

YANSIMA TIPLİ FİBER OPTİK
UÇUCU ORGANİK BİLEŞEN
SENSÖRÜ ve SİSTEM TASARIMI

Fırat Ertaç DURAK

Yüksek Lisans Tezi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart– 2012

YANSIMA TIPLİ FİBER OPTİK UÇUCU ORGANİK BİLEŞEN SENSÖRÜ ve SİSTEM
TASARIMI

Fırat Ertaç DURAK

Dumlupınar Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Ahmet ALTUNCU

Mart – 2012

KABUL VE ONAY SAYFASI

Fırat Ertaç DURAK'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı YANSIMA TIPLİ FİBER OPTİK UÇUCU ORGANİK BİLEŞEN SENSÖRÜ ve SİSTEM TASARIMI başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü eğitim öğretim ve sınav yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

07 / 03 / 2012

Üye : Prof. Dr. Ahmet ALTUNCU (Danışman)

Üye : Prof. Dr. Güneş YILMAZ

Üye : Doç. Dr. Mehmet Ali EBEOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun / /2012 gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hasan GÖÇMEZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YANSIMA TIPLİ FİBER OPTİK UÇUCU ORGANİK BİLEŞEN SENSÖRÜ ve SİSTEM TASARIMI

Fırat Ertaç DURAK

Elektrik - Elektronik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2012

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet ALTUNCU

ÖZET

Fiber optik sistemler günümüzde, haberleşme sistemlerinde olduğu kadar sensör teknolojilerinde de önemli bir uygulama alanına sahiptir. Fiber optik sensörler hızlı tepki verme, yüksek duyarlılık, elektriksel izolasyon, uzaktan algılamada düşük sinyal kaybı, küçük ebatlı olma gibi özellikleri sayesinde klasik sensörlere göre gelişen teknolojide ön plana çıkmaktadırlar.

Bu çalışmada, çok modlu fiber optik ST konnektörlerin yüzeyi endüstriyel uygulamalarda kullanılan farklı uçucu organik bileşenlere duyarlı ftalosiyanın ve PVP tabanlı çeşitli malzemeler ile kaplanarak yeni fiber optik sensör yapıları elde edilmiştir. Algılanan gazın cinsi ve miktarına göre sensör yüzeyindeki optik Fresnel yansıması ve diğer interferometrik yansımalarda değişim meydana gelmektedir. Öncelikli olarak geliştirilen dört farklı sensör tipi için, uçucu organik bileşenlere karşı duyarlı olup olmadığı yapılan ön çalışmalar ile test edilmiştir. Elde edilen olumlu sonuçlardan sonra universal bir ölçüm düzeneği geliştirilerek ppm gaz miktarına göre dört farklı sensör tipinin farklı uçucu organik bileşenlere karşı tepkileri ölçülmüştür. Alınan sonuçlar irdelendiğinde değişen uçucu organik bileşen miktarına bağlı olarak, sensörlerin farklı seçicilik ve duyarlılıkta tepkiler verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fiber optik sensör, Fresnel yansıması, uçucu organik bileşen sensörü, gaz sensörü.

REFLECTION TYPE FIBER OPTIC VOLATILE ORGANIC COMPOUND SENSOR and SYSTEM DESIGN

Firat Ertaç DURAK

Electric & Electronic Engineering, M.S.Thesis, 2012

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Ahmet ALTUNCU

SUMMARY

In recent years, fiber optical systems have found important developed so far application field in sensor technology as occurred in communication systems. In the technologies fiber optical sensors have shown an impressive performance in respect of traditional sensors with their advantages such as fast response, high sensitivity, electrical isolation, low signal loss in remote sensing, small size, etc.

In this study, novel fiber optical sensor structures have been developed by covering the surface of multimode fiber optical ST connectors with various materials based on phthalocyanine and PVP which are sensitive to different volatile organic compounds (VOCs). Depending on the type and the amount of VOC sensed, optical Fresnel reflection and other interferometric reflections change on the sensor surface. In the first step, four different types of sensors developed were tested for in terms of sensitivity to the different VOCs. Further having positive results, the response and the sensitivity of four different types of sensors to the VOCs for different amounts were measured using a universal measurement setup. The results obtained have shown that our sensors give significant response to the various VOCs with different sensitivity and selectivity values.

Keywords: fiber optical sensor, Fresnel reflection, volatile organic compound sensor, gas sensing

TEŞEKKÜR

Bu alıőmamda, karőıma ıkan her zorluğu kolaylaőtıran, yardımlarını ve desteğini her daim sürdüren, tez danıőmanlıęını yapan sevgili hocam Prof. Dr. Ahmet ALTUNCU'ya, deney malzemelerinin temininde ve kurumunda yardımlarını esirgemeyen baőtta hocam Doç Dr. Mehmet Ali EBEOğLU olmak üzere TÜBİTAK MAM Sensör Grubuna, bölümümüzün kıymetli hocalarına, manevi desteğini eksiltmeyen mesai arkadaşlarıma ve en önemlisi bugünlere gelmemi sağlayan AİLEME teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	iii
SUMMARY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. FİBER OPTİK SENSÖRLER.....	2
2.1. Fiber Optik Sensörlerin Avantajları.....	2
2.2. Fiber Optik Sensörlerin Sınıflandırılması	3
2.3. İçten ve Dıştan Etkileşimli Fiber Optik Sensörler	4
2.3.1. Dıştan etkileşimli (pasif) fiber optik sensörler	6
2.3.2. İçten etkileşimli (aktif) fiber optik sensörler.....	8
2.4. Modülasyon Temelli Fiber Optik Sensörler	9
2.4.1. Işık şiddeti modülasyonuna dayanan fiber optik sensörler	9
2.4.1.1. Mikro bükülme tabanlı fiber optik sensörler.....	9
2.4.1.2. Yansıma tabanlı fiber optik sensörler	10
2.4.1.3. Sönümlenen dalga kuplörü tabanlı fiber optik sensörler.....	11
2.4.2. Faz Modülasyonuna Dayanan Fiber Optik Sensörler.....	12
2.4.2.1. Mach-Zehnder interferometrik sensörler	12
2.4.2.2. Michelson interferometrik sensörler	13
2.4.2.3. Fabry-Perot interferometrik sensörler	14
2.4.2.4. Sagnac interferometrik sensörler.....	15
2.4.3. Spektral analiz tabanlı fiber optik sensörler.....	16
2.4.4. Polarizasyon modülasyonuna dayanan fiber optik sensörler	17

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devamı)

Sayfa

3. FİBER OPTİK TABANLI GAZ ALGILAMA İÇİN ÖNERİLEN SENSÖRLER.....	18
3.1. Sönümlenen Alan Kullanılarak Yapılan Gaz Sensörü Çalışması	18
3.2. Spektral İletim Analizi Kullanılarak Yapılan Gaz Sensörü Çalışması	20
3.3. Kendiliğinden Monteli Izgara Kullanılarak Yapılan Gaz Sensörü Çalışması	21
3.4. Floresans Tabanlı Gaz Sensörü Çalışması.....	23
3.5. Dalgaboyu Bölmeli Çoğullayıcı (WDM) Tabanlı Gaz Sensörü Çalışması	24
4. FİBER OPTİK YANSIMA TIPLİ UÇUCU ORGANİK BİLEŞEN SENSÖRÜ	27
4.1. Fresnel Yansıması.....	27
4.2. Sensörün Çalışma Prensibi.....	28
5. FİBER OPTİK YANSIMA TIPLİ UÇUCU ORGANİK BİLEŞEN SENSÖRÜ DENEYSEL DÜZENEK ELEMANLARI.....	30
5.1. Lazer.....	30
5.2. Sirkülatör.....	31
5.3. Çok Modlu Fiber Optik (MMF).....	32
5.4. Optik Güç Metre	33
5.5. Hava Torbası	34
5.6. Pompa.....	35
5.7. Hava Depolama Prototipi.....	35
6. ALGILAYICI KAPLAMA MALZEMELERİ	37
6.1 Kaplamanın Yapımı.....	37
6.2. Ftalosiyanın ve Uygulama Alanları.....	39
6.3. Ftalosiyanlı Kaplama Malzemelerinin Optik Özellikleri	39
6.3.1. CuPc (Bakır Ftalosiyanın).....	39
6.3.2. H ₂ Pc (Metalsiz Ftalosiyanın)	40
6.3.3. CoPc (Kobalt Ftalosiyanın).....	40
6.4. Polimerler ve Uygulama Alanları.....	40
6.4.1. PVP kaplama malzemesinin optik özellikleri.....	41
7. ALGILANAN UÇUCU ORGANİK BİLEŞENLER	42

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devamı)

	<u>Sayfa</u>
8. DENEYSEL DÜZENEK ve ÇALIŞMA PRENSİBİ	44
8.1. Ön Çalışma Deneysel Düzeneği.....	45
8.2. Geliştirilmiş Deneysel Düzenek.....	46
9. DENEYSEL SONUÇLAR.....	49
9.1. Ön Çalışma Sonuçları	49
9.1.1. Sensör-1.....	49
9.1.2 Sensör-2.....	49
9.1.3. Sensör-3.....	50
9.1.4. Sensör-4.....	51
9.1.5. Ön çalışma için genel değerlendirme	51
9.2. Geliştirilmiş Deneysel Düzenekte Elde Edilen Sonuçlar.....	52
9.2.1. Sensör-1.....	52
9.2.2. Sensör-2.....	61
9.2.3 Sensör-3.....	69
9.2.4 Sensör-4.....	74
10. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	82
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	85
EKLER.....	88
Ek 1. Durak F.E., Altuncu A. ve Ebeoğlu M.A., “Design of Reflection Type Optical Fiber Volatile Organic Compounds (VOC) Sensor”, 6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), 16-18 May, Elazığ, 2011.	88
Ek 2. Durak F.E., Altuncu A. ve Ebeoğlu M.A., “Yansımaya Tipli Optik Fiber Uçucu Organik Bileşen Sensörü”, 13. Ulusal Optik, Elektro-Optik ve Fotonik Çalışma Toplantısı, Bilkent Üniversitesi, Ankara, 2011.	92

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Dıştan etkileşimli sensör	5
2.2 İçten etkileşimli sensör.....	5
2.3 Yer değiştirme sensörleri.....	7
2.4 Mesafe sensörü.....	7
2.5 İçten etkileşimli modülasyona örnek	8
2.6 Mikro bükülme yapısı	10
2.7 Yansıma tabanlı fiber optik sensör	11
2.8 Sönümlenen dalga yapılı fiber optik sensör	11
2.9 Mach-Zehnder interferometre yapılı fiber optik sensör	13
2.10 Michelson interferometre yapılı fiber optik sensör	14
2.11 Fabry-Perot interferometre yapılı fiber optik sensör	15
2.12 Paralel düzlemdeki etkileşim	15
2.13 Sagnac interferometre yapılı fiber optik sensör	16
3.1 Sönümlenen alan yapılı fiber optik gaz sensör yapısı	19
3.2 Sönümlenen alan yapılı fiber optik gaz sensörü sistemi	19
3.3 Spektral iletim analizi kullanılarak yapılan fiber optik gaz sensör yapısı.....	20
3.4 Spektral iletim analizi kullanılarak yapılan fiber optik gaz sensör sistemi.....	21
3.5 Kaplamanın yapısı.....	21
3.6 Düzeneğin temel yapısı.....	22
3.7 Floresans tabanlı fiber optik gaz sensör yapısı.....	23
3.8 Floresans tabanlı fiber optik gaz sensör sistemi.....	24
3.9 WDM tabanlı fiber optik gaz sensörünün temel yapısı.....	25
3.10 WDM tabanlı fiber optik gaz sensör sistemi.....	26
4.1 Işığın kırınımı.....	27
4.2 Tasarlanan sensörün temel yapısı.....	28
5.1 1552 nm’de çalışan kararlı fiber optik lazer kaynağın spektrumu	30
5.2 Sirkülatör yapısı	31
5.3 Kullanılan çok modlu fiber optik kablo	32
5.4 Optik güç metre.....	33

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.5 Örnek hava torbası	34
5.6 Pompa.....	35
5.7 Hava depolama prototipi.....	36
6.1 Sensör-1	38
6.2 Sensör-2	38
6.3 Sensör-3	38
6.4 Sensör-4	38
8.1 Deneysel düzeneğin temel yapısı.....	44
8.2 Ön çalışma deneysel düzeneğin şematik gösterimi.....	45
8.3 Cam şişe ile ölçüm	46
8.4 Geliştirilmiş deneysel düzeneğin şematik gösterimi	46
8.5 Sistemin genel yapısı	47
9.1 Sensörlerin çeşitli VOClara verdiği tepkilerin kıyaslamalı grafiksel gösterimi.....	52
9.2 Sensör-1'in asetonitrile tepkisi ve yaklaşık 3. derece polinom eğrisi	53
9.3 Sensör-1'in asetona tepkisi ve yaklaşık 2. derece polinom eğrisi	55
9.4 Sensör-1'in oXylene tepkisi ve yaklaşık 3. derece polinom eğrisi	56
9.5 Sensör-1'in propanala tepkisi ve yaklaşık 2. derece polinom eğrisi	58
9.6 Sensör-1'in trikloroetilene tepkisi ve yaklaşık 3. derece polinom eğrisi	60
9.7 Sensör-1 için tüm sonuçların grafiksel gösterimi.....	61
9.8 Sensör-2'nin asetonitrile tepkisi ve yaklaşık 3. derece polinom eğrisi	63
9.9 Sensör-2'nin oXylene tepkisi ve yaklaşık 2. derece polinom eğrisi	65
9.10 Sensör-2'nin propanal tepkisi ve yaklaşık 2. derece polinom eğrisi.....	66
9.11 Sensör-2'nin trikloroetilene tepkisi ve yaklaşık 3. derece polinom eğrisi.....	67
9.12 Sensör-2 için tüm sonuçların grafiksel gösterimi.....	69
9.13 Sensör-3'ün asetonitrile tepkisi ve yaklaşık 3. derece polinom eğrisi	70
9.14 Sensör-3'ün oXylene tepkisi ve yaklaşık 3. derece polinom eğrisi	72
9.15 Sensör-3 için tüm sonuçların grafiksel gösterimi.....	74
9.16 Sensör-4'ün kloroforma tepkisi ve yaklaşık 3. derece polinom eğrisi	76
9.17 Sensör-4'ün oXylene tepkisi ve yaklaşık 2. derece polinom eğrisi	77

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
9.18 Sensör-4'ün propanala tepkisi ve yaklaşık 3. derece polinom eğrisi	79
9.19 Sensör-4'ün trikloroetilene tepkisi ve yaklaşık 3. derece polinom eğrisi	80
9.20 Sensör-4 için tüm sonuçların grafiksel gösterimi.....	81

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
6.1 Kullanılan kaplama malzemeleri.....	37
7.1 Kullanılan uçucu organik bileşenler.....	42
7.2 Ppm gaz miktarları için gereken uçucu organik bileşen miktarları.....	43
9.1 Sensör-1 için ön çalışma sonuç değerleri.....	49
9.2 Sensör-2 için ön çalışma sonuç değerleri.....	50
9.3 Sensör-3 için ön çalışma sonuç değerleri.....	50
9.4 Sensör-4 için ön çalışma sonuç değerleri.....	51
9.5 Sensör-1'in asetonitril için tepki değerleri.....	53
9.6 Sensör-1'in aseton için tepki değerleri.....	54
9.7 Sensör-1'in oXylene için tepki değerleri.....	55
9.8 Sensör-1'in propanal için tepki değerleri.....	57
9.9 Sensör-1'in trikloroetilen için tepki değerleri.....	59
9.10 Sensör-2'nin asetonitril için tepki değerleri.....	62
9.11 Sensör-2'nin kloroform için tepki değerleri.....	64
9.12 Sensör-2'nin oXylene için tepki değerleri.....	64
9.13 Sensör-2'nin propanal için tepki değerleri.....	65
9.14 Sensör-2'nin trikloroetilen için tepki değerleri.....	67
9.15 Sensör-3'ün asetonitril için tepki değerleri.....	69
9.16 Sensör-3'ün kloroform için tepki değerler.....	71
9.17 Sensör-3'ün oXylene için tepki değerler.....	71
9.18 Sensör-3'ün propanal için tepki değerler.....	73
9.19 Sensör-3'ün trikloroetilen için tepki değerler.....	73
9.20 Sensör-4'ün asetonitril için tepki değerleri.....	75
9.21 Sensör-4'ün kloroform için tepki değerleri.....	75
9.22 Sensör-4'ün oXylene için tepki değerleri.....	77
9.23 Sensör-4'ün propanal için tepki değerleri.....	78
9.24 Sensör 4'ün trikloroetilen için tepki değerleri.....	80

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
E.M.I.	Electromagnetic interference
r	Konum
t	Zaman
$\phi(r,t)$	Konum ve zamana bağlı faz değişimi
λ	Dalgaboyu
L(r,t)	Konum ve zaman bağlı optik yol uzunluğu
M-Z	Mach-Zehnder
F-P	Fabry-Perot
Pt/WO ₃	Platinyum/tungsten trioksit
Pd/WO ₃	Paladyum/ tungsten trioksit
ESA	Electrostatic self assembly
dB	Desibel
LED	Light Emitting Diode
WDM	Wavelength-division multiplexing
OSA	Optical Spectrum Analyzer
BBS	Broandband Source
VOC	Volatile Organic Compound
R	Reflectance
T	Transmittance
N	Kırılma indisi
P	Power
CW	Continuous wave

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
Hz	Hertz
TTL	Transistor-transistor Logic
MMF	Multi Mode Fiber
ST	Straight Tip
IR	Infrared
MAM	Marmara Araştırma Merkezi
MM	Multimode
PVP	Polyvinylpyrrolidone
CuPc	Bakır Ftalosiyanin
H ₂ Pc	Metalsiz Ftalosiyanin
CoPc	Kobalt Ftalosiyanin
UV	Ultraviole
PDT	Photodynamic Therapy
CD	Compact Disc
DVD	Digital Versatile Disc
FET	Field Effective Transistor
ppm	Parts per million
P _{HAVA}	Kuru/Temiz hava ortamında ölçülen yansıyan güç
P _{GAZ}	Uçucu organik bileşen bulunan ortamda ölçülen yansıyan güç

1. GİRİŞ

Lazerin 1960'larda bulunmasıyla optik sistemlere ilgi artmaya başlamıştır. Lazer sistemleri mikro dalga ve diğer elektriksel sistemlere göre daha fazla bilgi gönderebilmektedir. Araştırmacılar zamanla bu avantajı fiber optik kablolarda da denemişlerdir. Böylelikle cam fiberler ışığın iletiminde kullanılmaya başlanılmıştır. Fiber optik sistemler tüm bunlar ışığında bilgi iletimi, algılamalar ve buna benzer diğer uygulamalarda giderek yaygınlaşmıştır [1].

Özellikle günümüzün kablolu haberleşme sistemlerinin alt yapısını fiber optik sistemleri oluşturmaktadır. Yüksek bant genişliği, düşük sinyal kaybı, küçük ebatları, elektriksel yalıtımı, E.M.I. (Elektromanyetik girişim) olmaması, sinyal emniyeti ve düşük maliyet gibi avantajlarından dolayı diğer haberleşme sistemlerine göre üstünlük sağlamaktadır [2].

Fiber optik sistemlerdeki hızlı gelişmeler araştırmacıları farklı uygulama alanları için gerekli olan fiberleri geliştirmeye yöneltmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu, çeşitli algılama sistemlerinin tasarımında fiber optik kullanılmaya yönelik düşünceler ortaya çıkmıştır. Bu şekilde ortaya çıkan fiber optik sensörler, sağladığı avantajlar sayesinde elektrik ve manyetik alan, sıcaklık, basınç, akustik, titreşim, lineer ve açısal pozisyon ve hızı, gerginlik, nem, viskozite, kimyasal özellikler ve diğer fiziksel büyüklüklerin algılanmasında geleneksel sensörlerin yerine kullanılmaya başlanmıştır [3].

2. FİBER OPTİK SENSÖRLER

Fiber optik teknolojilerinin farklı alanlara uygulanması son yıllarda çok hızlı bir şekilde artmaktadır. Özellikle son zamanlarda fiber optik teknolojisindeki önemli gelişmeler haberleşme endüstrisi dışındaki uygulamalarda da değişikliklere neden olmaktadır. Işık hızında gigabit boyutunda bilgi taşıma yeteneklerinden dolayı fiber optiklerdeki araştırma potansiyeli artmıştır. Opto-elektronik malzemelerde yaşanan gelişmeler ve maliyetlerin düşmesi yeni araştırma alanlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Böylelikle araştırmacılar optik fiberlerin, opto-elektronik malzemelerin ve kimyasal ince film yapılarının birlikte kullanılması ile fiber sensörleri ortaya çıkarmışlardır.

