inceltilen fibere kaplanmıştır.



Şekil 4.6. Hazırlanan Örnek Uç.

Böylelikle 12 adet algılama ucu hazırlanmıştır. Algılama uçlarının özellikleri Tablo 4.2' de verilmiştir.

Tablo 4.2. Uygulamada kullanılan fiberler.

Termokromik malzeme rengi	1,22 g termokromik malzeme ile kaplı uç sayısı			0,53 g termokromik malzeme ile kaplı uç sayısı
	3 cm	6 cm	9 cm	3 cm
Sarı Renk	✓	✓	✓	✓
Kırmızı Renk	✓	✓	✓	✓
Pembe Renk	✓	✓	✓	✓

4.3.2. Termokromik Renk Pigmenti

Termokromizm, soğutulduğunda veya ısıtıldığında bileşiğin renginde meydana gelen renk değişimidir. Termokromizm olgusu sadece görünür bölgede değil, tüm elektromanyetik spektrumda gözlenebilmektedir. Farklı malzemelerin termal davranışları iki bölümde incelenebilir: İlki “Sürekli Termokromizm” sıcaklığın artması ile renkte kademeli bir değişim meydana gelmesidir. İkinci ise “Süreksiz Termokromizm” belli bir sıcaklıkta ya da küçük bir sıcaklık aralığında meydana gelen, renkteki ani bir değişim olarak ifade edilir. Termokromizm, çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Örneğin; termometreler, güvenlik için sıcaklık sensörleri, lazer markalama veya uyarı sinyallerinde kullanılabilir [34].

Renk değişimleri kromik malzemeler sayesinde elde edilmektedir. Kromik materyallerin dış etkenlerin uyarıcı etkisiyle sonucu renk değiştirme, rengini kaybetme ve renk yayma özellikleri vardır. Bu kromik maddeler çeşitli boya, baskı, bitim işlemleri ve kaplama yöntemleriyle tekstil yapılarına aktarılabilirler. Farklı renk değiştirme mekanizmaları olmakla birlikte, renk değişimi çoğunlukla dış uyaran etkisi ile materyalin elektron yoğunluğu ya da moleküler yapısındaki değişim sonucunda gerçekleşir. Uyarıcı dış etken ortadan kalktığı zaman ise materyal daha kararlı olduğu ilk haline ve rengine geri döner [35].

Tablo 4.3. Termokromik Malzemenin Renk Değişimi.

T (°C)	TERMOKROMİK RENK 31 °C ORANGE- YELLOW (HLR-5103)	TERMOKROMİK RENK 31 °C RED-GREEN (HLR-4161)	TERMOKROMİK RENK 31 °C RED (HLR-410)
20			
25			
30			
35			

Yapılan çalışmada termokromik malzemenin renk değiştirme özelliği kullanılarak farklı sıcaklık aralığında, ışık ışınının soğrulma ve saçılma miktarının değişmesi sonucu elde edilen çıkış voltajındaki değişim ölçülerek analiz edilmiştir.

4.3.3. Fiberlerin Sonlandırılması

Hazırlanan 12 adet fiber optik, verici-alıcı uyumlandırması için simplex konnektörden faydalanılarak sonlandırma işlemi yapılmıştır. Bu konnektöre 1 mm çekirdek çapına ve 2,2 mm dış çapa sahip ceketli fiber uyduğundan, uygulamada kullanılan fiber uygun hale getirilmesi için birkaç aşamadan geçirilmiştir. Öncelikle ceketli fiberin ceket kısımları fiber optik sıyrıcı ile 1,5 cm boyunda sıyrılmıştır. Sıyrılan ceket uygulamada kullanılacak 1 mm çapındaki fiberin konnektöre uygun hale getirmek için fibere giydirilmiştir. Bu işlemden sonra 1 mm çapındaki fiberler konnektörlerde sonlandırılmıştır (Şekil 4.7.) .



Şekil 4.7. Fiber Uçların Konnektörde Sonlandırılması.

4.3.4. Fiberlerin Kuplaj Kayıplarını Azaltmak İçin Parlatılması

Konektörlere yerleştirilmiş olan optik fiberler, parlatma kiti içerisinde yer alan konektör sabitleme aparatına (polishing fixture) yerleştirildi. Kitin 600 numaralı zımpara kağıdı ile (600 grit abrasive paper), konektör sabitleme aparatına yerleştirilen fiber uçları sekiz şekli çizdirilerek zımparalandı. Zımparalama işlemine konektör sabitleme aparatının alt yüzeyi ile fiber uçları aynı seviyeye gelene kadar devam edildi (Şekil 4.8.). Ardından zımparalama işleminde olduğu gibi parlatma işlemi de aynı şekilde gerçekleştirildi (Şekil 4.9.).



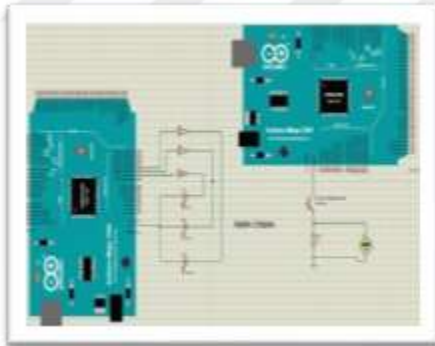
Şekil 4.8. Fiber Uçların Zımparalanması.



Şekil 4.9. Fiber uçların Parlatılması.

4.4. Algılama Sisteminin Tasarlanması

Tasarlanan algılama sistemi devresi Şekil 4.10.'da verilmiştir. RGB LED'den çıkan ışık ışını, fiber optik kablo ile bağdaştırılır. Fiber içerisinde ilerleyen ışık ışını, algılama bölgesi için inceltilecek termokromik malzeme ile kaplı bölümden geçerken, malzemedeki renk değişimine bağlı olarak şiddet değişimine uğrar. Şiddet değişimine uğrayan ışık ışını, fiber optik kablonun diğer ucunda yer alan fototransistör sayesinde elektriksel sinyale dönüşmektedir. Elektriksel sinyale dönüşmüş olan ışık ışını Arduino yardımıyla ölçülerek sıcaklık belirlenmiş olur.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.10. (a) Tasarlanan algılama sisteminin proteus çizimi. (b) Tasarlanan algılama sisteminin baskı devresi. (c) Tasarlanan algılama sisteminin kutulama sonrası.

4.5. Algılamada Kullanılacak Fiberin Seçimi

Hazırlanan 12 adet algılama ucu içerisinde en uygun ucun belirlenmesi işlemi bu bölümde anlatılacaktır. Sonuçlar bu uçlardan alınan ölçümlere göre yorumlanmıştır. Fiberde inceltilen bölgenin uzunluğu arttıkça kılavuzlanan ışık daha fazla saçılma kaybına uğradığından değişen ortam sıcaklığına daha az tepki vermektedir. Bunu tespit etmek için hazırlanan her bir uç için Erciyes Üniversitesi Klinik Mühendisliği Araştırma ve Uygulama Merkezi, Kalibrasyon Laboratuvarında -10 °C ile 60 °C arasında ölçümler alınarak, algılama için en uygun olan uç belirlenmiş olup, sonuçlar bu uçlardan alınan ölçümlere göre değerlendirilmiştir. Alınan sonuçlara göre Tablo 4.4., Tablo 4.5., ve Tablo 4.6. 'deki değerler elde edilmiştir. Ayrıca termokromik malzemenin miktarındaki değişikliğin sonuca etkisinin incelenmesi adına oluşturulan uçlardan alınan sonuçlarda Tablo 4.7., Tablo 4.8. ve Tablo 4.9. da verilmiştir.

Tablo 4.4. Sarı Termokromik Malzeme Kaplı Algılama Ucuna Ait Çıkış Voltajları.

T (°C)	1,22 G. SARI RENK TC								
	V _R (mV)			V _G (mV)			V _B (mV)		
	3 cm	6 cm	9 cm	3 cm	6 cm	9 cm	3 cm	6 cm	9 cm
-10	12	1,7	0	26,6	2,8	0	38	4,9	0,1
0	5,8	4	0	17,9	16,8	0	42,2	17,7	0,1
5	3,7	1,8	0	14,7	7,9	0	33,8	11,7	0,1
10	4,5	2,2	0	19,5	7,4	0	49	14,3	0,1
15	9	8	0,1	34	14,1	0,2	59	16,6	0,2
20	7	1	0,1	42	2,2	0,1	37	6,8	0,1
25	17,7	0,9	0,1	42,9	1,7	0,1	59,3	4,4	0,2
30	3,6	6	0,1	37,7	4,9	0,1	24,9	38,4	0,1
35	6,3	1,3	0,1	24,5	3,7	0,1	47,8	5,7	0,2
40	4,8	1,4	0,1	25	4,5	0,1	47,9	9,9	0,1
45	22	0,4	0,1	42	0,7	0,1	65	0,9	0,2
50	16,1	3,1	0,1	26,2	8,1	0,1	75	13,6	0,2
55	18	4,1	0,1	38	8,4	0,1	86	16,4	0,2
60	30,7	2,6	0,1	60,2	9,5	0,1	115	23,1	0,2

1,22 g. sarı renk termokromik malzeme ile hazırlanan fiberlerin $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında, $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ lik aralıklarla fototransistörün emiter çıkışından elde edilen voltaj değerleridir. Tablo 4.4' ten de görüldüğü üzere 9 cm uzunluğuna sahip algılama ucundan çıkış voltajı alınamamıştır.

Tablo 4.5. Pembe Termokromik Malzeme Kaplı Algılama Ucuna Ait Çıkış Voltajları.

T ($^{\circ}\text{C}$)	1,22 G. PEMBE RENK TC								
	V_R (mV)			V_G (mV)			V_B (mV)		
	3 cm	6 cm	9 cm	3 cm	6 cm	9 cm	3 cm	6 cm	9 cm
-10	6	3,3	4,4	11	5,9	6	25	13,4	17,9
0	8,4	3,9	2,5	41,3	10,2	6,5	61,6	19	10,8
5	8	6,7	5,1	19,2	13,5	8	23	19,8	20
10	3,8	0,9	2,3	14,8	4,6	13,8	21	7,5	17
15	19,4	9,1	4,1	40,4	17,1	11,1	37,8	23,5	16,3
20	2,8	2,3	5,7	19	9,6	9	17,6	14,3	43
25	7,9	5,8	6,8	14	8,5	16	29	26,6	22
30	6	2,6	2,9	36	11,1	13	26	19,8	18,3
35	5,2	0,8	4,5	29	1,2	12,8	31	3,8	18,3
40	1,8	0,2	1,8	10,7	0,5	11,4	17,7	1,6	17,4
45	2,7	12,8	2,3	12	25,9	5	23	51,8	10,8
50	4,5	3,5	1,3	10,6	11,7	7,1	26	26,4	8,6
55	2,5	5,7	2,4	15,3	26,4	26,1	21,7	26,3	22,7
60	2,3	19,3	4,7	12,2	28,3	25	20	52	19,8

1,22 g. pembe renk termokromik malzeme ile hazırlanan fiberlerin $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında, $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ lik aralıklarla fototransistörün emiter çıkışından elde edilen voltaj değerleridir.

Tablo 4.6. Kırmızı Termokromik Malzeme Kaplı Algılama Ucuna Ait Çıkış Voltajları.

T (°C)	1,22 G. KIRMIZI RENK TC								
	V _R (mV)			V _G (mV)			V _B (mV)		
	3 cm	6 cm	9 cm	3 cm	6 cm	9 cm	3 cm	6 cm	9 cm
-10	2,8	2,7	0,3	6	5,8	0,4	7,8	7	1,1
0	1,8	0,8	-	5	1,6	-	6,5	3,5	-
5	1,8	0,8	-	6	1,7	-	17,1	5,7	-
10	0,5	1	-	2,1	2,1	-	2,3	6,8	-
15	1,2	1,7	-	2,5	6,2	-	4	7,8	-
20	1,1	0,7	-	3,5	1,5	-	8,7	2,7	-
25	1,9	0,9	-	5,7	1,8	-	9,8	3	-
30	2	0,6	-	6	1,6	-	19,2	2	-
35	1,7	0,9	-	4	1,1	-	6,5	3,9	-
40	1	0,7	-	4,1	3,5	-	9,8	4,1	-
45	0,5	1	-	0,8	3	-	1,8	4	-
50	1,5	0,8	-	4,6	1,4	-	6,1	3,3	-
55	1,4	0,2	-	2,6	0,3	-	2,8	0,8	-
60	1,6	0,3	-	3	0,4	-	2,9	0,9	-

1,22 g. kırmızı renk termokromik malzeme ile hazırlanan fiberlerin -10 °C ile 60 °C arasında, 5 °C lik aralıklarla fototransistörün emiter çıkışından elde edilen voltaj değerleridir. Tablo 4.6' ten de görüldüğü üzere 9 cm uzunluğuna sahip algılama ucundan çıkış voltajı alınamamıştır.

Tablo 4.7. Sarı Termokromik Malzeme Kaplı 3 cm. Uzunluğunda Algılama Ucuna Ait Çıkış Voltajları.

T (°C)	0,53 G. SARI RENK TC		
	V _R (mV)	V _G (mV)	V _B (mV)
-10	25,3	43,2	87
0	8,3	35,4	46,2
5	6,1	53,2	66,5
10	3,8	17	40
15	15,5	106,2	87,8
20	8,5	65	60
25	5	19,8	31,3
30	7	44	34
35	15	44	82
40	9,8	45,5	68,9
45	20	42	51
50	39	76	180
55	17,5	60	123
60	12	48,7	102

0,53 g. sarı renk termokromik malzeme ile hazırlanan fiberlerin -10 °C ile 60 °C arasında, 5 °C lik aralıklarla fototransistörün emiter çıkışından elde edilen voltaj değerleridir. 1,22 g. termokromik malzeme ile hazırlanan algılama uçlarında en iyi sonuç 3 cm ile elde edildiğinden 6 cm ve 9 cm lik algılama uçları ile ölçüm alınmamıştır.