Haberleşme uygulamalarında, sinyal iletiminin hızlı, düşük kayıplı ve bozunumsuz olması için bütün bozucu etkiler minimize edilmeye çalışılır. Fiber optik sensör sistemlerinde ise ölçülmek istenen niceliğin optik iletiminde değişim yapması istenir.

Haberleşme uygulamalarında, fiberde iletilen sinyal modüle edilmiş olarak iletilir. Fiber optik sensör sistemlerinde ise, fibere enjekte edilen ışık başlangıçta modülesizdir ve çevresel etkilere bağlı olarak fiber bir ışık modülatörü olarak davranır. Fiber sıcaklık, basınç, gerilim, dönme, elektrik ve manyetik alan gibi ölçülecek bilgiye bağlı olarak optik sinyal iletimindeki değişimin dönüştürücüsü ve hissedici elemanı olarak davranır. Işığın başlıca şiddeti, fazı, frekansı ve polarizasyonu karakterize edilebildiğinden, algılama yeteneği kazanmak için bunlardan bir veya bir kaçının çevresel etkilerle değişime uğraması gerekir. Genel olarak fiber optik sensörlerde algılamanın kesin ve güvenilir olması için bu değişimin ışık şiddetinde olması tercih edilir [3].

2.1. Fiber Optik Sensörlerin Avantajları

Çevresel parametrelerdeki değişimleri algılamada fiber optik sensörler sağladığı avantajlar ile ideal bir seçim olmaktadır. Ayrıca bir çok uygulamada, elektronik sensörlere göre bir takım üstünlüklere sahiptirler. Bu avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

- Fiber optik sensörler diğer fiber optik sistemlere, düşük kayıpla ve sorunsuz bir şekilde adapte edilebilmektedir. Ayrıca fiber optik sensör sisteminin yapısında, fiber optik haberleşme sisteminde kullanılan lazer kaynak, sirkülatör ve zayıflatıcı gibi benzer elemanlar kullanılabilir.

- Fiber optik haberleşme sistemlerinin, sensör sistemi ile beraber kullanılmasıyla uzaktan algılama ve kontrol etme gibi işlemler yapılabilir. Yani fiber, sensör olarak kullanıldığı zaman algılanan bilgi yine aynı fiber veya başka bir fiber tarafından kilometrelerce uzaktaki bir istasyona aktarılabilmekte ve bu sayede istenilen ölçüm düşük kayıpla gerçekleştirilebilmektedir.
- Fiber optik sensörün sinyal iletimi ve ölçümü sırasında fiber kablonun yapısından dolayı elektromanyetik girişimler nedeniyle bozunum gerçekleşmemektedir. Böylelikle ışık hızında hızlı, sorunsuz bilgi aktarımı ve ölçüm yapılabilir. Sorunsuzdur.
- Fiber kabloların hafif ve küçük yapıda olmasından dolayı sensör yerleşiminin zor olduğu dar alanlarda ölçüm, sorunsuz bir şekilde yapılabilir. Özellikle yakın zamanlarda geliştirilen bükülme kayıpları düşük fiberler sayesinde, keskin dönüşlü ortamlar içerisinde fiber çekiminde ortaya çıkan yüksek zayıflamaların da önüne geçilmiştir.
- Özel olarak üretilen bir takım fiber optikler yüksek sıcaklık ve sert çevresel etkenlere karşı dayanıklıdır. Geleneksel sensör yapılarına karşı fiber optik sensörler, rüzgar, yağmur, don gibi doğa olaylarından en az düzeyde etkilenmektedirler.
- Bilinen birçok sensör tipiyle kıyaslandığında, fiber optik sensörlerin duyarlıklarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Özellikle hassas ölçümler yapılmak istenildiğinde ışığın fiziksel yapısından dolayı fiber optik sensörler tercih edilmektedirler. Örneğin bir entegrenin pinleri arasındaki mesafenin ölçümünde fiber optik sensörler kullanılmaktadır.
- Fiber optik sensörler uzun bir ömre sahiptirler. 25 yıldan daha uzun bir süre içerisinde önemli bir değişim olmaksızın istikrarlı bir şekilde çalışabilirler. Uzun periyotlu ölçüm gerektiren durumlar için fiber optik sensörler en uygun seçim olmaktadır [1-3].

Fiber optik sensörler, sağladığı bu avantajlar sayesinde günümüzde çok geniş uygulama alanlarında kullanılmaktadırlar.

2.2. Fiber Optik Sensörlerin Sınıflandırılması

Fiber optik sensörler temel özelliklerine göre çeşitli sınıflara ayrılmaktadırlar:

- Fiber optik sensörler temel olarak dıştan etkileşimli (pasif) ve içten etkileşimli (aktif) olarak sınıflandırılırlar. Pasif sensörlerde ışığın modülasyonu, ışığı taşıyan fiberin dışında gerçekleşir. Aktif sensörlerde ise, ölçülecek etki doğrudan fibere uygulanır ve modülasyon fiberin içinde olur.

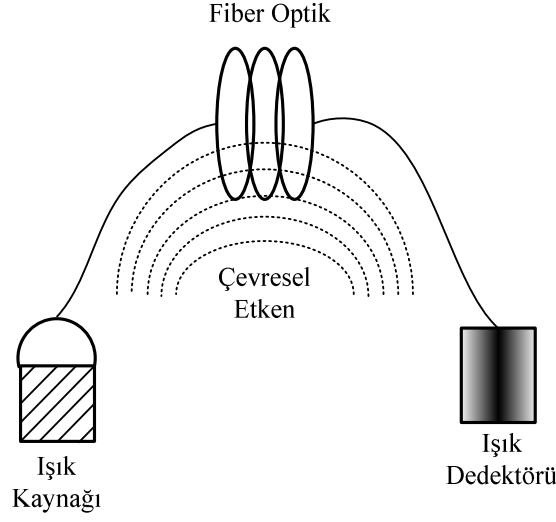
- Modülasyon ve demodülasyon yöntemini temel alan sensörler genlik, faz, frekans veya polarizasyon sensörü olarak adlandırılmıştır. Optik faz veya frekans ölçümü için interferometrik teknikler kullanıldığından daha sonraları, interferometrik ve interferometrik olmayan sensörler sınıflandırılması kullanılmaya başlanmıştır.
- Fiber optik sensörler, uygulama alanlarına göre de sınıflandırılmaktadırlar. Sıcaklık ve basınç gibi ölçümler için kullanılanlara fiziksel sensörler; PH sabiti ölçümü, gaz analizi, spektroskopik ölçümler için kullanılanlara kimyasal sensörler; katheter veya endoskoplar üzerine yerleştirilmesiyle kan akışı ve glukoz sabitinin ölçümü gibi biyomedikal ölçümler için kullanılanlara biyomedikal sensörler denilmektedir. İnterferometrik sensörler de bu uygulamaların herhangi birinde sayılabilirler.
- Fiber optik sensörler, ayrıca ölçüm yapılan nokta sayısına göre sınıflandırılırlar. Buna göre sensör tipleri, noktadan noktaya (point to point) sensörler, çoklu (multiplex) sensörler ve dağıtılmış (distributed) sensörler olarak üçe ayrılırlar. Noktadan noktaya sensör yapısında, fiber optik bağlantı kablosunun sonunda tek bir ölçüm sensörü vardır. Çoklu sensörler ise tek fiber hat üzerinden çok noktada ölçüme izin verirler. Dağıtılmış fiber sensörlerde, bir fiber hat üzerinden hat uzunluğu boyunca belirli sıklıkla ölçüm yapılabilen noktalar bulunmaktadır [3].

Bu sınıflandırmalarda kendi içlerinde alt sınıflara ayrılmaktadırlar. Bu alt sınıflarda çok sayıda farklı tipte fiber optik sensörü kapsamaktadır.

2.3. İçten ve Dıştan Etkileşimli Fiber Optik Sensörler

Fiber optik sensörler temel olarak etkileşim türüne göre 2 gruba ayrılmaktadırlar;

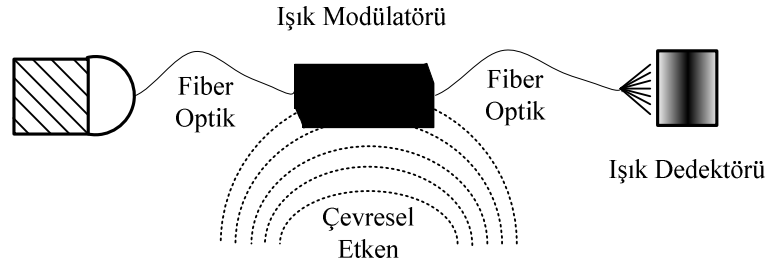
- Dıştan etkileşimli (pasif) fiber optik sensörler
- İçten etkileşimli (aktif) fiber optik sensörler



Şekil 2.1 Dıştan etkileşimli sensör

Dıştan etkileşimli fiber optik sensörlerde, bir optik kaynaktan üretilen ve fiberle taşınan ışığın şiddeti, fazı, frekansı, polarizasyonu veya diğer bileşenleri çevresel etkenler nedeniyle fiberin dışında değişikliğe uğrar (şekil 2.1). Bu şekilde modüle edilen ışık, bir fiber optik dedektörle algılanıp çevresel etkenlerin değişimi gözlemlenebilir.

İçten etkileşimli (aktif) fiber optik sensörlerde ise ölçülecek etki doğrudan fibere uygulanır ve modülasyon fiberin içinde iletilen sinyalde gerçekleşir (şekil 2.2). Yani, fiberin taşıdığı ışık çevresel etkilere bağlı olarak iletimde iken değişikliğe uğrar. Bu yapıda fiber bir modülatör gibi davranır [2].



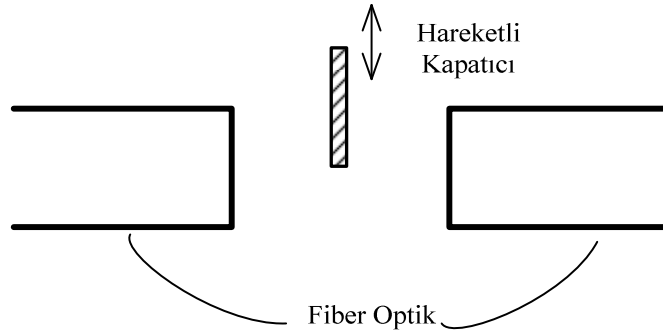
Şekil 2.2 İçten etkileşimli sensör

İsimlerinden de anlaşılacağı gibi fiberin dışında veya içinde gerçekleşen modülasyona göre yapılan bu sınıflandırmanın kendi alt grupları da vardır.

2.3.1. Dıştan etkileşimli (pasif) fiber optik sensörler

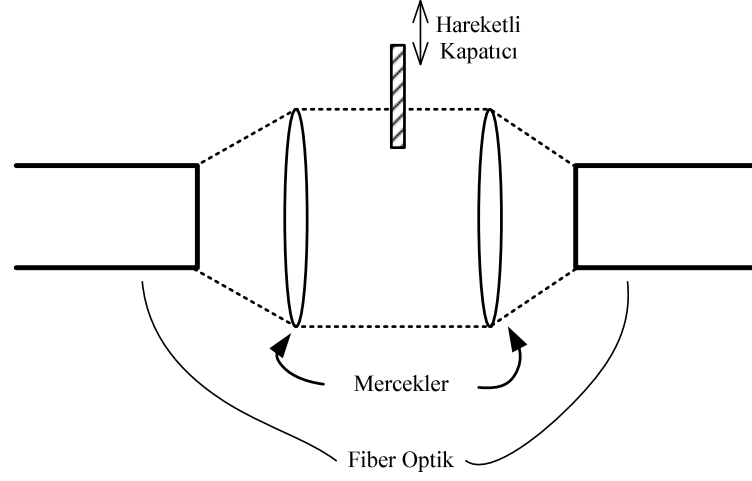
Fiber kablo sadece kaynaktan algılama bölgesine ve algılama bölgesinden detektöre ışık taşımada kullanıldığından, ışık modülasyonu ya doğrudan ya da bir modülatör kullanılarak dolaylı olarak yapılabilir [4]. Fiber tabanlı pasif sensörlere en basit örnek hareket veya konum sensörü gösterilebilir.

Hareketli bir cisim şekil 2.3 a'da gözüktüğü gibi iki fiber arasına dikey olarak yerleştirilir. Cismin hareketi sonucunda optik fiberlerin arasında iletilen ışık şiddetinde kayıp oluşur ve böylelikle cismin yer değişimi belirlenebilir. Şekil 2.3 b'de ise mercekler kullanılarak ışığın hüzmeye alanı genişletilmiştir. Bu sayede ölçülebilecek yer değiştirme miktarında büyüme elde edilmiştir [4].



(a)

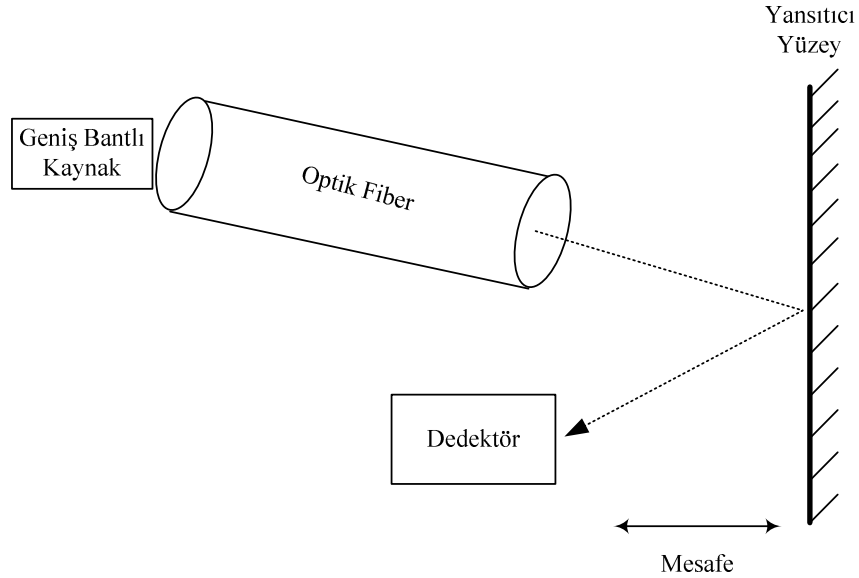
Şekil 2.3 Yer değiştirme sensörleri



(b)

Şekil 2.3 Yer değiştirme sensörleri

Yansıma tipli mesafe sensörleri de pasif fiber optik sensörlere örnek gösterilebilir. Şekil 2.4'te gözüktüğü gibi geniş bantlı bir ışık kaynağından gelen ışınlar yansıtıcı yüzeye çarptırılır. Yansıyan ışık detektör tarafından algılanır. Bu sayede referans bir ölçüm bağı olarak mesafe değişimi hesaplanabilir.



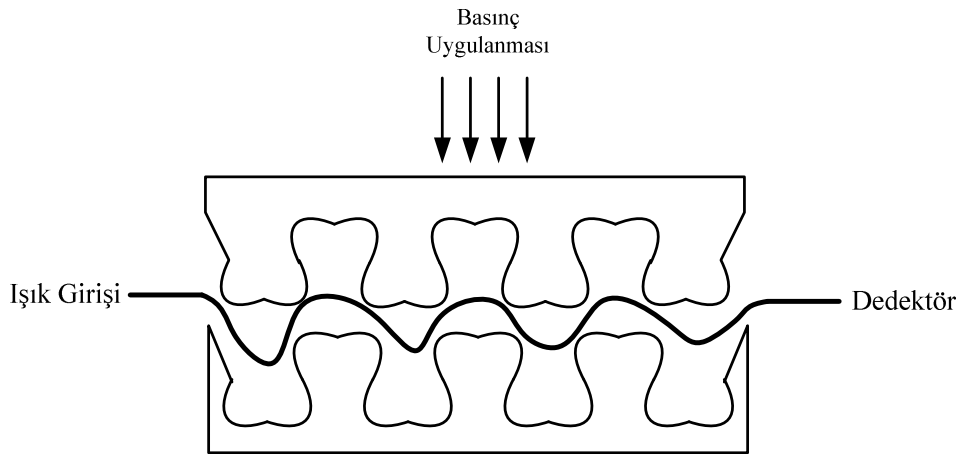
Şekil 2.4 Mesafe sensörü

Herhangi bir yer değiştirme/mesafe ölçüm tekniği kolaylıkla basınç ölçümüne de uyarlanabilir. Yansıtıcı yüzey, diyaframa yakın olacak şekilde yerleştirilir. Dış basınçta meydana gelen herhangi bir değişim diyafram bükülmesine böylelikle yansıtıcı yüzeyin hareketine sebep olacaktır. Mesafe ölçüm tekniğindeki gibi sabit bir basınç altındaki referans ölçümü ile basınç değişimi gözlemlenebilir.

2.3.2. İçten etkileşimli (aktif) fiber optik sensörler

Bu tür sensörlerde ışığın modülasyonu tamamen fiberin içinde meydana gelir. Ölçülecek niceliğin fiber üzerine uygulanması ile fiberin geometrik, fiziksel ve optik özellikleri (çap, kırılma indisi, fiber boyu, bükülme kaybı gibi) değiştirilerek fiber içinde yayılan ışık modüle edilebilir [2].

İçten etkileşimli fiber optik sensörlerin bir örneği mikrobükümlü (microbend) sensörlerdir. Yapısal mekanik baskı kaynaklı periyodik mikrobükümler, iletimdeki ışığın zayıflamasına neden olur [4].



Şekil 2.5 İçten etkileşimli modülasyona örnek

Şekil 2.5’de görüldüğü gibi sensör yapısı, içinden fiberin geçen iki katmandan oluşmaktadır. Üst katman fibere periyodik basınç uygulamaktadır. Yapılan baskı sonucu fiberdeki bükümler oluşur böylelikle ışığın öz alanında ilerlemesi için gerekli olan kritik açıdan daha küçük açılarda ışık yansır ve bunun sonucunda kılıfa sızmaya başlar [1].

2.4. Modülasyon Temelli Fiber Optik Sensörler

Bu tür sensörlerin çalışması, ışığın şiddet, faz, dalga boyu ve polarizasyon gibi fiziksel parametrelerindeki değişimleri ölçmeye dayanır ve temel olarak 4 tipe ayrılırlar.

- Işık şiddeti modülasyonuna dayanan fiber optik sensörler
- Faz modülasyonuna dayanan fiber optik sensörler
- Spektral analiz tabanlı fiber optik sensörler
- Polarizasyon modülasyonuna dayanan fiber optik sensörler

2.4.1. Işık şiddeti modülasyonuna dayanan fiber optik sensörler

Bu tip sensörlerin temeli, ışığın çevresel etken ile doğru orantılı olarak zayıflamasına dayanmaktadır. Ölçülmek istenen niceliğe bağlı olarak fiber optik sensörde bükülme, ezilme gibi zayıflatmaya sebep olabilecek etkiler sonucunda ışığın gücünde meydana gelen değişimler gözlemlenir. Bu tür sensörlerde yayılan ışığın gücündeki değişim gözlemlendiği için çok fazla ışığa ihtiyaç duyulur ve bu sebeple öz çapı yüksek çok modlu fiberler kullanılır.

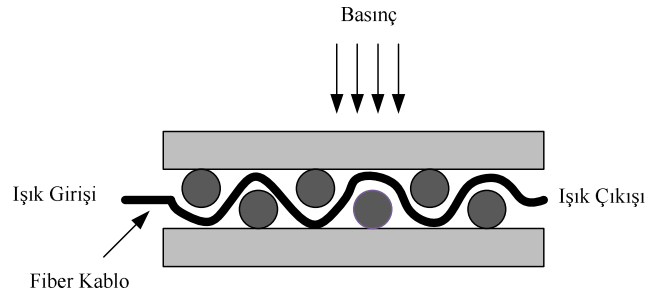
Bu tür sensörlerin avantajları;

- Kolay uygulanabilir
- Düşük maliyetli
- Sensör dizisi haline getirilebilir olması sayılabilir.

Dezavantajı ise eğer referans güç kaynağı kullanılmazsa ışık kaynağının yoğunluğu göreceli ölçümlerde ve değişimlerde yanlış okumaya neden olabilir [1].

2.4.1.1. Mikro bükülme tabanlı fiber optik sensörler

Genel olarak dalgaboyu ile kıyaslanabilir ölçekteki küçük bükülmelere mikro bükülme denilmektedir. Fiber optik kablolarda bu tür mikro bükülmeler olduğu zaman bükülmeye bağlı olarak ışığın bir kısmı özden dışarı çıkar. Fiberde iletilen optik güç mikro bükülmenin büyüklüğü ile orantılıdır. Yani, fiber çıkışındaki güç değişimi ölçülürken fiberde oluşan mikro bükülme miktarı da ölçülmüş olur. Bu sayede bir fiber optik basınç sensörü yapısı elde edilebilir [3].

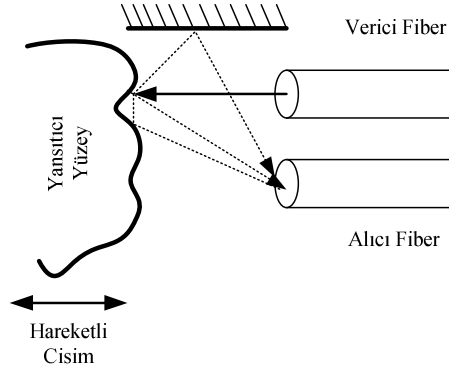


Şekil 2.6 Mikro bükülme yapısı

Bu tip mikro bükülme sensörleri yer değiştirme, gerginlik, basınç ve zorlama gibi fiziksel parametrelerin ölçümünde kullanılabilir. Mikro bükülmeye duyarlı fiberlerin avantajları, düşük maliyetli olmaları ve hassas ölçümler yapılabilmesidir.

2.4.1.2. Yansıtıcı tabanlı fiber optik sensörler

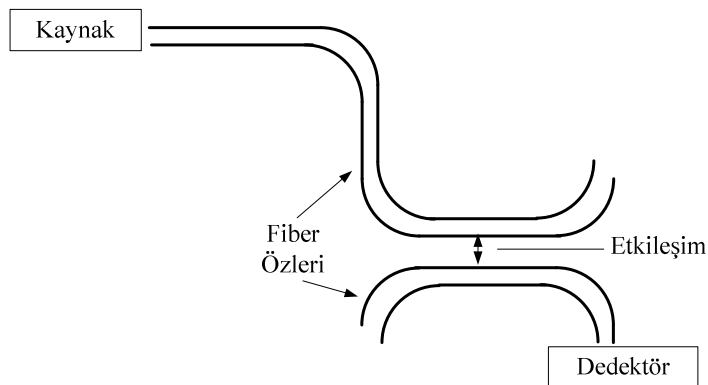
Yansıtıcı ölçme prensibine göre yapılan fiber optik sensörler genellikle mesafe, yer değiştirme, titreşim gibi hareketli ölçümlerde kullanılırlar. Şekil 2.7'de titreşim ölçmek için kullanılan sensör yapısı verilmiştir. Kaynaktan fibere enjekte edilen ışın fiberin uç kısmından dışarıya çıkmaktadır. Hareketli ve yansıtıcı yüzeye sahip cisme ulaşan ışınlar geri yansımaktadır. Yansıyan ışınların bir kısmı direkt olarak, bir kısmı da ayna yardımıyla alıcı fiber optik kabloya ulaşmaktadır. Fiber ile hareketli cismin arasındaki mesafeye ve yansıtıcı yüzeyin yapısına göre geriye yansıyan ışığın yönü ve miktarı değişmektedir. Buna bağlı olarak algılanan ışığın şiddetinde de değişim oluşur. Bu değişim daha önceden belirlenen referans bir ölçüm değerine göre değerlendirilir. Böylelikle sensörün doğru bir şekilde çalışır [5].



Şekil 2.7 Yansıma tabanlı fiber optik sensör

2.4.1.3. Sönümlenen dalga kuplörü tabanlı fiber optik sensörler

Işık, tek modlu fiber boyunca ilerlerken tamamıyla özde kılavuzlanarak iletilemez. Işığın bir kısmı özü çevreleyen kılıf bölgesine de geçer. Kılıf üzerinden dağılan ışığa sönümlenen dalga denir. Bu olaydan faydalanmak suretiyle yönlü fiber kuplörler geliştirilmiştir. İki fiber arasındaki kuplaj verimi fiberlerin özleri arasındaki mesafeye bağlıdır. Mesafe azaldıkça kuplaj verimi artacaktır. Şekil 2.8’de bu konseptte uyan fiber optik sensör yapısı görülmektedir. Kaynaktan çıkan ışık birinci fiber ile ikinci fiberin özünün yakınlığına bölgeye gelir. Bu iki fiber özünün birbirine yakın olmasıyla kuplaj olayı gerçekleşir. Basınç, ses dalgası veya sıcaklık gibi çevresel etkilerle kuplaj uzunluğu değişir. Bu da kuplaj katsayısında değişime neden olur. Böylelikle algılanan ışık şiddetinde değişim olur. Bu yüzden bu değişimin gözlemlenmesi ile çevresel etkilerdeki değişimler algılanabilir [3].



Şekil 2.8 Sönümlenen dalga yapılı fiber optik sensör

2.4.2. Faz Modülasyonuna Dayanan Fiber Optik Sensörler

Fiberde iletilen ışığın fazı çevresel etkiler ile değişebilmektedir. Bu yüzden fiber optik sensörler ölçüm tekniği ışığın fazındaki değişimlere dayandırılabilir. Faz değişimi ile optik yol uzunluğu arasındaki ilişki şu şekildedir;

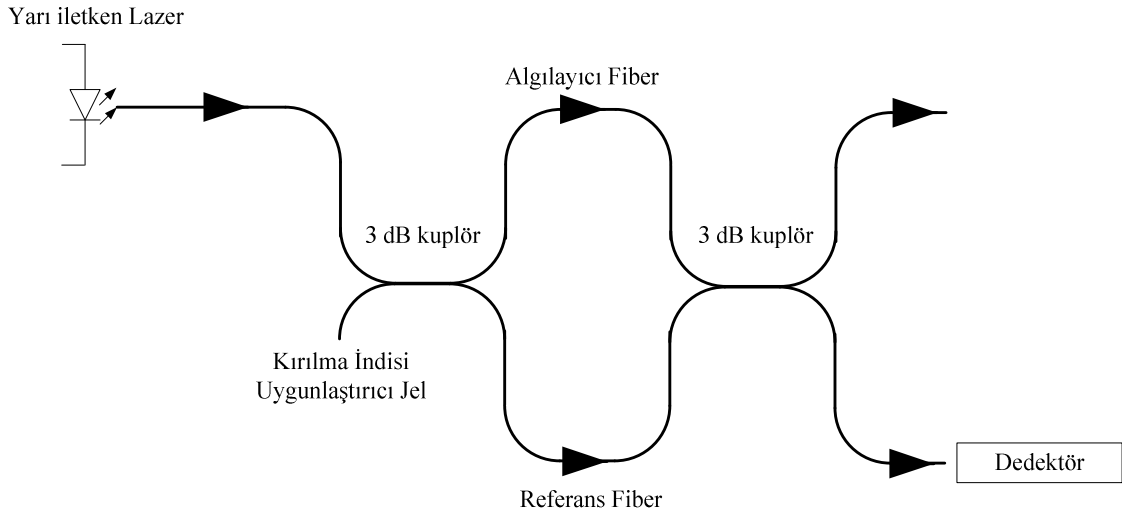
$$\phi(r, t) = \frac{2\pi}{\lambda} L(r, t) \quad (1)$$

Burada $\phi(r, t)$ konum (r) ve zamana (t) bağlı faz değişimi, λ ışığın dalga boyu, $L(r, t)$ konum (r) ve zamana (t) bağlı optik yol uzunluğudur. Dalga boyundaki değişim çok küçük olsa bile, optik yolun faz değişimi büyük olabilir [3]. Bu sebeple, faz modülasyonuna dayanan fiber optik sensörler ışık şiddetine dayalı fiber optik sensörlere göre daha hassastır. Fiber optik dedektörler, optik faz değişimini direkt olarak algılayamazlar. Bu yüzden fiberde oluşan faz değişimleri, interferometrik yapılar yardımıyla ölçülebilir. Bir optik kaynaktan çıkan ışık bir kuplör yardımıyla, biri algılayıcı diğeri de referans fiber kolu olmak üzere iki fiber koluna ayrılır. Algılayıcı fiberin içinden geçen ışığın fazı, referans ışığın fazıyla interferometre yapısı içerisinde karşılaştırılır. Bu prensiple çalışan ve faz farkı ölçen interferometre tipleri şunlardır:

- Mach-Zehnder Interferometre
- Michelson Interferometre
- Fabry-Perot Interferometre
- Sagnac Interferometre

2.4.2.1. Mach-Zehnder interferometrik sensörler

Faz değişimlerinin tespit edilebildiği bir yol olan Mach-Zehnder konfigürasyonu sensör yapılarında yaygın bir şekilde kullanılır. Bu yapı fiber optik ve ekipmanları ile birlikte kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Şekil 2.9'da bir yarı iletken lazer kaynaklı tipik bir M-Z interferometrik sensör yapısı gösterilmiştir.



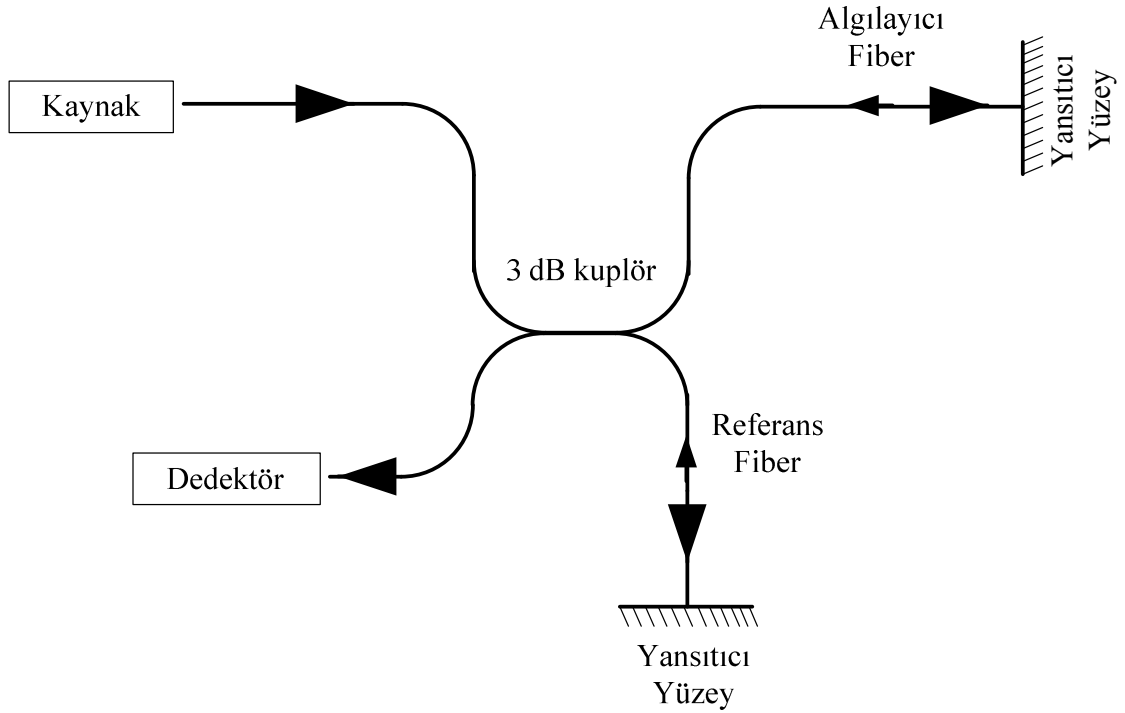
Şekil 2.9 Mach-Zehnder interferometre yapılı fiber optik sensör

Bu düzenekte 3 dB kuplör, lazer kaynaktan gelen ışın demetini algılayıcı ve referans fiberlere 50/50 şeklinde böler. Fiberlerden geçen sinyaller çıkışta benzer bir 3 dB kuplör ile girişime uğrayarak bir fotodedektör üzerine düşürülür.

Bu yapıdaki interferometrenin en büyük avantajı, çok küçük düzeydeki faz değişimlerini algılayabilmesidir. Algılayıcı fiber koluna yapılacak eklemeler veya değişiklikler ile kuvvet, basınç, sıcaklık ve manyetik alan gibi çeşitli çevresel parametreleri ölçmede kullanılabilir [4].

2.4.2.2. Michelson interferometrik sensörler

Temel Michelson interferometrik fiber optik sensör yapısı şekil 2.10'da gösterilmiştir. Bu yapıda, ışığı ayırmak ve birleştirmek için tek bir kuplör kullanılır. Kaynaktan çıkan ışık 3 dB kuplör yardımıyla algılayıcı ve referans kollarına ayrılır. Bu kollarda ilerledikten sonra çıkışındaki yansıtıcılar ile geriye yansır. Daha sonra aynı kuplör yardımıyla yansıyan ışık demetleri birleşir ve optik detektöre ulaşır.

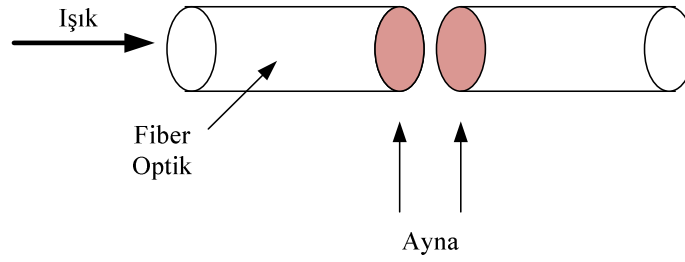


Şekil 2.10 Michelson interferometre yapılı fiber optik sensör

Her iki fiberin ucunda bulunan yansıtıcılar aynı özellikte ve fiberlerin uzunlukları eşit ise yansıyan sinyallerin arasında faz farkı bulunmaz. Eğer algılayıcı koldaki fiberin yapısında, uzunluğunda, yansıtıcı yüzeyde veya yansıtıcı ile fiber arasındaki mesafe gibi parametrelerde farklılık varsa, referans ve algılayıcı fiberden yansıyan ışık demetleri arasında faz farkı meydana gelir [3].

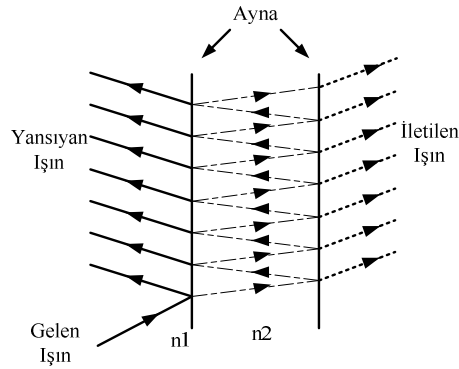
2.4.2.3. Fabry-Perot interferometrik sensörler

Fabry-Perot interferometresi çok yansımali etkileşim yapısına sahiptir. İki paralel ayna arasında bir boşluk oluşturularak bir F-P interferometre yapısı gerçekleştirilir. Şekil 2.11'de basit bir Fabry-Perot interferometrik sensör yapısı görülmektedir.



Şekil 2.11 Fabry-Perot interferometre yapılı fiber optik sensör

Paralel yüksek yansımaya sahip yüzeylerde, gelen ışın birçok kez yansdıktan sonra dışarıya çıkmaktadır (şekil 2.12). Her yansıma sırasında faz kayması meydana gelmektedir. Böylelikle dışarıya çıkan ışığın şiddeti arttıkça daha küçük değişimler ölçülebilmektedir. Bu yapıdaki sensörler sıcaklık, mesafe, akustik dalga ve manyetik alan gibi ölçümlerde kullanılmaktadır [6].

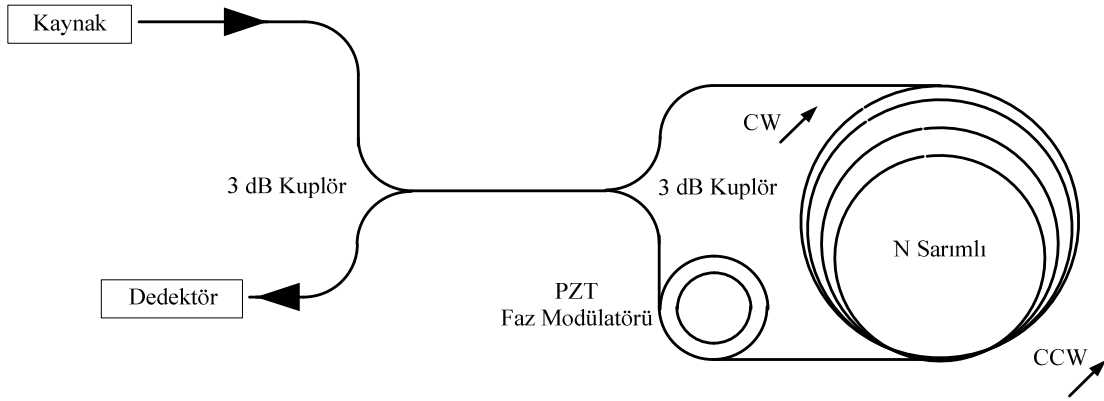


Şekil 2.12 Paralel düzlemdeki etkileşim

2.4.2.4. Sagnac interferometrik sensörler

Sagnac interferometrik yapılar, genellikle açısal yer değiştirme algılanmasında kullanılır. Açısal yer değiştirmeyi algılayan cihazlara jiroskop denir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte farklı türde jiroskoplar üretilmiştir. Bu türlerden en yenisi olan fiber optik tabanlı jiroskopun günümüzde en yaygın kullanım alanları navigasyon sistemleridir. Yani, insansız hava araçlarında, güdümlü füze yönlendirmesinde, torpido konum kontrolünde, haberleşme

uydularının Dünya yörüngesinde tutulmasında, temizlik robotlarında, otomatik çim biçme makinelerinde, kamera stabilizasyonlarında kullanılmaktadır.



Şekil 2.13 Sagnac interferometre yapılı fiber optik sensör

Şekil 2.13’de basit bir Sagnac interferometrik fiber optik sensör yapısı görülmektedir. Bu interferometrede LED gibi geniş bantlı bir ışık kaynağı kullanılır. Kaynaktan çıkan ışık, belirli bir açısal hız ile dönen N sarımlı fiber bobinin girişinde 3 dB kuplör tarafından eşit güçte ikiye ayrılır. Böylece, ışık demetleri fiber bobininde karşıt yönlerde iletilmiş olur. Bu tür yapılarda yaygın olarak bir piezoelektrik halka üzerine sarılan fiber optikten oluşan PZT (piezoelektrik seramik) faz modülatörü kullanılır. Modülatör, karşıt yönde yayılan iki ışın demeti arasındaki faz farkını dengeler ve optimize demodülasyon işaretinin elde edilebilmesini mümkün kılar. Faz değişimi boylamsal kuvvet uygulanması, sıcaklıkla fiber boyunun değiştirilmesi veya radyal kuvvet uygulanmasıyla sağlanabilir [7].

2.4.3. Spektral analiz tabanlı fiber optik sensörler

Bu tip sensörlerin temel çalışma prensibi ışık spektrumundaki çevresel etkilere bağlı oluşan değişimlere dayanmaktadır. Sensör ölçümleri siyah cisim ışınlı, absorplama, fluoresans olaylarına dayanarak gerçekleşir.

Bu sensör çeşitlerinden birisi kara cisim ışınlına dayanan sensörlerdir. Siyah cisim ışınlı, herhangi bir cismin sıcaklığa bağlı olarak belirli bir frekansta elektromanyetik enerji (foton) yayma olayıdır. İdeal bir siyah cisim, tüm dalga boylarında elektromanyetik dalga soğuran ve ısıtıldığında tüm dalga boylarında enerji yayan cisimdir [32]. Siyah cisim ışınlının

incelenmesi için herhangi bir metalden oluşan içi oyuk bir cisme ışığın girmesi için bir delik açılır ve bir fiber optiğin ucuna yerleştirilir. Cismin sıcaklığı yükseldikçe ışıma yapmaya başlar ve ışık kaynağı gibi davranır. Dar bantlı filtrelerle birlikte kullanılan bir fotodedektör, siyah cisim ışıma eğrisinin profiline ve böylelikle sıcaklığına karar vermede kullanılır.