Tablo 4.8. Pembe Termokromik Malzeme Kaplı 3 cm. Uzunluğunda Algılama Ucuna Ait Çıkış Voltajları.

T (°C)	0,53 G. PEMBE RENK TC		
	V _R (mV)	V _G (mV)	V _B (mV)
-10	0,5	1	2
0	23,9	142	156
5	16	61	102
10	9,4	66	136
15	30,7	89	197
20	29,4	73,9	192
25	96	162	221
30	9,9	67	86
35	19,3	28,2	52,4
40	24,8	101	250
45	40	100	125
50	44	110	180
55	30	63	128
60	8,6	23,5	20,3

0,53 g. pembe renk termokromik malzeme ile hazırlanan fiberlerin -10 °C ile 60 °C arasında, 5 °C lik aralıklarla fototransistörün emiter çıkışından elde edilen voltaj değerleridir.

Tablo 4.9. Kırmızı Termokromik Malzeme Kaplı 3 cm. Uzunluğunda Algılama Ucuna Ait Çıkış Voltajları.

T (°C)	0,53 G. KIRMIZI RENK TC		
	V _R (mV)	V _G (mV)	V _B (mV)
-10	21,2	39,6	41,9
0	3	14,1	27,8
5	4	14,9	20,1
10	4,3	30,5	44,4
15	5,3	33,9	39,1
20	2,8	21,8	19
25	4,7	15,7	36,4
30	4,1	30,8	25,6
35	35	81,3	98
40	2,4	19,8	15,8
45	15	25	46
50	3,7	18,5	39,5
55	4,2	29,8	30
60	3,5	21	21,7

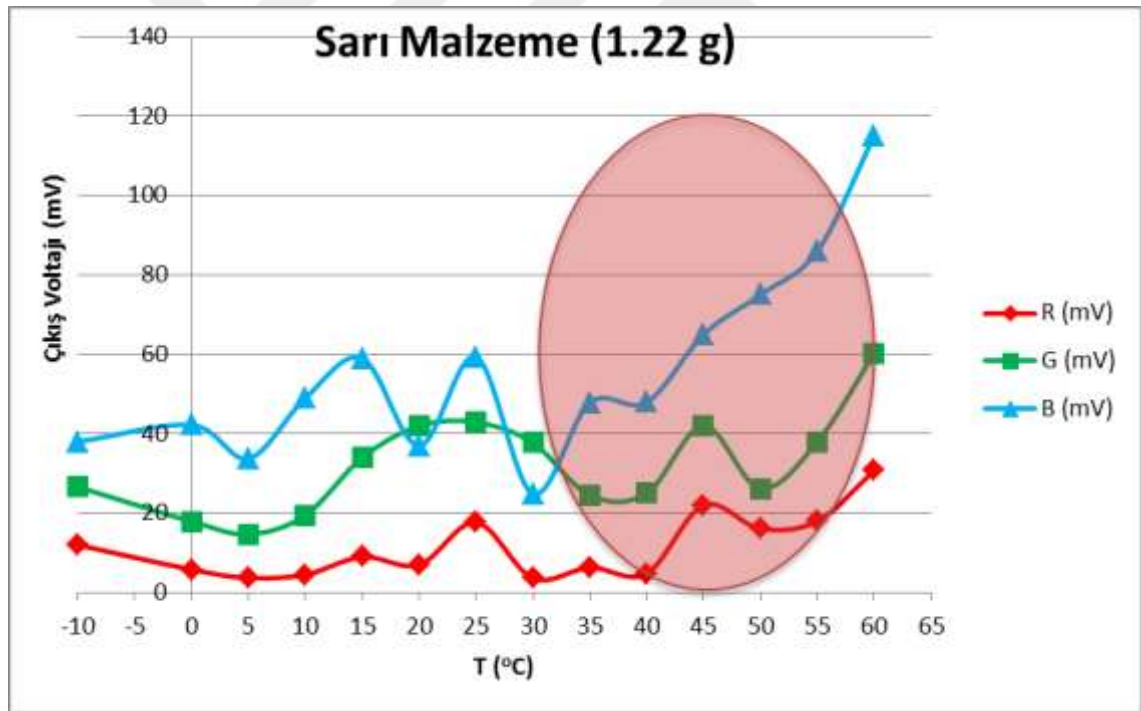
0,53 g. sarı renk termokromik malzeme ile hazırlanan fiberlerin -10 °C ile 60 °C arasında, 5 °C lik aralıklarla fototransistörün emiter çıkışından elde edilen voltaj değerleridir.

Görüldüğü gibi aynı uzunlukta inceltelen fiberde kaplama malzemesi olarak kullanılan termokromik renk pigmentinin rengine ve miktarına göre de algılayıcı cevabı değişmektedir. Hazırlanan uçlardan alınan sonuçlara göre oluşturulan tablolarda da

görüldüğü üzere inceltilmiş bölgeye uygulanan termokromik – epoxy karışımında termokromik malzeme oranı azaldıkça sonuçlar düzensizleşmektedir.

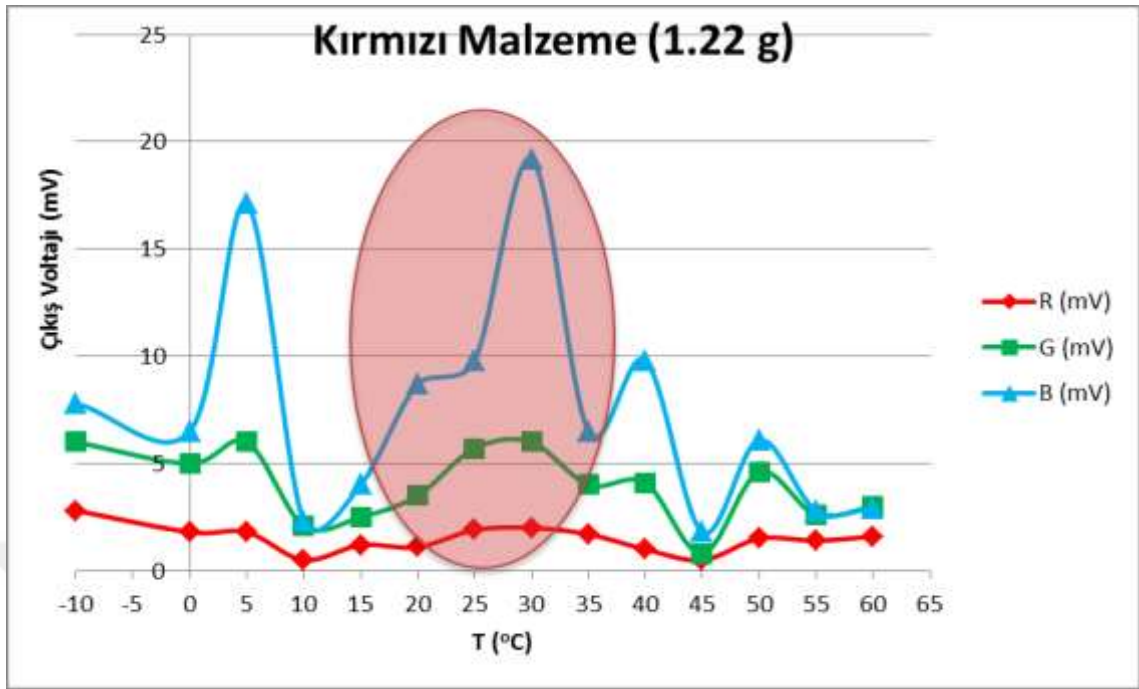
Tablolar incelendiğinde lineerlik bölgesi belirlenen algılama uçları, sıcaklık algılama için en uygun uçlar olduğu görülmüştür. Bunlar;