Hassas sıcaklık ölçümlerinde piyasada başarılı bir şekilde siyah cisim ışınumına dayanan sensörler kullanılmaktadır. Düşük sinyal-gürültü oranından dolayı, bu tip sensörlerin performansları ve doğrulukları, geniş bir sıcaklık aralığında ölçüm yapmak için idealdir [3].

2.4.4. Polarizasyon modülasyonuna dayanan fiber optik sensörler

Fiber optikler bilindiği gibi silika malzemesinden yapılmaktadırlar. Fiberin kırılma indisi basınç veya gerilme uygulamasıyla değiştirilebilir. Bu olay foto-elastik etkisi olarak adlandırılır. Uygulamada, farklı yönlerdeki basınç veya gerimelerin farklı olmasından dolayı kırılma indisindeki değişimler de farklı olmaktadır. Bu şekilde çıkış polarizasyonundaki değişim gözlemlenerek harici bozucu etkiler algılanabilir.

Pratik olarak fiber optik sensör yapmak için duyarlılığını ölçmek istediğimiz çevresel etkilere göre kalibrasyon yapmamız gerekmektedir. Örneğin, basınç veya gerilme ölçümü için sıcaklık istenmeyen bir etkidir. Bu durum göz önüne alınarak sensörün duyarlılığı kalibre edilmelidir [3].

3. FİBER OPTİK TABANLI GAZ ALGILAMA İÇİN ÖNERİLEN SENSÖRLER

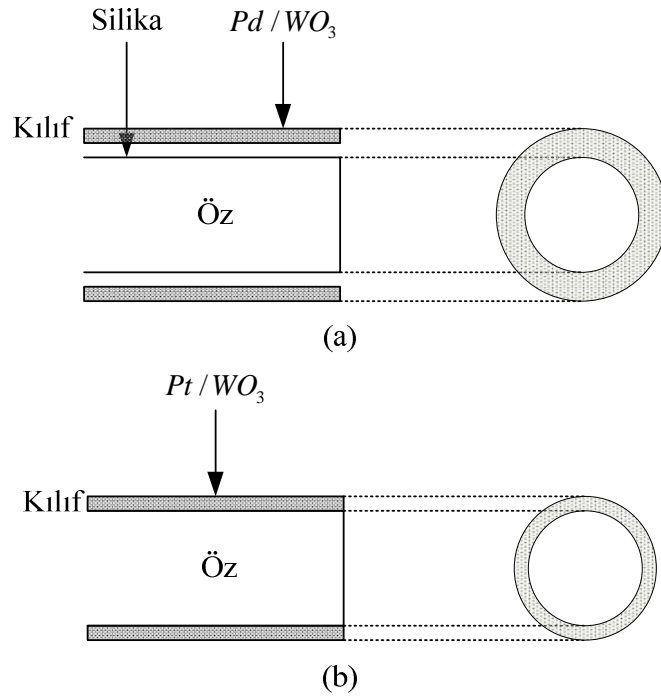
Optik gaz algılama yöntemleri gelişen günümüz teknolojisinde çok çeşitli yapılar içerisinde bulunmaktadır. Gaz ortamında optik absorplama elektron rezonansından dolayı genellikle morötesi bölgesinde gerçekleşmektedir. Bu bölgede standart silika tabanlı optik fiberlerin kayıpları yüksek olmaktadır. Ayrıca, moleküler rezonanslara bağlı olarak gerçekleşen absorplama da orta kızılaltı bölgesinde yani 2700 nm ve daha ilerisinde meydana gelmektedir. Bu bölgede ise standart silika tabanlı fiberler pratik olarak ışık geçirmez şekilde davranmaktadır.

Bütün bunlar ışığında gaz absorplamanın yüksek olduğu dalga boyu aralığı optik fiberlerin standart iletim bandının dışına karşılık gelmektedir. Bu sebeple genel olarak literatürde yapılan çalışmalarda çeşitli optik fiberler kullanılarak sensör sistemleri önerilmiştir [8].

3.1. Sönümlenen Alan Kullanılarak Yapılan Gaz Sensörü Çalışması

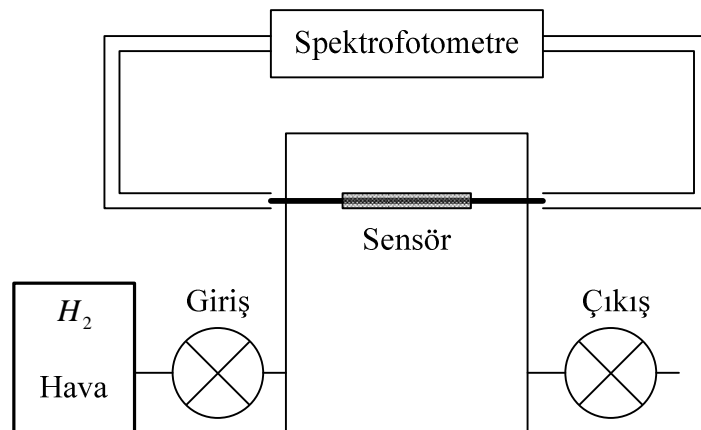
Geniş alanlara sahip depo, boru hattı ve benzeri yapılarda gaz ölçümleri yapmak için günümüzde kullanılan birçok geleneksel sensör tipi yeterli olmamaktadır. Geniş bir alan içerisinde meydana gelen gaz kaçaklarını tespit etmek, hızlı ve doğru gaz ölçümleri yapabilmek için fiber optik sensör kullanılması, sağladığı avantajlar ile ön plana çıkmaktadır. Bu amaçla yapılan bir çalışmada fiber ucuna Pt/WO_3 ve Pd/WO_3 ince film kaplanmasıyla yeni bir fiber optik sensör yapısı elde edilmiş ve bu sensörle başarılı gaz ölçümleri yapılabilmektedir [9].

Sensörün fiber kısmı için 200/230 μm kuartz özlü plastik kılıflı fiber kullanılmıştır. Fiber kılıf sıyrıcı yardımı ile fiber kablonun kılıf kısmı soyularak öz kısmının üzeri hidrojene duyarlı bir malzeme ile kaplanmıştır (şekil 3.1).



Şekil 3.1 Sönümlenen alan yapılı fiber optik gaz sensör yapısı

Algılayıcı kaplama malzemesi olarak kullanılan Pd/WO₃ ve Pt/WO₃, özel bir karışımla 3 saat boyunca 300⁰C ısıtılarak hazırlanmıştır. Kılıf kısmı soyulmuş ve öz etrafına daldırma yöntemi ile algılayıcı malzeme kaplanmış fiber optik daha sonra bir fırına yerleştirilerek 500⁰C’de yaklaşık 3 saat boyunca ısıtılır.

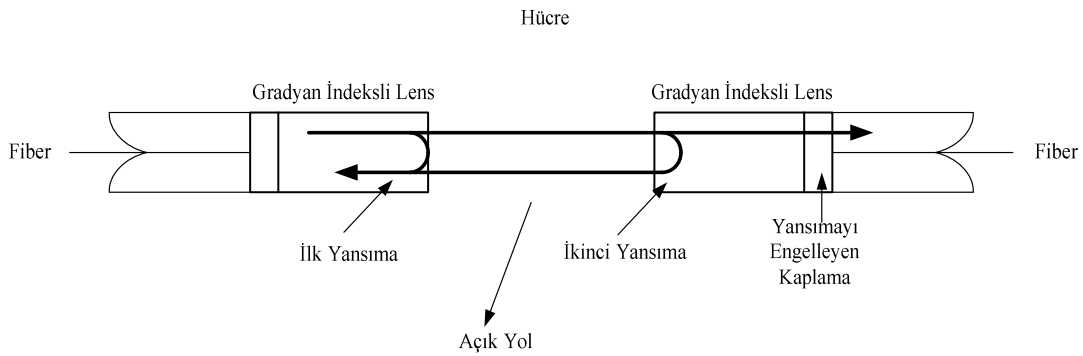


Şekil 3.2 Sönümlenen alan yapılı fiber optik gaz sensörü sistemi

Ölçüm düzeneği için şekil 3.2'deki yapı kurulmuştur. Spektrofotometrenin çıkışından alınan monokromatik optik sinyal sensöre uygulanır. Gaz ile kaplamanın etkileşimi sonucunda kısmen sönmülenen sinyal tekrar spektrofotometreye gelir. Yapılan ölçümler sonucunda silika öz üzerine kaplanmış Pd/WO₃ sensörün tepkisinin düşük ve %90 soğuruma ulaşmasının yaklaşık 1 saati bulduğu gözlemlenmiştir. Sensör kaplamasının sol-gel prosesiyle oluşturulması durumunda yapılan ölçümlerde %90 soğuruma 7 dakikada ulaşıldığı ve ilerleyen sürelerde tepkimenin giderek arttığı gözlenmiştir [9].

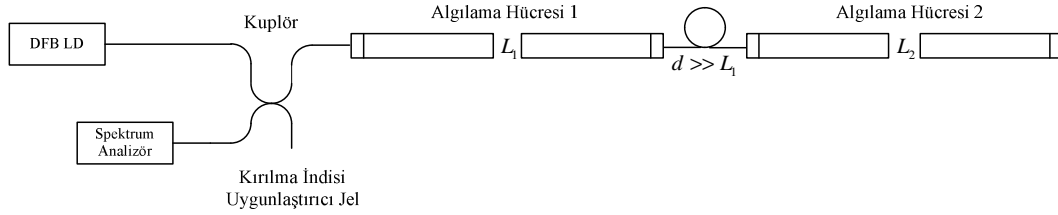
3.2. Spektral İletim Analizi Kullanılarak Yapılan Gaz Sensörü Çalışması

İnterferometrik yapıları optik fiber sistemlerinin gelişimi ile çoklu sensör yapılarına olan ilgi büyük ölçüde artmıştır. Dağıtılmış çoklu sensör sistemleri çok sayıdaki noktalarda algılamaya izin verir. Yapılan bir çalışmada frekans modülasyonlu sürekli dalga (FMCW) methoduna dayanarak gaz ölçümü gerçekleştirilir [10].



Şekil 3.3 Spektral iletim analizi kullanılarak yapılan fiber optik gaz sensör yapısı

Sensör, her biri farklı uzunluktaki gradyan indeksli lenslerden oluşan açık yollu hücre yapılarından oluşturulmuştur. Bu hücrelerde Şekil 3.3'de de gözüktüğü gibi silika/hava ara yüzeyinden kaynaklanan yansımalar meydana gelir. İki yansıma arasındaki gecikme, kaynağın lineer frekans rampası boyunca, her bir hücrenin çıkışlardaki darbe frekansını artırır. Farklı hücrelerden gelen yansımalarda etkileşim olmaması için hücreler arasındaki mesafe, kaynağın koherans uzunluğundan büyük seçilmelidir. Dedektörde osilaskop yardımıyla her durum için frekansa bağlı güç spektrumu incelenmektedir.



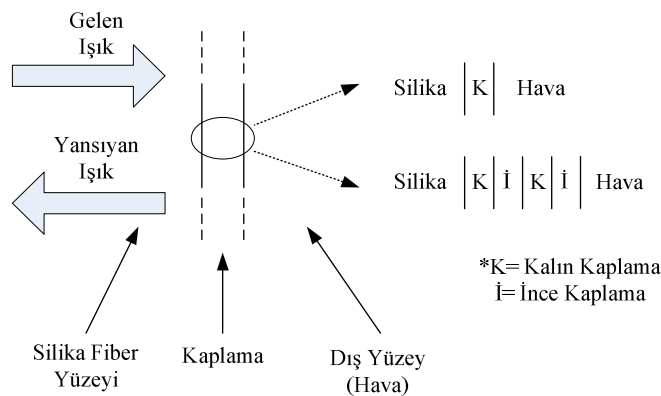
Şekil 3.4 Spektral iletim analizi kullanılarak yapılan fiber optik gaz sensör sistemi

Yapılan deneyler sonucunda farklı mesafelerde bağlanan iki hücre ile ölçümler gerçekleştirilmiştir (şekil 3.4). Her bir hücrede metan için ayrı ayrı soğurum yapılarak hangi hücrede algılama olduğu tespit edilmiştir. Uygulama metan gazının alarm sistemi için denenmiş havadaki %50 oranında metan gazını algılayabilmiştir [10].

3.3. Kendiliğinden Monteli Izgara Kullanılarak Yapılan Gaz Sensörü Çalışması

Hedeflenen gazın algılanması için geliştirilen sensör sistemlerinde genellikle kullanılan dalga boyu önemli bir unsurdur. Önerilen bu yöntemde ise sensörün yapısı sensörün optik dalga boyundan bağımsız hale gelmektedir. Haberleşmede kullanılan standart fiber optiklerin sensör yapısında kullanımına izin veren bu yöntem sayesinde, hedeflenen gazın absorplama karakteristiğine bağımlı olmaktan kurtulmuş olunur.

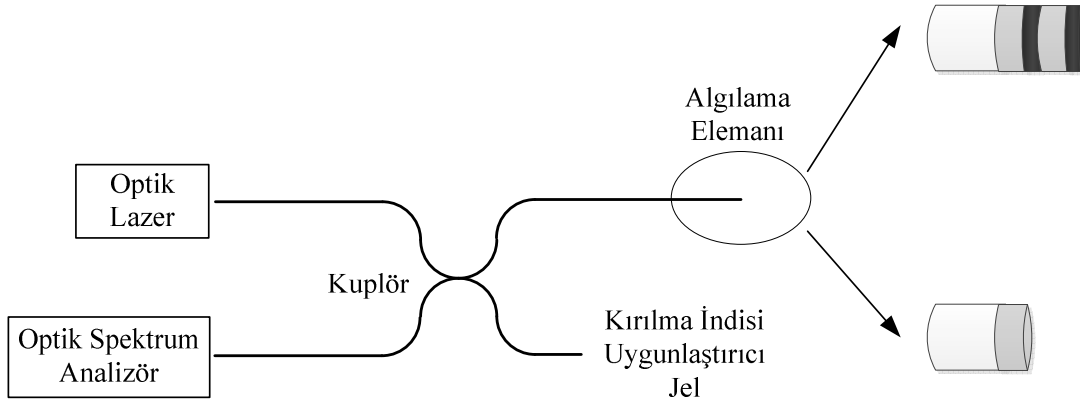
Önerilen sensör yapısının çalışması, gaz algılayan özel kaplama malzemesinin optik yansıtma katsayısının değişimine dayanır. Hedeflenen kimyasal moleküller, algılayıcı kaplama malzemesi tarafından yakalanır ve kimyasal tepkime gerçekleşir. Bu tepkime sonucunda optik yansıtma değişir.



Şekil 3.5 Kaplamanın yapısı

Kaplama yöntemi olarak elektrostatik kendiliğinden montaj (ESA) yöntemi kullanılmıştır. Bu kaplama yöntemi ile fiberin uç yüzeyine çeşitli büyüklükte, kalınlığı kontrol edilebilen ince film kaplamalar yapılabilir. Bu kaplama, katmanlar arasındaki birikmiş zıt yüklü moleküller arasındaki etkileşime dayanmaktadır. İlk olarak optik fiberin yüzeyi temizlenir ve yüzey bir yükü yüklenir. Daha sonra katyon ve iyonik polimerlerden oluşan bir solüsyona daldırılır ve çok katmanlı yapıya dönüştürülür. Böylelikle birbirinden ayrı oluşturulan katmanların bileşimi ve kalınlığı kontrol edilebilmektedir. Bu işlem metal, plastik, seramik ve yarı iletken yüzeylerine uygulanabilmektedir.

Ölçümlerin yapılabilmesi için şekil 3.6’da gözüken düzenek kullanılmıştır. Işık kaynağı olarak beyaz ışık kullanılır. Kaynak çok modlu fiber ile kuplöre bağlanmıştır. Kuplörün ikinci koluna ise sensör yerleştirilmiştir. Üçüncü kolu ise istenmeyen yansımaları için kırılma indisi uygunlaştırıcı jel ile kaplanmıştır. Kuplörün dördüncü kolu optik spektrum analizörün girişine bağlanmıştır.



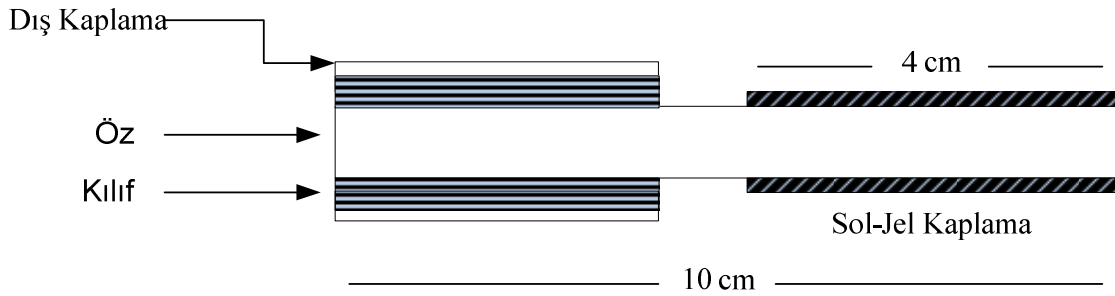
Şekil 3.6 Düzenegin temel yapısı

Ölçümler önce tek kat kaplamalı fiber sensör ile diklorometan gazlı ve gazsız ortam için yapılmıştır. Optik ölçüm sonucunda yansıma gücünde dalga boyundan bağımsız 1,5 dB’lik bir fark gözlemlenmiştir. Daha sonra çok katman kaplamalı sensör ile ölçümler yapılmıştır. İlk yapıya göre optik yansıma gücündeki fark azalmıştır. Her iki durum içinde sensörün tepkisi çok hızlı olup, yaklaşık 2 saniye civarındadır. Ayrıca 10°C ve 70°C için ölçümler yapılarak sensör performansının sıcaklık değişiminden etkilenmediği gözlemlenmiştir. Aynı sensör yapısı, aseton ve etanol gazlarına da tepki vermiştir [11].

3.4. Floresans Tabanlı Gaz Sensörü Çalışması

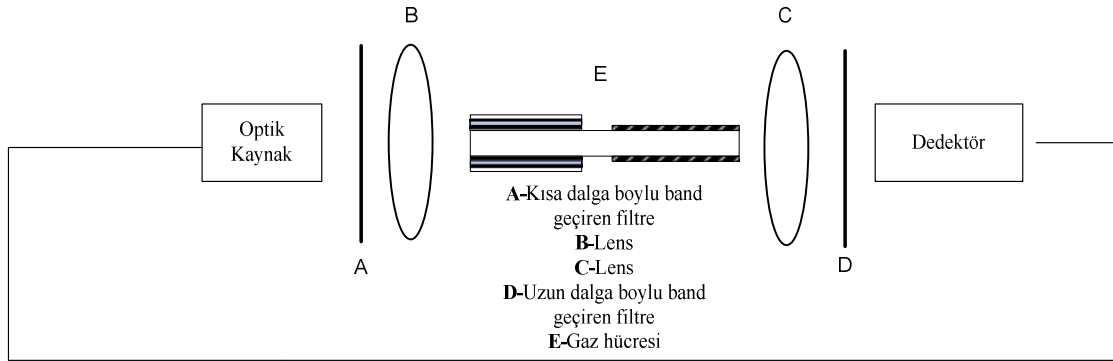
Birçok endüstriyel, medikal ve çevresel uygulamalarda oksijen yoğunluğunun belirlenmesi çok önemlidir. Optik oksijen sensörleri geleneksel sensörlere göre daha çok ilgi görmektedir. Çünkü optik sensörler, genel olarak hızlı tepki süresine sahiptirler, algılama esnasında oksijen harcamazlar ve kolay kolay bozulmazlar. Yapılan bir çalışmada maliyeti oldukça düşük, taşınabilir bir optik oksijen sensörü tasarlanmıştır [12].

Sensörün yapımında kaplama yöntemi olarak sol-jel prosesi kullanılmıştır. Bu prosede, inorganik bileşikler belirli oranlarda su ve asitle birleştirilerek bir solüsyon (sol) meydana getirilir. Bu solüsyonun belirli sıcaklıklarda karıştırılması neticesinde birbirini izleyen bir dizi kimyasal reaksiyonlarla bir ağ (jelleşme) meydana gelir. Bu ağ gitgide büyüyüp yüzey içerisindeki bütün noktalara ulaşarak komple bir jel meydana gelir. Sol-jel yöntemi, seramik malzeme üretiminde kullanılan kimyasal bir yöntem olup, cam ürünlerine de uygulanmaktadır [33].



Şekil 3.7 Floresans tabanlı fiber optik gaz sensör yapısı

Şekil 3.7’de gösterilen floresans sensör yapısında görüldüğü gibi 10 cm uzunluğunda 600 µm öz çaplı polimer kaplı silika fiberin kılıfı mekaniksel olarak soyulmuştur. Soyulan fiber öz yapısının 4 cm’lik kısmı sol-jel prosesi ile oksijene duyarlı ince film ile kaplanmıştır.



Şekil 3.8 Fluoresans tabanlı fiber optik gaz sensör sistemi

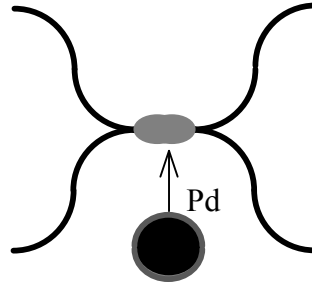
Düşük maliyetli, taşınabilir sistemin uygulanabilirliğini göstermek ve kaplamalı fiberin oksijen hassasiyetini karakterize etmek için şekil 3.8'deki sistem kurulmuştur. Işık kaynağı olarak mavi LED kullanılmıştır. Çıkış işaretinin merkez dalgaboyu 470 nm'dir. Kaplama malzemesinin absorplamasının dalga boyundan bağımsız olması için çıkış sinyali kısa dalga boylu bir optik band geçiren filtreden geçirilip fibere bağlanır. Daha sonra sinyal fiber gaz hücresinin içerisinden geçirilir. Burada kılavuzlanmış ışığın bir kısmı yakalanır ve fiber yapısında sönmülenen alan oluşur. Işık, fotodedektöre gelmeden önce yüksek dalga boylu bir optik band geçiren filtreden geçirilir.

Oksijen oranı % 0 ile % 100 aralığında değişen ölçümler yapılmıştır. Geliştirilen bu sensör tipi ile yüksek performans elde edilmiştir. Sensörün tepki süresi düşük olup 5 saniyenin altındadır [12].

3.5. Dalgaboyu Bölmeli Çoğullayıcı (WDM) Tabanlı Gaz Sensörü Çalışması

Fiber optik hidrojen sensörlerinin en önemli özelliklerinden birisi, algılanacak olan gazın risk oluşturmadan algılanabilir olmasıdır. Çünkü hidrojen gazı küçük bir elektrik kıvılcımıyla %4 ile %75 yoğunluğunda patlama riskine sahiptir. Genel olarak bu tip fiber optik sensörlerde hidrojen gazının algılanması için algılayıcı eleman olarak paladyum (Pd) kullanılır.

Yapılan bir çalışmada, fiber optik hidrojen sensörü WDM fiber kuplör yapısı içerisinde oluşturulmuştur [13]. WDM fiber kuplörü, eritme metodu ile üretilmiş ve kuplaj bölgesi ince bir Pd filmi ile kaplanmıştır (şekil 3.9).

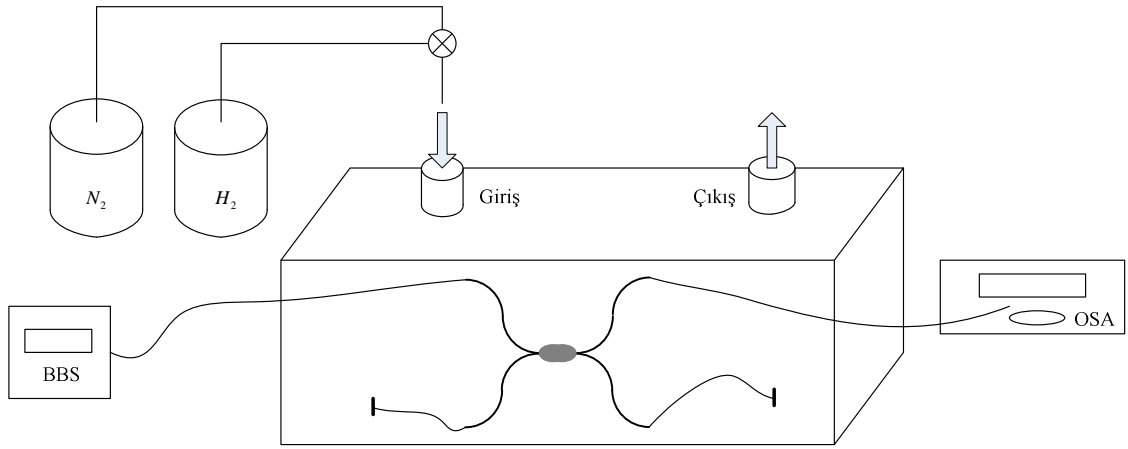


Şekil 3.9 WDM tabanlı fiber optik gaz sensörünün temel yapısı

WDM kuplör için 9/125 μm çaplı tek modlu fiberler kullanılmıştır. WDM kuplörde ışık kuplörün giriş portundan enjekte edilir ve çıkış portundan kuplör oranı gözlemlenir. Doğru kuplör oranı yakalandığında, birleştirme süreci tamamlanır. Daha sonra elektron huzmeli buharlaştırıcı ile vakum tüpünde paladyum erimiş bölgeye uygulanır. Çok ince kalınlıktaki paladyum katmanı, WDM kuplörün sadece bir tarafında biriktirilir.

Kuplaj bölgesinde ışık, fiberin çekirdek ve hava sınırı arasında kılavuzlanır. Yani, fiberin çekirdeği öz gibi, hava da çekirdek gibi davranır. Kaplama yapıldıktan sonra hidrojen gazının sensörle etkileşmesine göre sınırdaki paladyumun kırılma indisinde değişimler meydana gelir ve silikanın çekirdeği ile paladyum kaplamasının sınır şartları değişir. Böylelikle basit ve etkili bir fiber optik hidrojen gaz sensörü yapılmış olur.

Bu kaplama sonucunda WDM kuplörün iletim spektrumu incelendiğinde, kaplama yapılmadan önceki spektruma göre rezonans dalga boyunun daha ileri bir dalga boyuna kaydığı ve kanal çözünürlüğünün belirgin bir şekilde azaldığı gözlenir. Bu ölçümlerdeki kaplamanın kalınlığı 5 nm ve uzunluğu 1 mm'dir.



Şekil 3.10 WDM tabanlı fiber optik gaz sensör sistemi

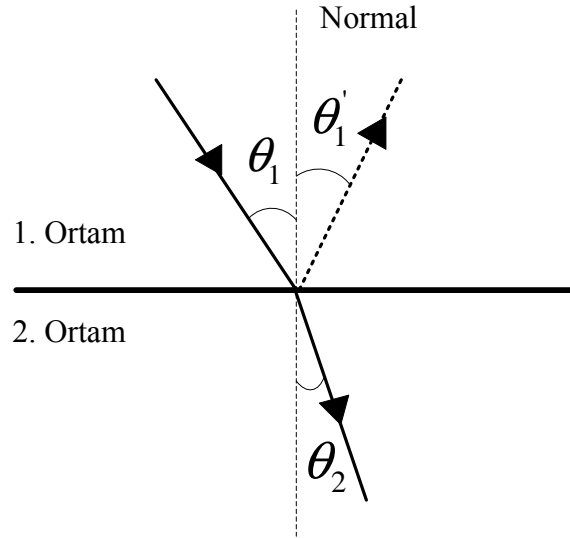
Şekil 3.10'da görülen deneysel düzenekte kullanılan kaynak geniş bantlı bir optik kaynaktır ve merkez dalga boyu 1550 nm'dir. Dakikada 100 cc gaz pompalayan pompa ile her beş saniyede bir %4 hidrojen ve %100 nitrojen pompalanır. Aynı anda optik spektrum analizörde ölçüm sonucu gözlemlenir. Yapılan ölçümlere göre optik güç spektrumunda merkez dalga boyunda kaymalar meydana gelmiştir. Referans merkez dalga boyu ile maksimum kaymış spektrumdaki dalga boyu arasındaki kayma miktarı 0.13 nm'dir. Ayrıca sensörün tepkime süresi 30 saniye civarındadır. Sensör, kaplamanın kalınlığına ve kuplör oranına bağımlılık göstermiştir. Sonuçlara göre sensörün hassasiyeti yüksek değildir. Daha yüksek hassasiyet için ince kaplamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Ama bu da daha yavaş tepki süresine neden olacaktır. Sensörün verimli şekilde çalışmış olup tekrarlanabilirliği ispatlanmıştır [13].

4. FİBER OPTİK YANSIMA TIPLİ UÇUCU ORGANİK BİLEŞEN SENSÖRÜ

Geliştirilen fiber optik uçucu organik bileşen (volatile organic compound, VOC) sensöründeki kaplama malzemesinin kimyasal buhar ile tepkimeye girmesi sonucu fiberin uç kısmında gerçekleşen interferometrik yansımalarda değişim meydana gelmektedir.

4.1. Fresnel Yansımaları

Kırılma indisi birbirinden farklı n_1 ve n_2 olan iki ortamda ışık bir ortamdan diğerine geçerken hızı her iki ortamda da farklı olduğu için kırınımına uğrar. Işık ışını sınıra çarpınca bir kısmı yansır, bir kısmı da ikinci ortama geçer. İkinci ortama geçen ışın sınır koşullarına bağlı olarak bükülür. İşte bu bükülme olayına ışığın kırılması denir (şekil 4.1) [14-15].



Şekil 4.1 Işığın kırınımı

Işık kırınımı sonrasında gücünde de değişiklik meydana gelmektedir. Gelen gücün bir kısmı yansarak geri dönerken, bir kısmı da diğer ortama iletilir. Bu noktada yansıma gücü (R) ve iletim gücü (T) Fresnel denklemlerinden faydalanılarak hesaplanır. Yansıma katsayısı;

$$R = \left(\frac{n_1 \cos \theta_1 - n_2 \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2} \right)^2 \quad (2)$$

Enerji dönüşümünden dolayı iletim katsayısı ise ;

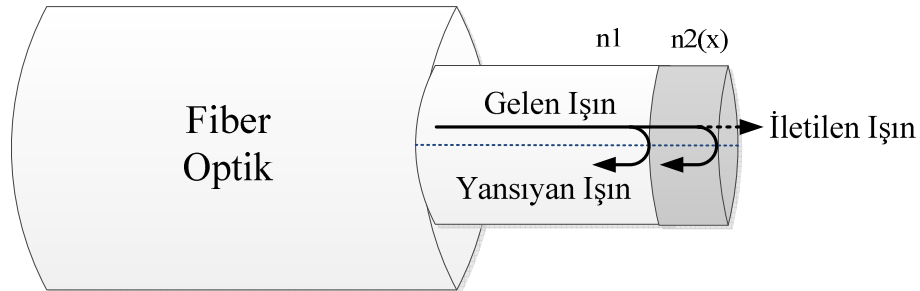
$$T = 1 - R = \frac{4n_1n_2}{(n_1 + n_2)^2} \quad (3)$$

şeklindedir [14].

Genel olarak cam hava ara yüzeyi yapısında Fresnel yansımaya katsayısı %4 civarındadır. Işık iki veya daha fazla yüzey arasında yansımaya maruz kaldığı zaman ışık hüzmeleri arasında etkileşim gerçekleşir. Etkileşim, yüzeyler arasındaki mesafenin ışığın koherent uzunluğundan küçük ya da eşit olduğu durumlarda görülmektedir. Buna bağlı olarak, ışığın yansımaya ve iletim güçleri dalga boyuna bağımlı olmaktadır. Beyaz ışık kaynağı için birkaç mikrometre olan bu aralık, lazer kaynağında daha fazla olmaktadır. Bu tür etkileşimler, Fresnel denklemlerine dayalı transfer-matris yöntemi veya Rourad yöntemi ile analiz edilebilir [32].

4.2. Sensörün Çalışma Prensibi

Tasarlanan fiber optik uçucu organik bileşen sensörde ise fiber optik konnektörün uç kısmı bir gaz algılayıcı malzeme ile kaplanarak şekil 4.2’de gözüktüğü gibi kırılma indisleri farklı (n_1 ve n_2) olan bir yapı oluşturulmaktadır.



Şekil 4.2 Tasarlanan sensörün temel yapısı

Işık kaynağından yayılan ve optik fiberde iletilen ışın demeti farklı kırılma indislerinden oluşan ortamda kırılmaya maruz kalır. Kırılma öncelikle fiberin silika kısmından kaplamaya geçerken gerçekleşir. Işığın bir kısmı ara yüzeyden geri yansırken diğer kısmı kaplamaya geçer. Kimyasal buharın kaplama malzemesinde soğurulmasıyla malzemenin kırılma indisinde

değişim gerçekleşir. Bu kırınım miktarında silika kısmının kırılma indisi (n_1) sabit olduğu için kaplama malzemesinin kırılma indisi (n_2) yansımaya katsayısında belirleyici olur. Ayrıca kaynaktan çıkan ışığın geliş açısı da sabittir.

Yansımaya katsayısı (R) formül 4'te gözüktüğü gibi ortamların kırılma indisleri (n_1 ve n_2) ile gelme ve yansımaya açılara bağlıdır.

$$R = \frac{n_1 \cos \theta_1 - n_2(x) \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_1 + n_2(x) \cos \theta_2} \quad (4)$$

Diğer bir kırınım ise, kaplama malzemesinin kırılma indisi n_2 ile dış ortamın kırılma indisi ($n_{dış}$) farklı olduğundan, kaplama ve dış ortam arasında gerçekleşir. Bu kırınım da dış ortamın kırılma indisi değeri $n_{dış}$ sabit olduğundan malzemenin kırılma indisi n_2 yansımaya katsayısının da belirleyicisi olmaktadır.

$$R = \frac{n_2(x) \cos \theta_1 - n_{dış} \cos \theta_2}{n_2(x) \cos \theta_1 + n_{dış} \cos \theta_2} \quad (5)$$

Yansımaya katsayısının değişmesi sonucu yansıyan ışık miktarının gücünde de değişiklik meydana gelmektedir.

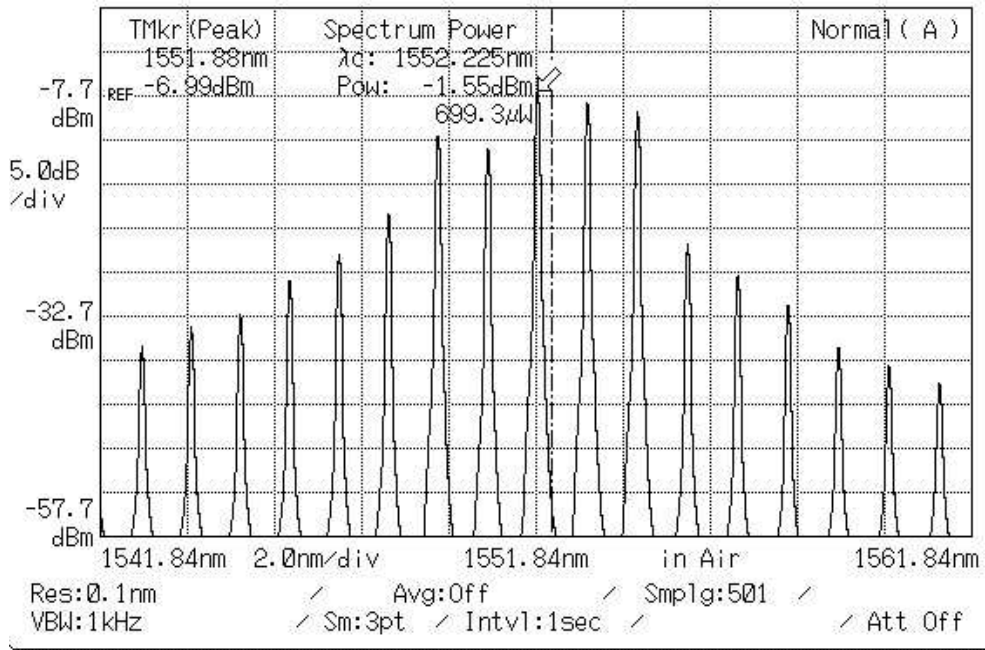
$$P_{yansıyan} = P_{iletilen} \cdot R \quad (6)$$

Algılanan gazın cinsi ve miktarı değiştikçe, kaplamanın kırılma indisi değişmekte, bu da toplam yansıyan gücü etkilemektedir. Tasarlanan bu sensörde, algılanan gazın cinsi ve miktarının değiştirilmesiyle Fresnel ve interferometrik yansımaya bağlı olarak yansıyan güçteki değişimin gözlemlenmesi amaçlanmıştır [16].

5. FİBER OPTİK YANSIMA TIPLİ UÇUCU ORGANİK BİLEŞEN SENSÖRÜ DENEYSEL DÜZENEK ELEMANLARI

5.1. Lazer

Işık kaynağı olarak OZ Optics firmasının 1552 nm’de çalışan bir Fabry-Perot (FP) lazer içeren kararlı fiber optik lazer kaynağı kullanılmıştır. Kaynağın optik çıkış gücü yaklaşık 1mW (0 dBm) civarındadır. Güç kararlılığı ± 0.05 dB’dir. Kaynağın sürekli dalga modu (CW), 270 Hz, 1 kHz ve 2 kHz frekanslı dahili modülasyon modları bulunmaktadır. Ayrıca kaynağa harici TTL modüleli sinyal girişi uygulanabilmektedir. Yapılan ölçümlerde lazerin sürekli dalga üreten modu (CW) kullanılmıştır. Üretilen işaretin band genişliği ise 1,5 nm olmaktadır [17].

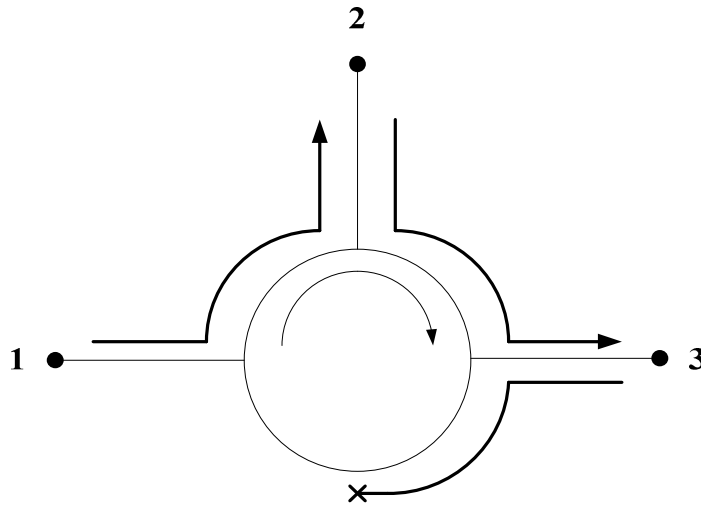


Şekil 5.1 1552 nm’de çalışan kararlı fiber optik lazer kaynağın spektrumu

5.2. Sirkülatör

Çift yönlü optik sinyal iletiminde kullanılan optik aygıtların en önemlilerin başında optik sirkülatörler gelmektedir. Bu pasif aygıtlar genelde 3 veya daha fazla porta sahip olup portlar arasında tek yönlü iletim gerçekleşmektedir. Sirkülatörün yapısı incelendiğinde bitişik portların bir optik izolatör gibi davrandığı görülür. İzolatörler, ışığın yalnızca bir yönde iletimine izin veren optik aygıtlardır. İzolatörün yapısı genellikle fiberin girişindeki optik kaynağa ışığın geri yansımısını ve osilasyona yol açmasını engeller [18].

Optik sirkülatörlerde, bitişik portlarda iletim tek yönlü olduğundan ışıkta yansımadan dolayı osilasyonlar ve istenmeyen güç kayıpları yaşanmamaktadır. Bu özelliğinden dolayı sirkülatörler, kuplörler veya optik bölücü gibi optik aygıtlara göre üstünlük sağlamaktadırlar. Yüksek izolasyon ve düşük ek kayıplarından dolayı yönlendirilmiş veya çift yönlü iletim gereksinimi duyulan fiber optik haberleşme ve sensör uygulamalarında sirkülatörler tercih edilmektedirler [19].