- 1,22 g. sarı termokromik malzemenin kullanıldığı 3 cm inceltilmiş algılama bölgesine sahip fiber
- 1,22 g. sarı termokromik malzemenin kullanıldığı 6 cm inceltilmiş algılama bölgesine sahip fiber
- 1,22 g. kırmızı termokromik malzemenin kullanıldığı 3 cm inceltilmiş algılama bölgesine sahip fiber



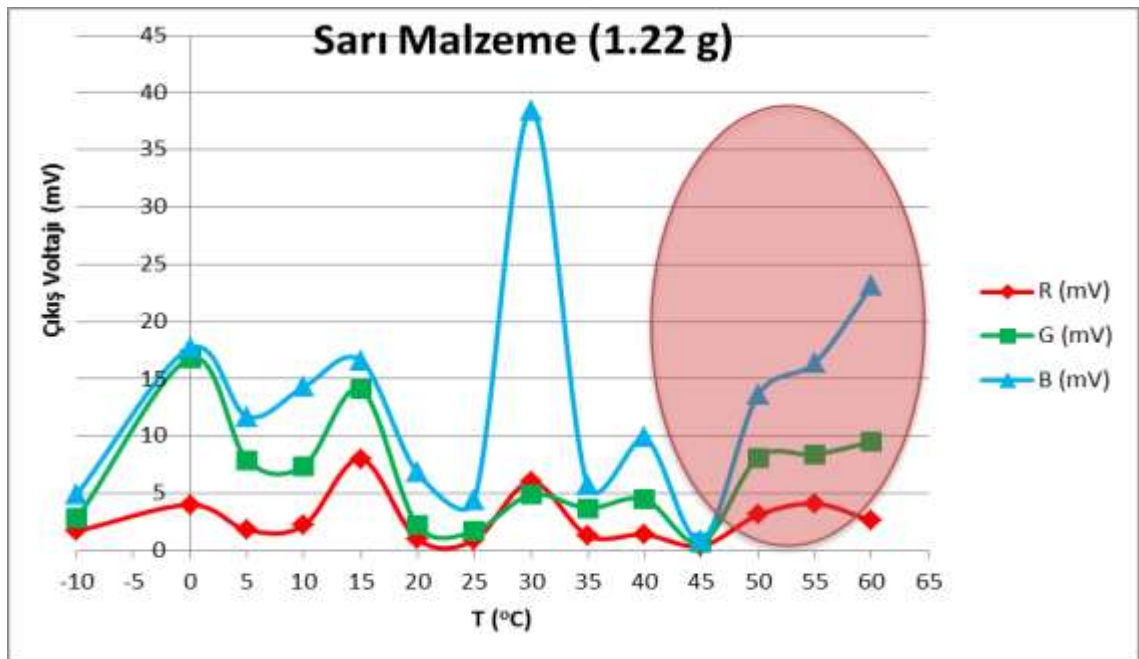
Şekil 4.11. 3 cm inceltilmiş bölge ve 1,22 g. sarı termokromik malzemeyle kaplı ölçüm ucunun lineer olduğu bölge.

1,22 g. sarı renk termokromik malzeme ile hazırlanan 3 cm inceltilmiş bölgeye sahip fiberlerin lineer olduğu bölge olan 35 °C ile 60 °C arası işaretlenerek tekrardan ölçümler alınmıştır.



Şekil 4.12. 3 cm inceltmiş bölge ve 1,22 g. kırmızı termokromik malzemeyle kaplı ölçüm ucunun linear olduğu bölge.

1,22 g. kırmızı renk termokromik malzeme ile hazırlanan 3 cm inceltmiş bölgeye sahip fiberlerin linear olduğu bölge olan 20 °C ile 35 °C arası işaretlenerek tekrardan ölçümler alınmıştır.



Şekil 4.13. 6 cm inceltmiş bölge ve 1,22 g. sarı termokromik malzemeyle kaplı ölçüm ucunun linear olduğu bölge.

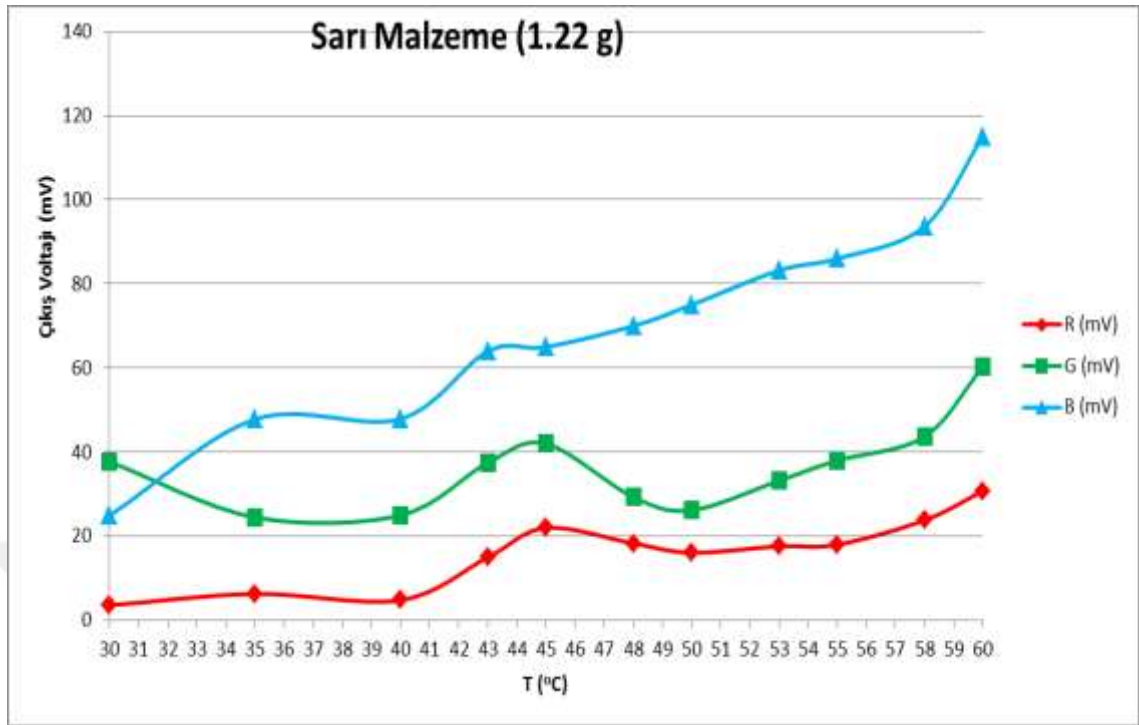
1,22 g. sarı renk termokromik malzeme ile hazırlanan 6 cm inceltilmiş bölgeye sahip fiberlerin lineer olduğu bölge olan 45 °C ile 60 °C arası işaretlenerek tekrardan ölçümler alınmıştır.