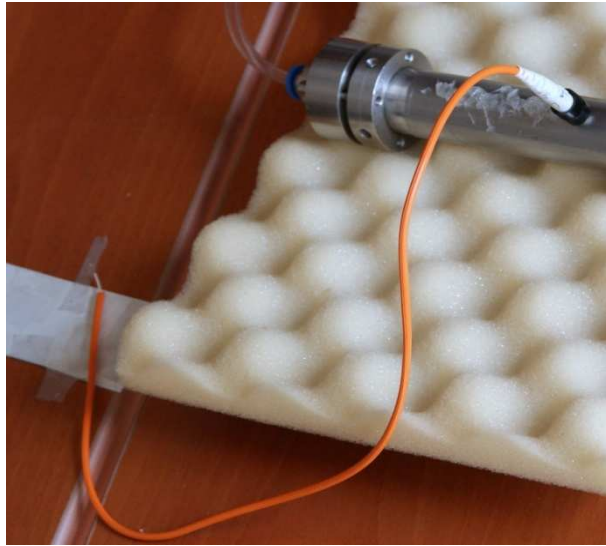
Şekil 5.2 Sirkülatör yapısı

Şekil 5.2’de görülen sirkülatörün çalışma prensibi ışık iletim yönleriyle gösterilmiştir. Sirkülatörün 1. portundan gelen ışık 2. porta aktarılır. Bu iletim tek yönlü olmaktadır. Aynı şekilde 2. porttan gelen ışık 3. porta aktarılmaktadır. Deneysel düzende OZ optics firmasının ürettiği C+L bandında çalışan (1520-1620 nm) geniş band sirkülatörü kullanılmıştır.

Sirkülatörün takip eden 2 portu arasında ölçülen sinyal güç iletim kaybı yaklaşık 1,0 dB'dir. Ayrıca 2 port arası izolasyon ise 40 dB'dir [18].

5.3. Çok Modlu Fiber Optik (MMF)

Pratik haberleşme sistemlerinde kullanılan fiber optiğin öz çapı 9 μm , çok modlu fiber optik kablolar incelendiğinde öz çapı 50 μm veya 62,5 μm 'dir [20]. Bu sayede çok modlu fiber (MMF) optik kabloların öz çapı daha büyük olduğu için iletilen ışığın alan çapı da büyük olmaktadır. Çok modlu ST konektörün yüzeyine kaplanılan malzeme öz bölgesinde daha geniş bir alana yayılmakta ve böylelikle kimyasal uçucu buhar ile tepkimeye girecek sensör yüzey alanı da çok daha büyük olmaktadır. Bu sayede sensör yapısının gaz algılama duyarlılığı daha yüksek olmaktadır.



Şekil 5.3 Kullanılan çok modlu fiber optik kablo

Bu sebeplerden dolayı deneysel düzenekte sensör yapısı için şekil 5.3'teki 62,5/125 μm çok modlu dereceli indis fiber kablo ve bu kablo ucuna monteli ST konektör yapısı tercih edilmiştir.

5.4 .Optik Güç Metre

Sensörden yansıyan ışık miktarını ölçmek için OZ Optics firmasının şekil 5.4'te görülen optik güç metresi kullanılmıştır. Bu cihaz, μW , mW , Watt, dBm ve dB cinsinden optik güç ölçümünü zayıflatıcısız olarak 0 ile -70 dBm arasında yapabilmektedir. Çalışma dalga boyu aralığı kızılötesi (IR) sensör için 500 ile 1700 nm arasındadır. Ölçüm değerlerini 4 digit şeklinde 0.01 dB çözünürlükle göstermektedir. Örnekleme oranı 20 Hz'dir. Sensör başlığı ölçüm cihazına kablo ile bağlı olup SC, ST ve FC optik konnektörleri bağlanabilmektedir [21]. Yapılan ölçümler dBm cinsinden 1550 nm'de gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.4 Optik güç metre

5.5. Hava Torbası

Ölçüm için gereken gazlı ve kuru hava ortamını oluşturmak için şekil 5.5'te gözüken SKI marka örnek hava torbası kullanılmıştır. Bu örnek hava torbaları, gaz ve havadaki buharları sorunsuz bir şekilde muhafaza etmek için bu tür uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır.

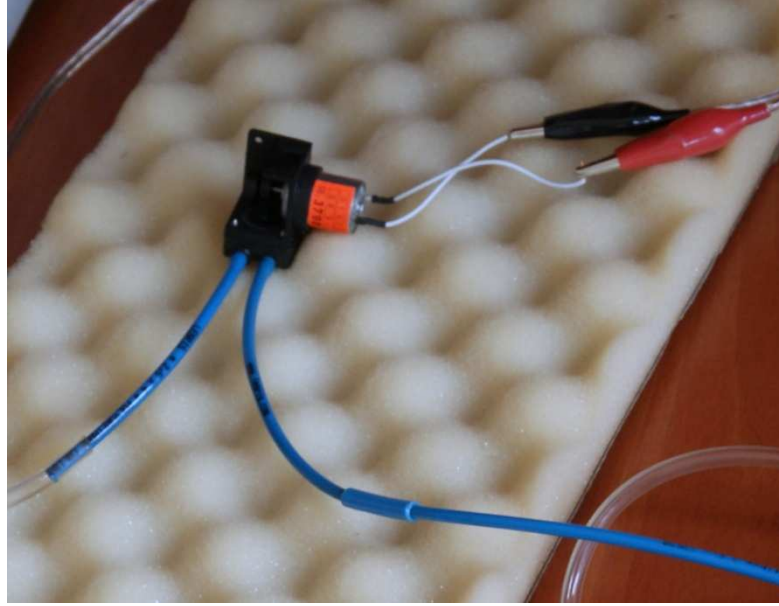
Torbanın kararlılığını test etmek için farklı uçucu organik bileşenler (VOC) ile deneyler yapılmıştır. Bu testlerde, içinde kuru hava bulunan torbaya, önceden yoğunluğu bilinen uçucu organik bileşenler sırayla enjekte edilmiştir. 1. ve 2. gün sonunda torbadan 100 µL örnekler alınarak gaz kromatografide ölçümler yapılmıştır. Bu sonuçlara göre, ilk günün sonunda torbadaki uçucu organik bileşenlerinin yoğunluğunun ortalama olarak % 90'ın üstünde korunduğu gözlenmiştir. İkinci gün sonunda ise korunma oranı ortalama olarak % 85 civarında çıkmıştır. Deneysel ölçümlerde kullandığımız VOC bileşenlerinin korunma yüzdeleri genel olarak bu ortalamalar civarında olmaktadır [22].



Şekil 5.5 Örnek hava torbası

5.6. Pompa

Deneysel düzenekte hava akışını sağlamak için şekil 5.6'da görülen bir pompa kullanılmaktadır. Pompa düzenekte, hava torbası ile hava depolama prototipi arasına bağlanmıştır.



Şekil 5.6 Pompa

5.7. Hava Depolama Prototipi

TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezinde (MAM) imal edilen bu prototip, silindir şeklinde olup iç kısmının çapı 4 cm, uzunluğu 15 cm ve yaklaşık 750 cm^3 hacminde hava depolamaktadır. Yapının her iki uç tarafında hava giriş ve çıkışı için 8 mm çaplı delikler bulunmaktadır. Üzerinde sensör yerleştirilmek için açılmış 6 tane delik bulunmaktadır. Bu deliklerin 5 tanesi daha sonra kullanılmak üzere silikon ile kapatılmıştır. Prototip, 4 sensörlü bir sensör dizisi oluşturabilmek için uygun bir yapıda imal edilmiştir. Şekil 5.7'de hava depolama prototipi görülmektedir.



Şekil 5.7 Hava depolama prototipi

6. ALGILAYICI KAPLAMA MALZEMELERİ

Deneysel düzenekte kullanılan MM fibere optik ST konnektörün sensöre dönüştürülebilmesi için konnektörlerin uç yüzeyleri çizelge 6.1’de verilen çeşitli algılayıcı malzemeler ile kaplanmıştır.

Çizelge 6.1 Kullanılan kaplama malzemeleri

Sensör	Kaplama Türü
Sensör-1	PVP
Sensör-2	CuPc
Sensör-3	H ₂ Pc
Sensör-4	CoPc

6.1 Kaplamanın Yapımı

Kaplama işlemine başlamadan önce konnektörün uç yüzeyi alkol, aseton, kloroform gibi çözücü malzemeler ile temizlenmiştir. Temiz yüzeye, kaplanılacak kimyasal malzeme özel ince uçlu enjektör yardımıyla damlatılır. Daha sonra konnektörün uç yüzeyi, UV ışığa tutulur ve kaplamanın kurumması beklenir. Kuruma bittikten sonra, ikinci kat için aynı kimyasaldan bir kez daha damlatılır ve tekrar UV ışığa tutulup kurumması beklenilir. İkinci kattan sonra konnektörün uç yüzeyi büyüteç yardımıyla incelenir. Malzemenin, yüzeye özellikle öz bölgesine homojen bir şekilde dağılmış olmasına ve içinde hava kabarcığının olmamasına dikkat edilir. Oda sıcaklığında ve normal nem oranlarında gerçekleştirilen bu işlemlerin ardından sensör kullanıma hazır hale gelir (şekil 6.1/2/3/4).

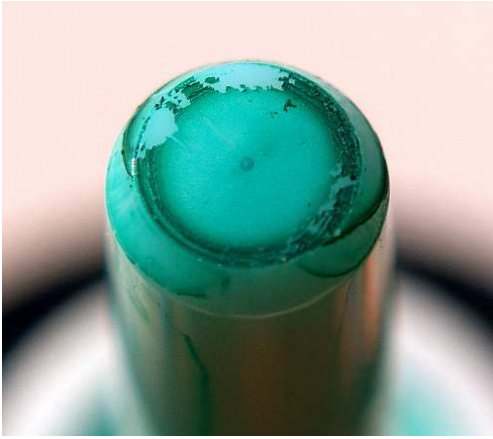
Çizelge 6.1’de verilen 4 farklı kimyasal malzeme, kaplama malzemesi olarak kullanılmıştır. Bunlardan 3 tanesi Ftalosiyanın içeren malzemelerdir. Diğerisi ise polimer yapıdaki bir malzemedir. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi’nde geliştirilen bu ürünler patentli olup özel sentezleme sonucunda elde edilmişlerdir.



Şekil 6.1 Sensör-1



Şekil 6.2 Sensör-2



Şekil 6.3 Sensör-3



Şekil 6.4 Sensör-4

6.2. Ftalosiyanın ve Uygulama Alanları

Ftalosiyanın bileşikleri, 20. yüzyılın başlarında bir rastlantı sonucu ortaya çıkmıştır. Yapısı çok sağlam olan bu maddelerin renkleri koyu mavi ve koyu yeşilin çeşitli tonlarıdır. Organik yapıdaki bu madde yarı iletken özelliğine de sahiptir. Işığa, ısıya ve çözücülere karşı dayanıklı olduğundan uzun yıllar kimyada boyar madde olarak kullanılmışlardır [23].

Günümüzde yapılan çalışmalarda metali ve metalsiz ftalosiyanınlar farklı alanlarda araştırılmış ve başarılı pratik uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Kısaca bu uygulama alanları şu şekildedir [23];

- Fotokopi makinelerinde foto iletken eleman
- Gaz sensörlerinde sensör yüzeylerinin kaplanmasında algılayıcı malzeme
- Özellikle CD/DVD yapılarında optik veri depolama elemanı
- Kanseri için tedavi ve tanı tekniği olan fotodinamik terapide (PDT) fotosensitizer yani ışığa duyarlı madde olarak kullanımı
- Nonlineer optik malzeme olarak kullanımı
- Lazer boyalarında boyar madde olarak kullanımı

6.3. Ftalosiyanlı Kaplama Malzemelerinin Optik Özellikleri

6.3.1. CuPc (Bakır Ftalosiyanın)

Düşük maliyete ve faydalı optik özelliklere sahip olmasından dolayı, yüksek performansta opto-elektronik eleman geliştirilmesi için geniş uygulama alanına sahip bir organik malzemedir. Uygulama alanlarının başında [24];

- Alan etkili transistörler (FET)
- Moleküler gaz sensörü uygulamaları
- Organik bellek
- Verimli organik güneş gözeleri gelmektedir.

Literatürde CuPc'nin optik özellikleri incelendiğinde, yapılan bir çalışmada 16,602 nm kalınlığındaki CuPc filminin 1000 nm dalgaboyundan sonra hemen hemen şeffaf hale geldiği, yani çok düşük düzeyde ışığı soğurduğu belirtilmiştir. 1550 nm dalgaboyunda ise ışık geçirgenliği %80 civarındadır. Aynı çalışmada CuPc filminin dalgaboyuna göre kırılma indis değişimi incelenmiştir. 1000 nm dalgaboyundan sonra kırılma indisinin yaklaşık sabit kaldığı, 1550 nm dalga boyunda ise $n=1.9$ civarında olduğu ifade edilmiştir [25].

6.3.2. H₂Pc (Metalsiz Ftalosiyenin)

H₂Pc optik ve elektriksel özelliklerinden dolayı çok ilgi görmektedir. Bu nedenle H₂Pc filmleri gaz sensörleri, optik bellekler gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadırlar [26]. Literatürde 730 nm kalınlığındaki H₂Pc filmin dalgaboyuna bağımlı optik karakteristikleri incelenmiş, 800 nm'den yüksek dalgaboylarında optik geçirgenliğinin %80'den fazla olduğu görülmüştür. Aynı filmin kırılma indis grafiği incelendiğinde 820 nm'ye kadar olan dalgaboylarında yüksek kararsızlık ve kırılma indis değerinde aşırı dalgalanmalar görülmektedir. 820 nm ile 3000 nm dalgaboyu arasında nispeten düzgün ve yavaş bir kırılma indis değişimi görülmektedir. 1550 nm dalga boyundaki kırılma indisine ise yaklaşık $n=2.2$ değerini almaktadır [27].

6.3.3. CoPc (Kobalt Ftalosiyenin)

CoPc ışığa, sıcaklığa, neme ve oksijene karşı mükemmel dayanıklılığı olan bir organik yarı iletken [28]. Son on yılda yapılan araştırmalarda bu materyalin gaz sensörü, optik algılayıcı, optik bellek ve LED yapımı gibi gelişmiş teknolojilerde kullanılabileceği gösterilmiştir. CoPc malzemesinin optik özellikleri incelendiğinde, 500 nm dalgaboyunda kırılma indisine $n=1.4$ civarında iken, 900 nm dalgaboyunda tepe değerine yani $n=3.0$ civarına çıkmaktadır. Bu aralıkta oluşan kırılma indis dalgalanmaları 900 nm'den sonra daha kararlı hale dönüştüğü görülmüştür. 1550 nm dalgaboyundaki kırılma indisine ise $n=2.1$ civarındadır [29].

6.4. Polimerler ve Uygulama Alanları

Son yıllarda PVP, PAV gibi suda çözünen polimerler farklı uygulama alanlarında kullanılmalarından dolayı araştırmalarda özel ilgi görmektedir. Bu polimerler plastik sanayisinde, boya endüstrisinde, ince film kaplamasında ve ağır metal uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Bu polimer filmlerin, geçiş elementleri ve çeşitli iyonlarla etkileşimi kolay olmaktadır.

6.4.1. PVP kaplama malzemesinin optik özellikleri

Mükemmel bir optik geçirgenliğe, kolay işlenebilirliğe ve iyi çevresel kararlılığa sahip PVP, birleşik polimerler arasında özel ilgi gören bir malzemedir. Ayrıca PVP, yük depolama kapasitesi ve optik özellikleri iyi olan bir yapıya sahiptir. Literatürde bu kaplamanın optik özellikleri Cu^{2+} :PVP, Co^{2+} :PVP ve Ag:PVP filmleri için analiz sonuçlarıyla verilmiştir. Genel olarak bu kaplama malzemesinin optik soğurumunun mor ötesi (UV) ışık bölgesinde yüksek olduğu gözlemlenmiştir. 1000 nm'den sonra ise belirgin bir şekilde soğurum azalmakta, 1550 nm dalga boyunda ise saf PVP veya Co^{2+} :PVP soğurumu %25 civarında olmaktadır [30].

7. ALGILANAN UÇUCU ORGANİK BİLEŞENLER

Deneysel çalışmada kullanılan uçucu organik bileşekler Çizelge 7.1’de gözükmektedir. Çizelge 7.1’deki değerlerden de anlaşılacağı gibi genel olarak, kolay buharlaşan, hızlı dağılan bir yapıları vardır [31].

Çizelge 7.1 Kullanılan uçucu organik bileşenler

Uçucu Bileşen	Organik Yoğunluğu	Kırılma İndisi	Buharlaşma Noktası
Asetonitril	0.786 g/mL	1,344	5,5°C
Aseton	0,791 g/mL	1,359	-17,2°C
Kloroform	1,492 g/mL	1,445	-
oXylene	0,88 g/mL	1,504	17°C
Propanal	0,785 g/mL	1,377	11,7°C
Trikloroetilen	1,46 g/mL	1,477	32°C

Asetonitril: Bu renksiz sıvı nitril ailesinde en basit organik olup çok sık olarak kullanılan bir çözücüdür. En geniş kullanım alanı ayırıcı ve çözücü olarak ilaç sektörüdür. Ayrıca kolay ve hızlı bir şekilde buharlaşır.

Aseton: Kokulu, renksiz, akışkan ve uçucu bir sıvıdır. Birçok organik maddeyi eritmekte kullanılan bu sıvı sınıai ve kimyasal önemi olan organik bir çözücüdür.

Kloroform: Ağır, renksiz ve kolay buharlaşan bir sıvıdır. İlaç ve kimya sanayisinde kimyasal işlemlerde kullanılan iyi bir organik çözücüdür. Ayrıca insan vücuduna zarar verici ve zehirleyici bir etkisi vardır.

oXylene: Temiz, renksiz ve suda çözünmeyen bir sıvıdır. İyi bir organik çözücü olup kolay alev alır ve buharlaşır. Genel olarak plastik şişeler ve polyster kıyafetlerin üretiminde kullanılır.

Propanal: Renksiz, yüksek yanıcılığa sahip, kolay buharlaşabilen organik bir çözücüdür. Güçlü asit, baz ve oksitlerle bağ kurabilirler.

Trikloroetilen: Çeşitli organik materyaller için etkili bir çözücüdür. Uzun yıllar otomatik film makinelerinde temizleyici olarak kullanılmıştır. Ayrıca kuru temizleme endüstrisinde de kullanılır [31-32].

TÜBİTAK'tan alınan referans ppm miktarlarına göre uçucu organik bileşen sıvılarının ppm gaz miktarları için gerekli olan sıvı miktarları hesaplanmıştır. Bu miktarlar çizelge 7.2'de gösterilmiştir.

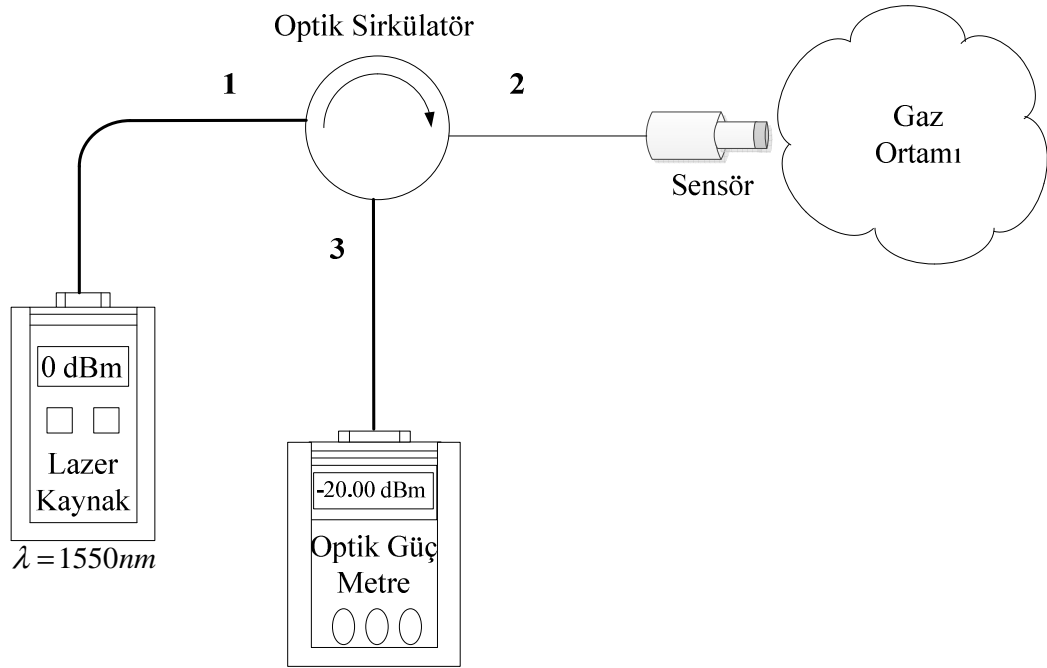
Çizelge 7.2 Ppm gaz miktarları için gereken uçucu organik bileşen miktarları

Uçucu Organik Bileşen	μL				
	<i>250 ppm</i>	<i>500 ppm</i>	<i>1000 ppm</i>	<i>2000 ppm</i>	<i>4000 ppm</i>
Asetonitril	24	48	96	192	384
Aseton	30	60	120	240	480
Kloroform	33	66	132	264	528
oXylene	49.25	98.5	197	394	785
Propanal	30.75	61.5	123	246	492
Trikloroetilen	35.75	71.5	143	286	572

8. DENEYSSEL DÜZENEK ve ÇALIŞMA PRENSİBİ

Deneysel düzenek şekil 8.1’de görülmektedir. Sirkülatörün 1. portuna lazer kaynağı, 2. portuna sensör, 3.portuna da optik güç metre bağlanmıştır. Bu düzeneğin temel olarak çalışması şu şekildedir;

- 1. portta bulunan lazer kaynak çıkış sinyali sirkülatör üzerinden 2. porttaki sensöre ulaşır.
- Sensör uçucu organik bileşen ile tepkimeye girer. Bu tepkime sonrasında, başta Fresnel yansımaları olmak üzere interferometrik yansımalar ile sensörün uç kısmından yansıyan ışık miktarı değişir.
- Yansıyan ışık sirkülatörün 2. portundan 3. portuna ulaşır. Bu portta bulunan optik güç metre, yansıyan ışığın gücünü ölçer [33].