Ayrıca Şekil 4.12. ve Şekil 4.13. grafiklerine bakıldığında -10 °C - 0 °C arasında da kısmi ve dar bölge bir doğrusallık göze çarpmaktadır. Çoklu uç tasarımı yapılarak, bu bölgelerin de kullanılmasıyla sıcaklık ölçüm aralığı genişletilebilir.

Lineerliğin görüldüğü bölgeler için detaylı analiz yapmak adına, ölçüm aralıkları daraltılıp tekrardan ölçümler alınarak, Tablo 4.10., Tablo 4.11. ve Tablo 4.12. 'deki veriler elde edilerek kalibrasyon eğrileri tekrardan çizilmiştir.

Tablo 4.10. Sarı Termokromik Malzeme Kaplı 3 cm. Uzunluğunda Algılama Ucuna Ait Lineer Bölgeye Ait Çıkış Voltajları.

T (°C)	1,22 G. SARI RENK TC		
	V _R (mV)	V _G (mV)	V _B (mV)
-10	12	26,6	38
0	5,8	17,9	42,2
5	3,7	14,7	33,8
10	4,5	19,5	49
15	9	34	59
20	7	42	37
25	17,7	42,9	59,3
30	3,6	37,7	24,9
35	6,3	24,5	47,8
40	4,8	25	47,9
43	15	37,5	64
45	22	42	65
48	18,3	29,3	70
50	16,1	26,2	75
53	17,6	33,2	83,2
55	18	38	86
58	23,8	43,7	93,6
60	30,7	60,2	115

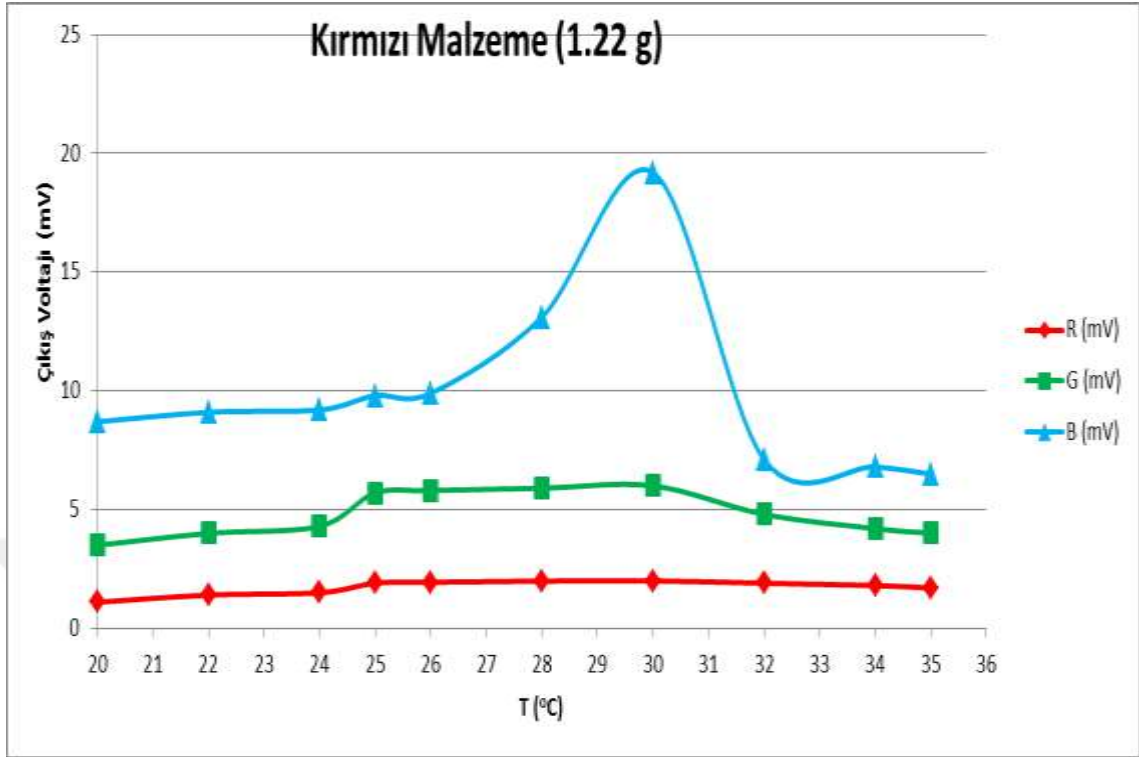


Şekil 4.14. Sarı Termokromik Malzeme Kaplı Algılama Ucuna Ait Lineer Bölgeye Ait Çıkış Voltajları.

1,22 g. sarı renk termokromik malzeme ile hazırlanan 3 cm inceltilmiş bölgeye sahip fiberlerin lineer olduğu bölgede ölçüm aralıkları daraltılarak tekrardan ölçümler yapılarak Tablo 4.10 oluşturulmuştur. Oluşturulan tabloya göre de Şekil 4.14 teki grafik elde edilmiştir.

Tablo 4.11. Kırmızı Termokromik Malzeme Kaplı 3 cm. Uzunluğunda Algılama Ucuna Ait Lineer Bölgeye Ait Çıkış Voltajları.

T (°C)	1,22 G. KIRMIZI RENK TC		
	V _R (mV)	V _G (mV)	V _B (mV)
-10	2,8	6	7,8
0	1,8	5	6,5
5	1,8	6	17,1
10	0,5	2,1	2,3
15	1,2	2,5	4
20	1,1	3,5	8,7
22	1,4	4	9,1
24	1,5	4,3	9,2
25	1,9	5,7	9,8
26	1,94	5,8	9,9
28	1,99	5,9	13,1
30	2	6	19,2
32	1,9	4,8	7,1
34	1,8	4,2	6,8
35	1,7	4	6,5
40	1	4,1	9,8
45	0,5	0,8	1,8
50	1,5	4,6	6,1
55	1,4	2,6	2,8
60	1,6	3	2,9

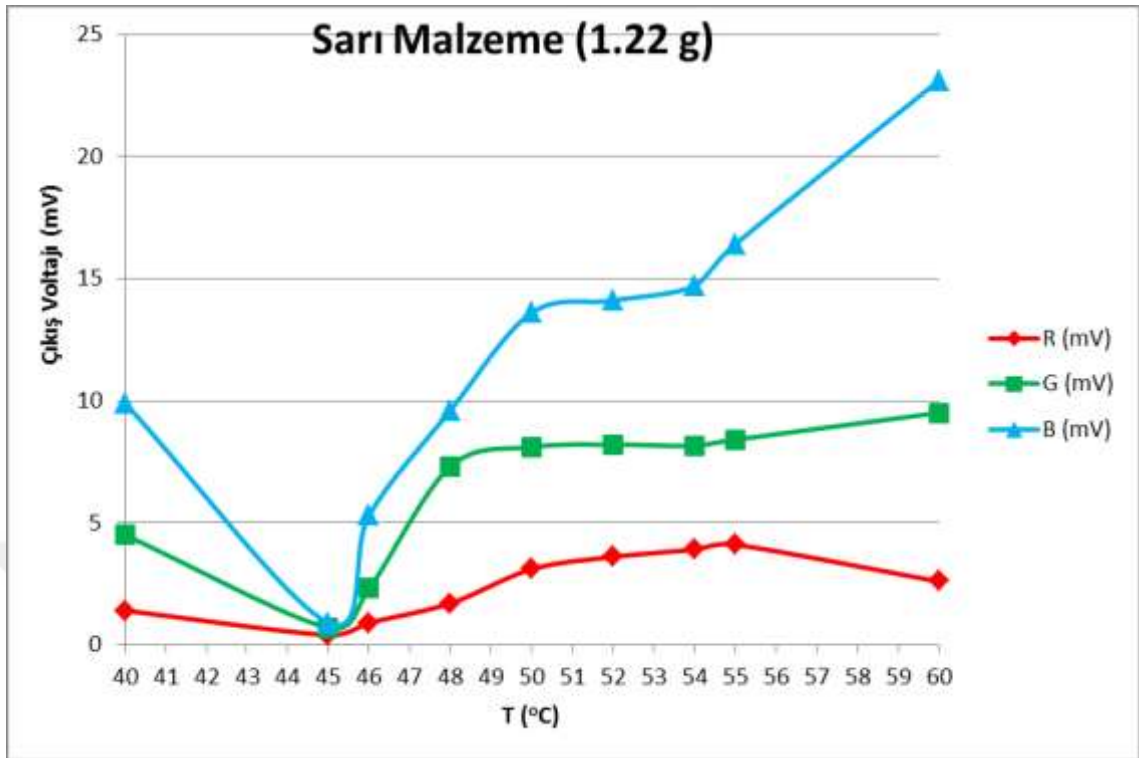


Şekil 4.15. Kırmızı Termokromik Malzeme Kaplı Algılama Ucuna Ait Lineer Bölgeye Ait Çıkış Voltajları.

1,22 g. kırmızı renk termokromik malzeme ile hazırlanan 3 cm inceltilmiş bölgeye sahip fiberlerin lineer olduğu bölgede ölçüm aralıkları daraltılarak tekrardan ölçümler yapılarak Tablo 4.11 oluşturulmuştur. Oluşturulan tabloya göre de Şekil 4.15 teki grafik elde edilmiştir.

Tablo 4.12. Sarı Termokromik Malzeme Kaplı 6 cm. Uzunluğunda Algılama Ucuna Ait Lineer Bölgeye Ait Çıkış Voltajları.

T (°C)	1,22 G. SARI RENK TC		
	V _R (mV)	V _G (mV)	V _B (mV)
-10	1,7	2,8	4,9
0	4	16,8	17,7
5	1,8	7,9	11,7
10	2,2	7,4	14,3
15	8	14,1	16,6
20	1	2,2	6,8
25	0,9	1,7	4,4
30	6	4,9	38,4
35	1,3	3,7	5,7
40	1,4	4,5	9,9
45	0,4	0,7	0,9
46	0,9	2,3	5,3
48	1,7	7,3	9,6
50	3,1	8,1	13,6
52	3,6	8,2	14,1
54	3,9	8,15	14,7
55	4,1	8,4	16,4
60	2,6	9,5	23,1



Şekil 4.16. Sarı Termokromik Malzeme Kaplı Algılama Ucuna Ait Lineer Bölgeye Ait Çıkış Voltajları.

1,22 g. sarı renk termokromik malzeme ile hazırlanan 6 cm inceltmiş bölgeye sahip fiberlerin lineer olduğu bölgede ölçüm aralıkları daraltılarak tekrardan ölçümler yapılarak Tablo 4.12 oluşturulmuştur. Oluşturulan tabloya göre de Şekil 4.16 teki grafik elde edilmiştir.

Yapılan yeni ölçümlerde görüldüğü üzere; sarı termokromik malzeme ile kaplı 3 cm lik inceltmiş bölgeye sahip fiber optik algılama ucu 35 °C ile 60 °C aralığında lineer bir bölgeye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yine kırmızı termokromik malzeme ile kaplı 3 cm lik inceltmiş bölgeye sahip fiber optik algılama ucu ise 20 °C ile 35 °C aralığında lineer bir bölgeye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Son olarak sarı termokromik malzeme ile kaplı 6 cm lik inceltmiş bölgeye sahip fiber optik algılama ucu incelendiğinde 45 °C ile 60 °C aralığında lineer bir bölgeye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

4.6. Çoklu Doğrusal Regresyon

Çoklu doğrusal regresyon modelinde amaç, bağımsız değişkenler (açıklayıcı değişkenler) ile bağımlı değişkendeki (cevap değişkeni) toplam değişimi açıklamaktır [36].

Doğrusal regresyon analizi basit doğrusal regresyon ve çoklu doğrusal regresyon olarak iki başlık altında incelenmektedir. Basit regresyon analizi, yanıt değişkeni ile tek bir açıklayıcı değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi açıklar. Eğer tek bir yanıt değişkeni ve birden fazla açıklayıcı değişken arasındaki doğrusal veya eğrisel bir ilişki tanımlanmak istenirse, ilişki çoklu doğrusal regresyon analizi ile incelenir [37].

Yapılan çalışmada lineerliğin görüldüğü bölge için çoklu doğrusal regresyon uygulanarak sıcaklık denklemleri elde edilir.

Tablo 4.13. 3 cm inceltilmiş bölge ve 1,22 g. sarı termokromik malzemeye kaplı ölçüm ucunda doğrusal regresyon denklemi.

V_R (mV)	V_G (mV)	V_B (mV)	T (°C)	HESAPLANAN SICAKLIK DEĞERİ (°C)	% HATA
6,3	24,5	47,8	35	38,148	8.99
4,8	25	47,9	40	37,78	5.55
15	37,5	64	43	43,355	0.82
22	42	65	45	43,98	2.26
18,3	29,3	70	48	48,552	1.15
16,1	26,2	75	50	51,009	2.01
17,6	33,2	83,2	53	52,988	0.02
18	38	86	55	53,04	3.56
23,8	43,7	93,6	58	55,909	3.60
30,7	60,2	115	60	62,083	3.47
Ortalama Mutlak % Hata					3.14

$$T = 0,19 \cdot V_R - 0,25 \cdot V_G + 0,42 \cdot V_B + 23$$

$$R^2 = 0,94$$

Tablo 4.14. 3 cm inceltirilmiş bölge ve 1,22 g. kırmızı termokromik malzemeyle kaplı ölçüm ucunda doğrusal regresyon denklemi.