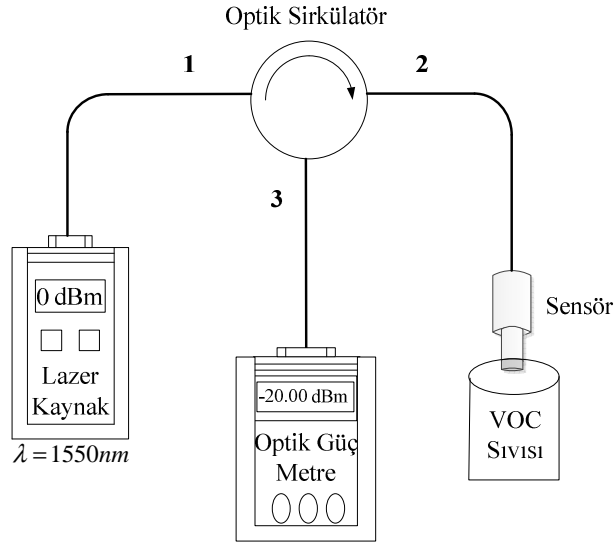


Şekil 8.1 Deneysel düzenek temel yapısı

Yapılan kaplamalar sonucunda geliştirilen sensör yapısı ilk olarak, mevcut uçucu organik bileşenlere karşı tepkisinin olup olmadığı bir ön çalışma ile test edilmiştir. Daha sonra

sistem geliştirilerek uçucu organik bileşenlerin farklı ppm seviyeleri için duyarlılıkları ve seçicilikleri test edilmiştir.

8.1. Ön Çalışma Deneysel Düzenegi



Şekil 8.2 Ön çalışma deneysel düzenegin şematik gösterimi

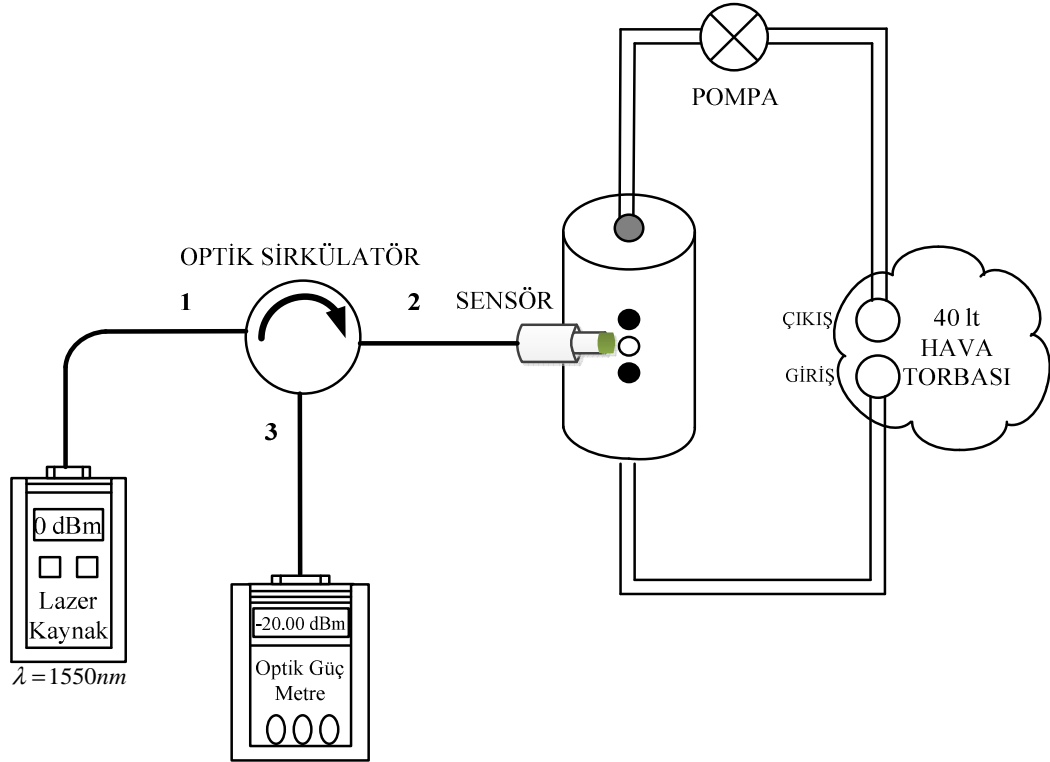
Bu ön çalışma ile, geliştirilen sensörlerin mevcut uçucu organik bileşenlere karşı tepkisinin olup olmadığı şekil 8.2'deki gözüken deneysel düzenek ile test edilmiştir. Sensör ile ilk olarak temiz hava ortamında yansıyan güç ölçümü yapılmıştır. Daha sonra sensöre, şekil 8.3'deki gibi konnektörün başlığına temas etmeyecek şekilde uçucu organik bileşenin sıvısının bulunduğu cam şişe dik olarak yaklaştırılır. Optik güç metredeki güç değişimi sabitleninceye kadar beklenir. Bu işlemden sonra cam şişe uzaklaştırılır, tekrar ölçüm yapılabilmesi için sensörün eski haline gelmesi beklenilir. Bu iki ölçüm arasındaki güç farkı bulunarak ($P_{HAVA} - P_{GAZ}$) VOC ile değişen bağıl güç değişimi elde edilir.



Şekil 8.3 Cam şişe ile ölçüm

Bu ön çalışmada, dört farklı sensör için beş farklı uçucu organik bileşen karşı ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin doğruluğunu ve tekrarlanabilirliğini artırmak için her bir ölçüm farklı zaman dilimlerinde en az üç defa tekrarlanmıştır. Bütün ölçümler laboratuarda oda sıcaklığında yapılmıştır.

8.2. Geliştirilmiş Deneysel Düzenek



Şekil 8.4 Geliştirilmiş deneysel düzeneğin şematik gösterimi

Bu düzenekte sensörün ölçüm yapacağı kısmı değiştirilerek torbalı sisteme geçilmiştir. 40 lt hava torbası, mevcut hava depolama prototipine esnek borular yardımıyla bağlanmıştır. Hava torbasının çıkış deliği ile hava depolama prototipinin giriş deliği arasına pompa konularak düzgün bir hava akışı sağlanmıştır. Hava depolama prototipinin üst kısmında bulunan deliklerden bir tanesi açık bırakılıp diğerleri silikon yardımıyla kapatılmıştır. Bu açık deliğe de şekil 8.4’de görüldüğü gibi konnektörün uç kısmı dik bir şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 8.5 Sistemin genel yapısı

Ölçümlere başlamadan önce hava torbasının içi kuru hava ile doldurulup boşaltılmıştır. Bu işlem 3 defa tekrarlanarak içerideki tüm kimyasal buharın atılması sağlanmıştır. Daha sonra ölçülmek istenen ppm gaz miktarına göre uçucu organik bileşenin sıvısı çizelge 7.2’teki değere göre enjektör yardımıyla içi kuru hava dolu torbaya enjekte edilmiştir. Böylelikle gaz ortamı oluşturulmuş olunur.

Ölçüm yapılırken ilk olarak pompanın girişine içi kuru hava dolu torba bağlanır. Pompa 3,5 voltta 30 saniye çalıştırılarak hava depolama prototipinin tamamının hava ile dolması sağlanır. Bu durumda iken yaklaşık 3 dakika beklenir ve sensörün tepkisi gözlemlenir. Daha sonra pompanın girişine gazlı ortamı oluşturulan hava torbası bağlanır. Pompa ilk durumla aynı gerilim ve sürede çalıştırılarak hava depolama prototipinin içinin uçucu organik bileşenli hava ile dolması sağlanır. Daha sonra ilk durumdaki gibi yine yaklaşık 3 dakika beklenerek sensörün tepkisi gözlemlenir. Bu iki durum sonrasında ölçülen değerler arasındaki fark alınarak ($P_{HAVA} - P_{GAZ}$) sensörün o ppm gaz değerine göre bağlı güç değişimi hesaplanır.

Bu ölçümler her bir sensör ile çizelge 7.1’de verilen bütün uçucu organik bileşenler için ayrı ayrı yapılmıştır. Uçucu organik bileşenlerin hesaplanan her ppm değeri için farklı zaman dilimlerinde ölçümler en az 4 defa tekrarlanmıştır.

9. DENEYSEL SONUÇLAR

9.1. Ön Çalışma Sonuçları

Geliştirilen sensör yapılarıyla elde edilen ön çalışmada, farklı zaman dilimlerinde dört farklı sensör tipi için 5 farklı uçucu organik bileşene karşı gösterilen tepkiler gözlemlenmiştir.

9.1.1. Sensör-1

Sensör-1 ile yapılan ölçüm sonuçlarına göre tüm uçucu organik bileşenler için çizelge 9.1’de gözüktüğü gibi bağıl güç değişimi pozitif çıkmıştır. En yüksek tepki değerine oXylene ve en düşük tepki değerine propanal sahiptir. Sensör-1 tüm uçucu organik bileşenlere karşı farklı ve ayırık duyarlılık göstermiştir. Böylelikle ayırt edici şekilde davrandığı anlaşılmıştır.

Çizelge 9.1 Sensör-1 için ön çalışma sonuç değerleri

Uçucu Bileşen	Organik	dB			
		Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ortalama
Aseton		5,72	7,78	8,61	7,37
Asetonitril		2,00	1,69	3,57	2,42
oXylene		17,88	19,29	18,20	18,45
Propanal		0,95	0,77	0,80	0,84
Trikloroetilen		4,54	4,55	1,62	3,57

9.1.2 Sensör-2

Sensör-2 ile gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarına göre tüm uçucu organik bileşenler için çizelge 9.2’de görüldüğü gibi bağıl güç değişimi pozitif çıkmıştır. Tepki değerleri oXylene, kloroform ve trikloroetilen için yüksek, asetonitril ve propanal için düşük çıkmıştır. Trikloroetilen ve oXylene için değerler birbirine yakın olsa da genel olarak tepki değerleri birbirinden farklıdır. Bu sonuçlarla sensör-2’nin ayırt edici şekilde davrandığı anlaşılmıştır.

Çizelge 9.2 Sensör-2 için ön çalışma sonuç değerleri

Uçucu Bileşen	Organik	dB			
		Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ortalama
Aseton		10,03	8,80	4,70	7,84
Kloroform		12,84	17,13	16,92	15,63
oXylene		17,16	21,39	19,78	19,44
Propanal		0,54	0,34	0,51	0,46
Trikloroetilen		17,18	16,78	20,55	18,17

9.1.3. Sensör-3

Sensör-3 ile yapılan ölçüm sonuçlarına göre, bağıl güç değişimi çizelge 9.3'de gözüktüğü gibi asetonitril, oXylene ve trikloroetilen için negatif, kloroform ve propanal için pozitif çıkmıştır. Tepki değerleri asetonitril ve oXylene için yüksek değerdedir. Kloroform, propanal, ve trikloroetilen için tepki değerleri düşük düzeydedir ve birbirine yakın çıkmıştır. Bazı uçucu organik bileşenler için sensör-3 yakın duyarlılık gösterse de genel olarak ayırt edici şekilde davrandığı anlaşılmıştır.

Çizelge 9.3 Sensör-3 için ön çalışma sonuç değerleri

Uçucu Bileşen	Organik	dB			
		Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ortalama
Asetonitril		-5,00	-2,63	-4,4	-4,01
Kloroform		0,50	0,68	0,71	0,63
oXylene		-14,12	-15,85	-17,15	-15,70
Propanal		0,50	0,67	0,85	0,67
Trikloroetilen		-0,20	-0,37	-0,85	-0,47

9.1.4. Sensör-4

Sensör-4 ile gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarına göre tüm uçucu organik bileşenler için çizelge 9.4'te gözüktüğü gibi bağıl güç değişimi negatif çıkmıştır. oXylene için tepki değerleri düşük düzeydedir. Diğer uçucu organik bileşenler için sonuçlar yüksek ve birbirinden ayırık çıkmıştır. Bu sebeple sensör-4'ün ayırt edici şekilde davrandığı anlaşılmıştır.

Çizelge 9.4 Sensör-4 için ön çalışma sonuç değerleri

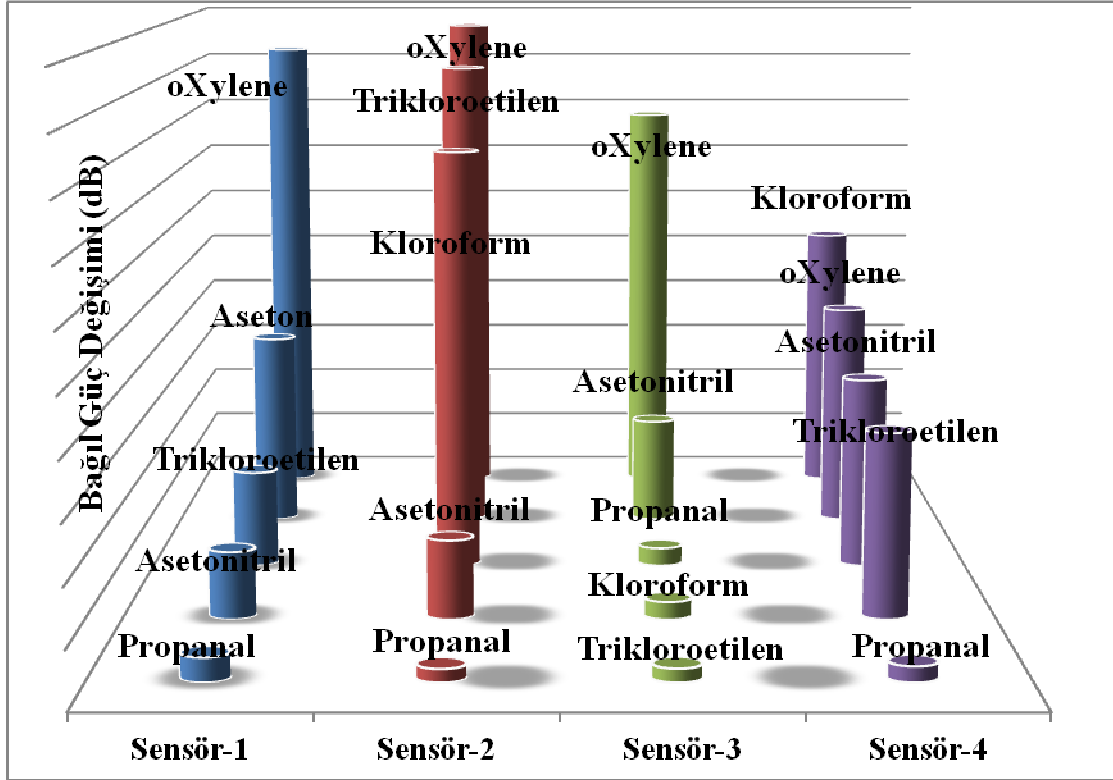
Uçucu Organik Bileşen	dB			
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ortalama
Asetonitril	-7,30	-8,30	-5,70	-7,10
Kloroform	-8,80	-12,60	-10,30	-10,56
oXylene	-0,47	-0,70	-0,47	-0,54
Propanal	-8,37	-8,78	-8,49	-8,54
Trikloroetilen	-8,05	-8,00	-3,90	-6,65

9.1.5. Ön çalışma için genel değerlendirme

Şekil 9.1'de negatif sonuçların mutlak değeri alınarak sensörlerin uçucu organik bileşenlere karşı verdiği tüm tepkiler birlikte grafiksel olarak gösterilmiştir. Sensör-3 propanal, kloroform ve trikloroetilen için birbirine yakın sonuçlar göstermiştir. Sensör-4'te ise propanal dışındaki uçucu organik bileşenlere karşı yakın tepki değerleri çıkmıştır. Sensör-1 ve sensör-2'de ise daha ayırık sonuçlar gözlemlenmiştir. Bu sebeple genel olarak, sensörler kullanılan uçucu organik bileşenlere karşı seçici davranmışlardır.

Şekil 9.1'de görüldüğü gibi tüm sensörlerde hemen hemen oXylene en yüksek, propanal da en düşük değerde tepki vermiştir. Ayrıca şekil 9.1 incelendiğinde sensör duyarlılıkları, farklı uçucu organik bileşenler için birbirine yakın olsa da aralarında farklılıklar bulunmaktadır.

Tüm bunlar ışığında geliştirilen yansıma tipli fiber optik VOC sensörlerinin çeşitli uçucu organik bileşenlere karşı duyarlılıklarının ve seçiciliklerinin farklı olması, onların ayrımsal bir tepkiye sahip olduğu sonucunu doğurmaktadır. Ayrıca geliştirilen ince film yapılarının VOC belirlemede sensör olarak kullanılabilirleri anlaşılmaktadır.



Şekil 9.1 Sensörlerin çeşitli VOClara verdiği tepkilerin kıyaslamalı grafiksel gösterimi

9.2. Geliştirilmiş Deneysel Düzenekte Elde Edilen Sonuçlar

9.2.1. Sensör-1

Asetonitril

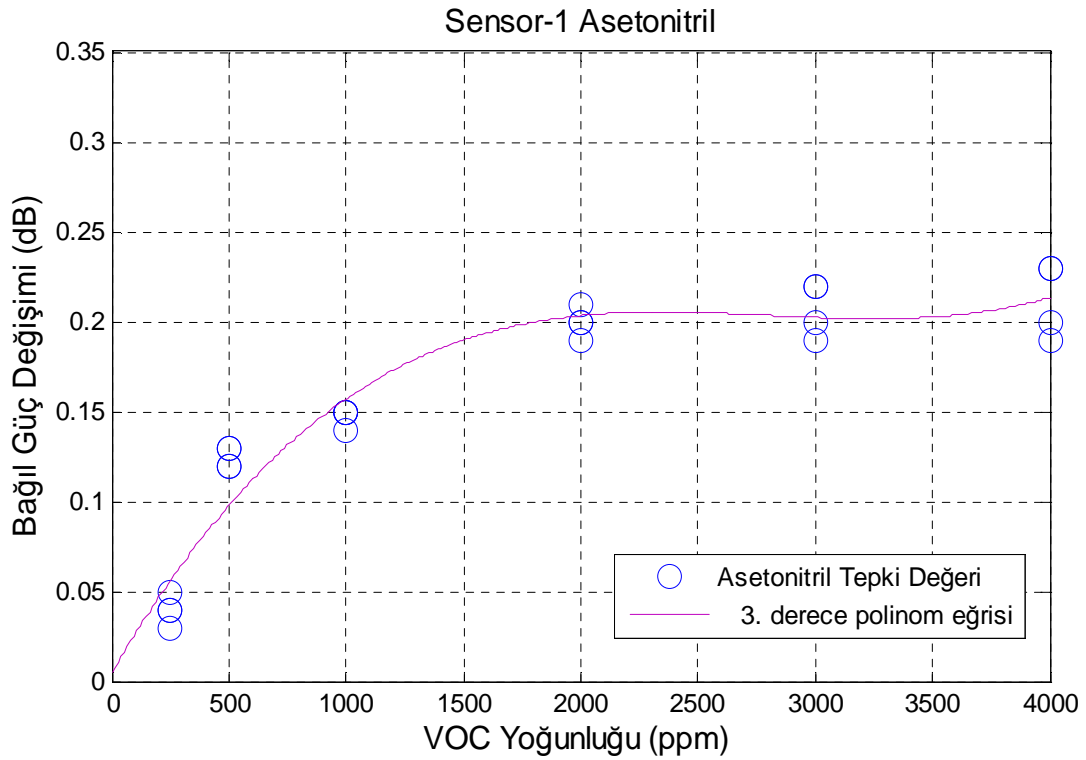
Sensör-1'in asetonitril için verdiği tepkiler ölçüm yapılan farklı miktarlar için çizelge 9.5'te görülmektedir. Bu sensörün asetonitril tepkisinde bağlı güç değişimi negatif çıkmıştır. Sensör uçucu organik bileşene karşı hızlı ve kararlı bir şekilde tepki vermektedir. Ölçülen değer kısa sürede eski haline gelmektedir.