V_R (mV)	V_G (mV)	V_B (mV)	T (°C)	HESAPLANAN SICAKLIK DEĞERİ (°C)	% HATA
1,1	3,5	8,7	20	18,578	7.11
1,4	4	9,1	22	24,104	9.56
1,5	4,3	9,2	24	24,662	2.75
1,9	5,7	9,8	25	25,078	0.31
1,94	5,8	9,9	26	25,518	1.85
1,99	5,9	13,1	28	27,659	1.21
2	6	19,2	30	29,728	0.90
1,9	4,8	7,1	32	32,458	1.43
1,8	4,2	6,8	34	34,668	1.96
1,7	4	6,5	35	33,07	5.51
Ortalama Mutlak % Hata					3.25

$$T = 33,7 \cdot V_R - 9,52 \cdot V_G + 0,44 \cdot V_B + 11$$

$$R^2 = 0,95$$

Tablo 4.15. 6 cm inceltirilmiş bölge ve 1,22 g. sarı termokromik malzemeyle kaplı ölçüm ucunda doğrusal regresyon denklemi.

V_R (mV)	V_G (mV)	V_B (mV)	T (°C)	HESAPLANAN SICAKLIK DEĞERİ (°C)	% HATA
0,4	0,7	0,9	45	44,481	1.15
0,9	2,3	5,3	46	47,734	3.76
1,7	7,3	9,6	48	47,826	0.36
3,1	8,1	13,6	50	51,944	3.88
3,6	8,2	14,1	52	52,644	1.23
3,9	8,15	14,7	54	53,4745	0.97
4,1	8,4	16,4	55	55,085	0.15
2,6	9,5	23,1	60	60,019	0.03
Ortalama Mutlak % Hata					1.44

$$T = 0,57 \cdot V_R - 0,95 \cdot V_G + 1,02 \cdot V_B + 43,5$$

$$R^2 = 0,96$$

Elde edilen sıcaklık denklemlerinde de görüldüğü üzere, denklemlerin R^2 değerleri sırasıyla, 0,94; 0,95 ve 0,96'dır. Bu sonuç iyi bir doğrusal ilişki olduğunu gösterir.



5. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada termokromik malzemeyle kaplı fiber optik algılayıcı sunulmuştur.

Çalışmada 12 farklı uç tasarlanmıştır. Tasarlanan uçlar üç farklı termokromik renk pigmentiyle kaplanmıştır.

Uçlarla yapılan ölçümlere göre algılama için inceltelen mesafe uzadıkça alıcıdan algılanan optik sinyal zayıflamakta hatta alınamamaktadır. Aynı uzunlukta inceltelen algılayıcılarda, kaplama için kullanılan termokromik malzemenin miktarına göre de çıkış voltajı değişmektedir. Kullanılan termokromik malzeme miktarı azaldıkça çıkış voltajının düzensizleştiği gözlemlenmiştir. Bunun sebebi termokromik malzemenin sıcaklıkla renginin değişmesi sonucu absorbe olan saçılan ışığın değişmesidir.

Sarı termokromik renk pigmenti ile kaplı 3 cm uzunluğundaki algılama ucu 35 °C ile 60 °C arasında lineer olduğundan bu algılama ucu ile insan vücut sıcaklığı (iç/dış) ölçülebilir olduğu görülmüştür (35 °C ile 60 °C arası).

Kırmızı termokromik renk pigmenti ile kaplı 3 cm uzunluğundaki algılama ucu 20 °C ile 35 °C arasında lineer olduğundan bu algılama ucu ile sistem salonları, konfor amaçlı soğutulan ortamların sıcaklığının ölçülebilir olduğu görülmüştür (20 °C ile 35 °C arası).

Sarı termokromik renk pigmenti ile kaplı 6 cm uzunluğundaki algılama ucu 45 °C ile 60 °C arasında lineer olduğundan bu algılama ucu ile madeni yağ üretimi, antifriz üretimi yapan, yanıcı ortamlarda, buhar odalarında sıcaklığın ölçülebilir olduğu görülmüştür (45 °C ile 60 °C arası).

Sonuç olarak, dar bir bölgede doğrusallığa sahip olsa da termokromik malzemeli fiber optik algılayıcıların uzaktan sıcaklık algılamada kullanılabilceği görülmüştür. Ayrıca çıkışa bağlanacak bir LCD ekran ile dijital termometre olarak da kullanılabilir.



KAYNAKLAR

1. Anderson, G. P., King, K. D., Gaffney, K. L., Johnson, L. H., 2000. Multi-analyte interrogation using the fiber optic biosensor, **Biosensors and Bioelectronics**, **14**(10), 771-777.
2. Engin, D., 2014. Sensörler ve dönüştürücüler. (Web sayfası: <http://tec.ege.edu.tr/dersler/sensorler.pdf>) (Erişim Tarihi: Mart 2019).
3. MEGEP, 2007. Elektronik Enstrümantasyon ve Kontrol. (Web Sayfası: http://personel.klu.edu.tr/dosyalar/kullanici/ahmet.ipekci/dosyalar/dosya_ve_belgeler/en5.pdf), (Erişim Tarihi: Mart 2019).
4. Yücel, M., Gündüz, A. E., Göktaş, H. H., & Öztürk, N. F., 2016, Using single-mode fiber as temperature sensor. *IEEE Signal Processing and Communication Application Conference (SIU)*, 2016 24th (pp. 461-464).
5. Lebid, S., Fitio, W., Bobitski, Y., & Wiecek, T., 1999. Fiber-optic temperature sensor. **Optoelectronic Metrology**, **4018**, 96-99.
6. Coşkun, S., 2009. Sıcaklık ve EKG Takibi için Fiber Optik Izgara Sensör Ağı Tasarımı, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 148 s.
7. Gifford, D. K., Soller, B. J., Wolfe, M. S., & Froggatt, M. E., 2005, September. Distributed fiber-optic temperature sensing using Rayleigh backscatter. *31st European Conference on Optical Communication, ECOC.*, 3, 511-512.
8. Elsarnagawy, T. D., 2008, December. A High Resolution Interferometric Fiber-Optic Temperature Sensor "FOTS". *International Biomedical Engineering Conference, 2008. CIBEC 2008. Cairo*, pp. 1-5.

9. Azizan, S., Shahimin, M. M., & Murad, S. A. Z.,2011, December. Simulation of distributed fibre optic sensor for temperature and stress sensing. **IEEE Colloquium on Humanities, Science and Engineering (CHUSER)**, 449-453.
10. Xia, T., Guo, J., Li, X., & Mao, X.,2012, December. A modified demodulation algorithm for fiber-optic distributed temperature sensing system based on raman scattering. **IEEE Photonics Global Conference (PGC)**, 1-3.
11. Wang, W., Yin, X., Wu, J., Yu, Y., Geng, Y., Tan, X., ... & Li, X. 2016. Quantum dots-based multiplexed fiber-optic temperature sensors. **IEEE Sensors Journal**, **16**(8), 2437-2441.
12. Günday, A., Yılmaz, G., & Karlık, S. E. 2007. Optik fiberli dağınık algılama yöntemiyle enerji kablosunda sıcaklık ve gerginliğin algılanması. **Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering**, **12**(2).
13. Rice, T., Poland, S., Childers, B., Palmer, M., Elster, J., Fielder, B., ... & Gunther, M.,2003, September. Fiber Optic Temperature Sensors—A New Temperature Measurement Toolbox. **AIP Conference Proceedings**, **684**,(1), 1015-1020.
14. Li, E., Wang, X., & Zhang, C., 2006. Fiber-optic temperature sensor based on interference of selective higher-order modes. **Applied Physics Letters**, **89**(9), 091119.
15. MEGEP. 2012, Elektrik-elektronik teknolojisi sensörler ve transdüserler. (Web sayfası: http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sensörler%20Ve%20Transduserler.pdf) (Erişim Tarihi: Mart 2019).
16. WTEC, H.-L., 1996, Optical Sensor Technologies. (Web sayfası: http://www.wtec.org/loyola/opto/c6_s3.htm) (Erişim Tarihi: Şubat 2019).
17. Civan, L., Kurama, S., Ayas, E., Nisan 2018, "Termokromik Malzemelerin Kaplama Malzemesi Olarak Karakterizasyonu". **Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi** **6**(3) : 582-592.
18. Coşkun, E. 2007. Akıllı Tekstiller Ve Genel Özellikleri. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 104 s.
19. Çamdalı, Ü., Tunçel, E., 2008. Sıcaklık ölçümünün termodinamik temelleri ve teknolojik gelişimi. *VII. Ulusal Ölçüm Bilim Kongresi*, pp. 261-270.

20. Yüce, A., 2011. Labview ile Endüstriyel Sıcaklık Ölçme ve Kontrol Sistemi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, İstanbul, 73 s.
21. Bulut, H., 2015. Sıcaklık ölçümü. (Web sayfası: <http://eng.harran.edu.tr/~hbulut/6Sicaklik.pdf>) (Erişim tarihi: Mart 2019).
22. MEGEP,2007. Endüstriyel otomasyon teknolojileri, Sıcaklık ölçümü. (Web Sayfası: http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/S%C4%B1cakl%C4%B1k%20%C3%96l%C3%A7m%C3%BCm%C3%BC.pdf), (Erişim Tarihi: Mart 2019).
23. MEGEP, 2011. Gıdalarda enstrümental analizler 1. (Web Sayfası: http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/G%C4%B1dalarda%20Enstr%C3%BCmantal%20Analizler%201.pdf), (Erişim Tarihi: Mart 2019).
24. Fiber optik haberleşme, (Web Sayfası: w3.balikesir.edu.tr/~myuksek/dersnotu/fiber.pdf), (Erişim Tarihi: Mart 2019).
25. Çetin, A., Ocak, H., 2017. Optik fiber dalga kılavuzlarının yapı parametrelerinin incelenmesi, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, **19**: 70-76.
26. Yin, S., Ruffin, P. B., Yu, F. T. S., 2008. Fiber optics sensors. CRC Press, Boca Raton, 494 pp.
27. Hayber, Ş.E., 2011. Kırılma İndisi Değişimi Esaslı Bir Taşınabilir Optik Algılayıcı Tasarımı. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 66 s.
28. Krohn, D., 2015. Fiber optic sensors: Fundamentals and applications. (Web sayfası: https://www.photonics.com/images/Web/Webinars/80/Fiber_Optic_Sensors_Fundamentals_and_Applications.PDF). (Erişim Tarihi: Mart 2019).
29. Türkmen, Ö., 2005. Optik Dalga Kılavuzlarında Propagasyon Özelliklerinin İncelenmesi ve Optik Kuplör ile Optik Sensör Analizi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 94 s.
30. Erdoğan, E., 2018. Görme Engellilerin Renkleri Algılaması İçin Renk-Ses Dönüştürücü Tasarımı. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 55 s.

31. BPW77NA,BPW77NB. Fototransistör. (Web sayfası: <https://pdf.direnc.net/upload/bpw77nb-fototransistor-phototranistor-datasheet.pdf>). (Erişim Tarihi: Mart 2019)
32. Özsoy, S., 2009. Fiber Optik. Birsen Yayınevi, İstanbul,278 s.
33. OMC, Bare Polymer Fibre. (<http://www.farnell.com/datasheets/32325.pdf>). (Erişim tarihi: Mart 2019).
34. Şeren, A., 2013. Termokromik Boyarmaddelerin Deri Üretiminde Kullanım İmkanlarının Geliştirilmesi Üzerine Araştırmalar. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 94 s.
35. İşmal, E. Ö., Yüksel, E., 2016. Tekstil ve moda tasarımına teknolojik bir yaklaşım: Akıllı ve renk değiştiren tekstiller. **Yedi: Sanat Tasarım ve Bilim Dergisi**, **16**, 87-98.
36. Kayaalp, G. T., Güney, M. Ç., & Cebeci, Z., 2015. Çoklu doğrusal regresyon modelinde değişken seçiminin zootekniye uygulanaşı. **Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, **30** (1): 1-8.
37. Arı, A., Önder, H., 2013. Farklı veri yapılarında kullanılacak regresyon yöntemleri. **Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi**, **28** (3): 168-174.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Ramazan KOÇOĞLU
Uyruğu: Türkiye (TC)
Doğum Tarihi ve Yeri: 25 Mayıs 1985, Malatya
Medeni Durumu: Evli
Tel: +90 537 861 63 17
Tel: +90 422 371 42 79
email: rkocoglu@hotmail.com
Yazışma Adresi: Zafer Mah. Mehmet Buyruk Cad. Haşimbey Apt.
Kat: 3 D.NO:13 44300 Battalgazi/MALATYA

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Kırıkkale Üniversitesi, Elektrik- Elektronik Mühendisliği	2008
Lise	20 Mayıs Vakfı Turgut Özal Lisesi, Malatya	2002

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2008- Halen	Türk Telekom A.Ş.	Yönetici

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1. **Koçoğlu R.**, Kocaman A., Saraçoğlu Ö. G., 2019. Termokromik malzemeyle fiber optik tasarımı. *Uluslararası Erciyes Bilimsel Araştırmalar Kongresi*, Kayseri
2. Kocaman A., **Koçoğlu R.**, Saraçoğlu Ö. G., 2019. Farklı geometrilere sahip LED dizilerinin aydınlatma özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi. *Uluslararası Erciyes Bilimsel Araştırmalar Kongresi*, Kayseri