Genel olarak her ppm gaz miktarında ortalama tepki değerleri farklılık göstermektedir. 500-1000 ppm miktarlarında tepki değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Ayrıca 2000 ile 4000 ppm miktarı için 2 değer aynı çıkmıştır. 2000 ve 4000 ppm dışında sensör genel olarak seçici davranmıştır.

Çizelge 9.5 Sensör-1'in asetonitril için tepki değerleri

Miktar (ppm)	dB						
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
250	-0,04	-0,03	-0,04	-0,05	-0,04	-0,03	-0,05
500	-0,12	-0,13	-0,13	-0,12	-0,125	-0,13	-0,12
1000	-0,15	-0,15	-0,14	-0,15	-0,1475	-0,14	-0,15
2000	-0,20	-0,20	-0,19	-0,21	-0,20	-0,19	-0,21
3000	-0,19	-0,22	-0,20	-0,22	-0,2075	-0,19	-0,22
4000	-0,20	-0,23	-0,19	-0,23	-0,2125	-0,19	-0,23

Ölçüm sonuçlarına göre ppm gaz miktarına bağlı bağlı güç değişimi için elde edilen 3. derece polinom eğrisi şekil 9.2'de görülmektedir. Tepki yaklaşık 2000 ppm miktarına kadar lineer sayılabilecek bir şekilde artmaktadır. Daha sonra tepki doyuma ulaşmaktadır.



Şekil 9.2 Sensör-1'in asetonitrile tepkisi ve yaklaşık 3. derece polinom eğrisi

Aseton

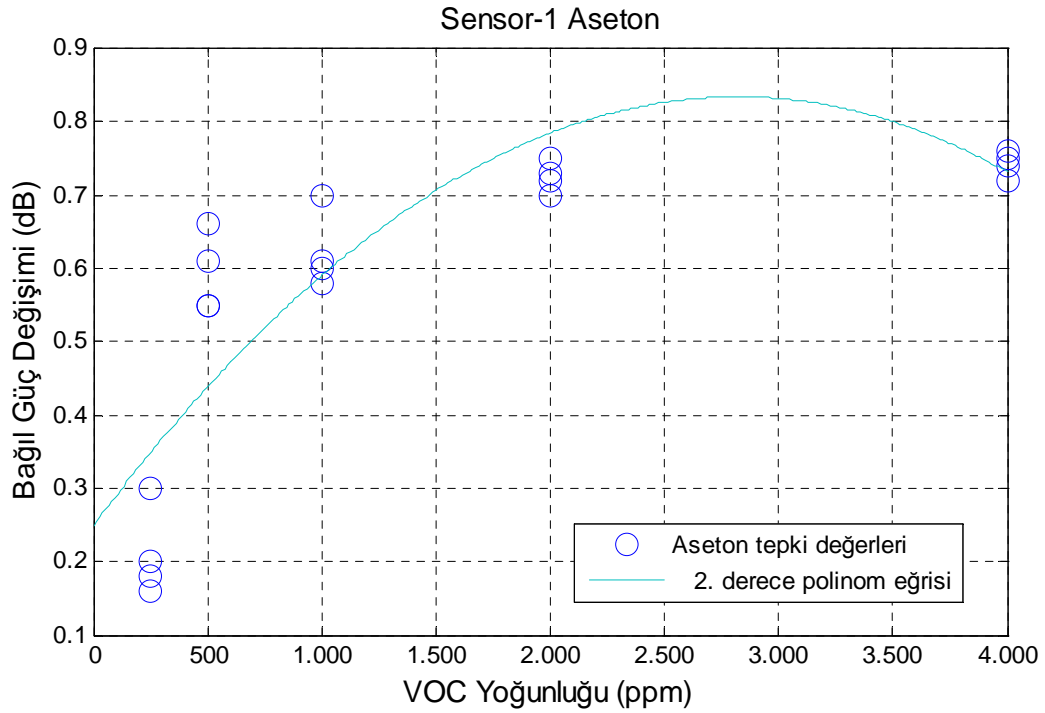
Sensör-1'in aseton için verdiği tepkiler ölçüm yapılan farklı miktarlar için çizelge 9.6'da görülmektedir. Bu sensörün aseton tepkisinde bağıl güç değişimi pozitif çıkmıştır. Sensör-1 uçucu organik bileşenlere karşı çok hızlı tepki vermiştir. Ancak ölçüm sırasında tepkinin kararlılığa ulaşması diğer uçucu organik bileşenlere göre daha uzun sürmüştür.

Ölçüm sonucunda 500 ppm ve 1000 ppm ile 2000 ppm ve 4000 ppm miktarları için yakın tepki değerleri elde edilmiştir. Tepkilerin ortalama değerleri birbirinden farklılık göstermektedir. Ancak 1000 ppm için ölçülen bir değer 2000 ppm için aynı çıktığı gibi 500 ppm için de aynı çıkmaktadır. Aynı durum 2000 ppm içinde geçerlidir. Bu yüzden bu sensörün aseton için seçiciliği düşüktür.

Çizelge 9.6 Sensör-1'in aseton için tepki değerleri

Miktar (ppm)	dB						
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
250	0,20	0,18	0,30	0,16	0,21	0,18	0,30
500	0,55	0,61	0,55	0,66	0,5925	0,55	0,61
1000	0,58	0,61	0,60	0,70	0,6225	0,58	0,70
2000	0,72	0,70	0,75	0,73	0,725	0,70	0,75
4000	0,74	0,72	0,76	0,75	0,7425	0,72	0,76

Alınan sonuçlara göre ppm gaz miktarına bağlı bağıl güç değişimi için çizdirilen 2. dereceden polinom eğrisi şekil 9.3'de görülmektedir. Eğri yaklaşık olarak 2000 ppm miktarına kadar lineer bir değişim göstermekte iken 2000 ppm noktasından sonra 4000 ppm ile benzer sonuçlar gösterdiğinden doyuma ulaşmaktadır.



Şekil 9.3 Sensör-1'in asetona tepkisi ve yaklaşık 2. derece polinom eğrisi

oXylene

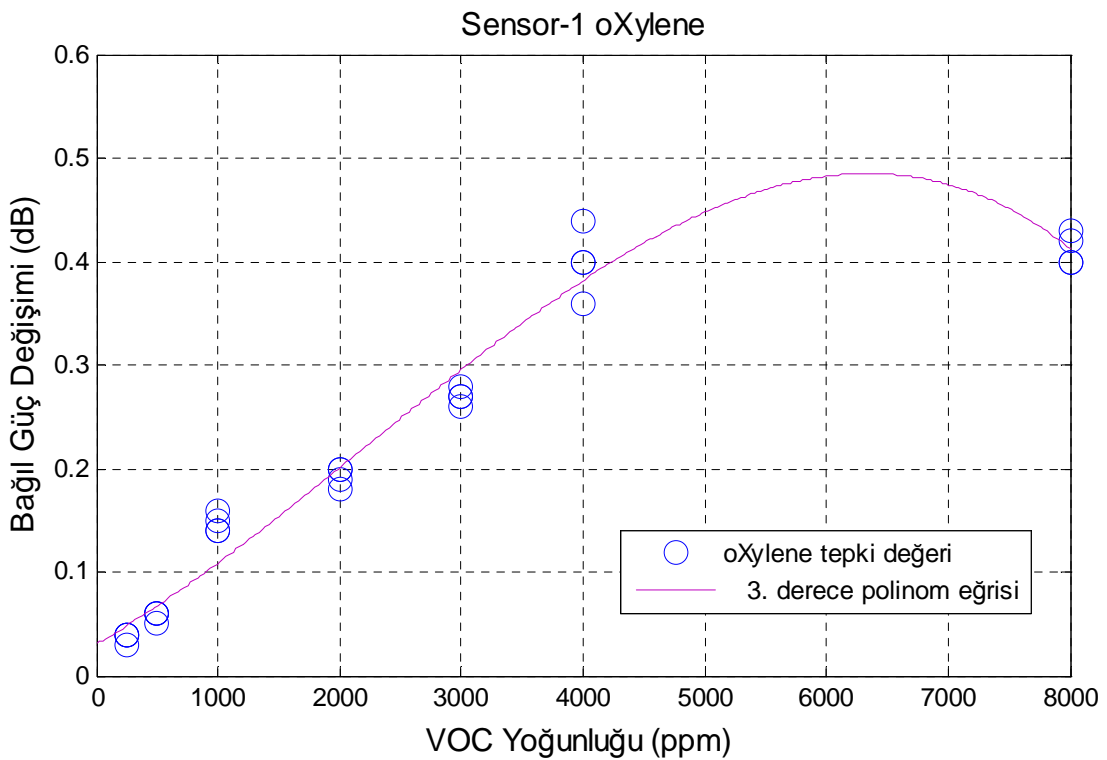
Sensör-1'in oXylene için verdiği tepkiler ölçüm yapılan farklı miktarlar için çizelge 9.7'de görülmektedir. Bu sensörün oXylene tepkisinde bağıl güç değişimi pozitif çıkmıştır. Sensör uçucu organik bileşene karşı hızlı ve kararlı şekilde tepki vermiştir.

Çizelge 9.7 Sensör-1'in oXylene için tepki değerleri

Miktar (ppm)	dB						
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
250 ppm	0,03	0,04	0,04	0,04	0,0375	0,03	0,04
500 ppm	0,06	0,06	0,05	0,06	0,0575	0,05	0,06
1000 ppm	0,14	0,15	0,14	0,16	0,1475	0,14	0,16
2000 ppm	0,20	0,20	0,18	0,19	0,1925	0,18	0,20
3000 ppm	0,28	0,26	0,27	0,27	0,27	0,26	0,28
4000 ppm	0,40	0,40	0,44	0,36	0,4	0,36	0,44
8000 ppm	0,40	0,42	0,43	0,40	0,4125	0,40	0,43

Ölçüm sonucunda 250 ppm ve 500 ppm miktarlarındaki değerler yakın çıkmıştır. Ancak bütün ppm miktarları için genel olarak ölçülen değerler birbirinden farklı çıkmıştır. Bu sebepten dolayı sensör-1 oXylene uçucu organik bileşenine karşı seçici davranmıştır.

Alınan sonuçlara göre ppm gaz miktarına bağlı bağlı güç değişimi için çizdirilen 3. dereceden polinom eğrisi şekil 9.4’de görülmektedir. Eğriye göre ppm gaz miktarına göre bağlı güçteki değişim 4000 ppm bölgesine kadar lineer bir şekilde artış gösterirken, daha sonra doyuma ulaşmış şekilde davranmaktadır.



Şekil 9.4 Sensör-1’in oXylene tepkisi ve yaklaşık 3. derece polinom eğrisi

Propanal

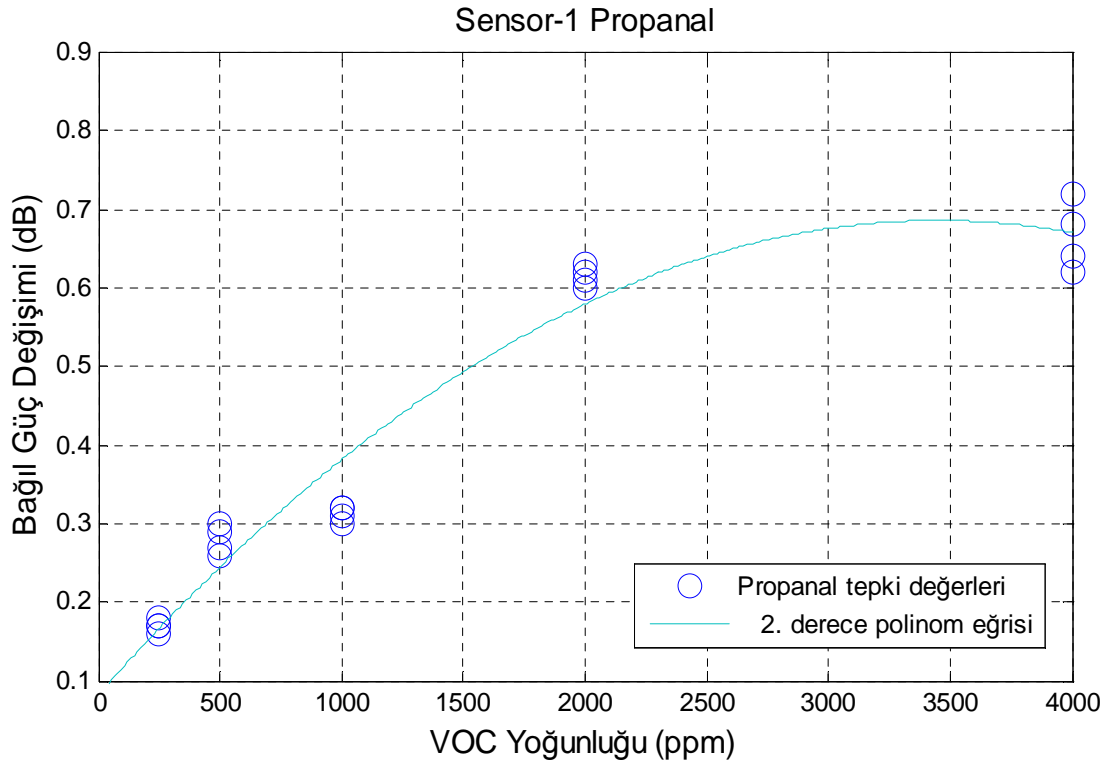
Sensör-1’in propanal için verdiği tepkiler ölçüm yapılan farklı miktarlar için çizelge 9.8’de görülmektedir. Bu sensörün propanal tepkisinde bağlı güç değişimi pozitif çıkmıştır. Sensor uçucu organik bileşene karşı hızlı ve kararlı tepki vermiştir.

Ölçüm sonucunda tüm ppm gaz miktarlarında değerler birbirinden farklı çıkmıştır. Sadece 500 ppm ve 1000 ppm ile 2000 ppm ve 4000 ppm için birer değer aynı çıkmıştır. Genel olarak sensör bu uçucu organik bileşene karşı seçici davranmıştır.

Çizelge 9.8 Sensör-1'in propanal için tepki değerleri

Miktar (ppm)	dB						
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
250	0,17	0,16	0,18	0,17	0,17	0,16	0,18
500	0,26	0,30	0,29	0,27	0,28	0,26	0,30
1000	0,32	0,32	0,30	0,31	0,3125	0,30	0,32
2000	0,62	0,61	0,60	0,63	0,615	0,60	0,63
4000	0,64	0,72	0,62	0,68	0,665	0,62	0,82

Alınan sonuçlara göre ppm gaz miktarına bağlı bağlı güç değişimi için çizdirilen 2. dereceden polinom eğrisi şekil 9.5'de görülmektedir. Eğriye göre bağlı güçteki değişim, 2000 ppm bölgesine kadar lineere yakın bir şekilde artış göstermektedir. 2000 ppm ile 4000 ppm miktarlarındaki değişim az olduğundan sensör doyuma ulaşmaktadır.



Şekil 9.5 Sensör-1'in propanala tepkisi ve yaklaşık 2. derece polinom eğrisi

Trikloroetilen

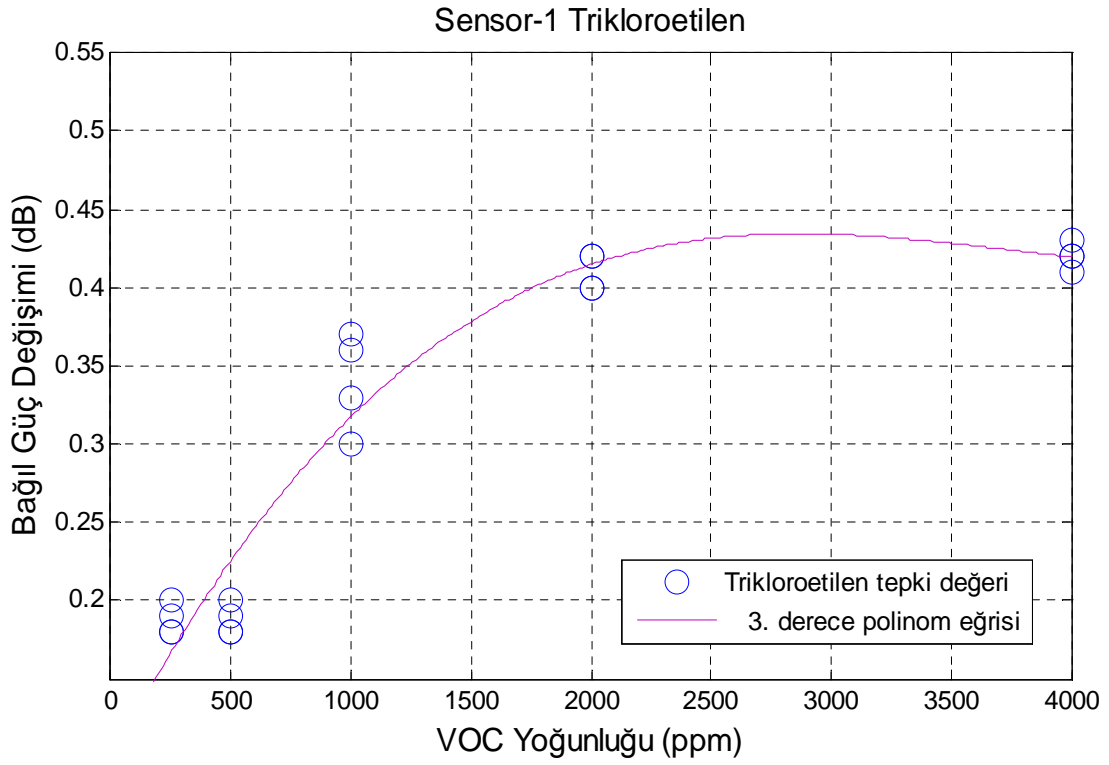
Sensör-1'in trikloroetilen için verdiği tepkiler ölçüm yapılan farklı miktarlar için çizelge 9.9'da görülmektedir. Bu sensörün trikloroetilen tepkisinde bağıl güç değişimi pozitif çıkmıştır. Sensor uçucu organik bileşene karşı hızlı tepki vermiştir. Ölçülen değer kısa sürede eski haline gelmektedir.

Çizelge 9.9 Sensör-1'in trikloroetilen için tepki değerleri

Miktar (ppm)	dB						
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
250	0,18	0,19	0,18	0,20	<i>0,1875</i>	<i>0,18</i>	<i>0,20</i>
500	0,18	0,19	0,18	0,20	<i>0,1875</i>	<i>0,18</i>	<i>0,20</i>
1000	0,30	0,36	0,33	0,37	<i>0,34</i>	<i>0,30</i>	<i>0,37</i>
2000	0,42	0,40	0,40	0,42	<i>0,41</i>	<i>0,40</i>	<i>0,42</i>
4000	0,43	0,42	0,41	0,42	<i>0,42</i>	<i>0,41</i>	<i>0,43</i>

Ölçüm sonucunda 250 ppm ve 500 ppm için değerler aynı çıkmıştır. Ayrıca 2000 ppm ve 4000 ppm için çok yakın değerler ölçülmüştür. Bu yüzden sensör trikloroetilene karşı istenildiği gibi seçici davranmamıştır.

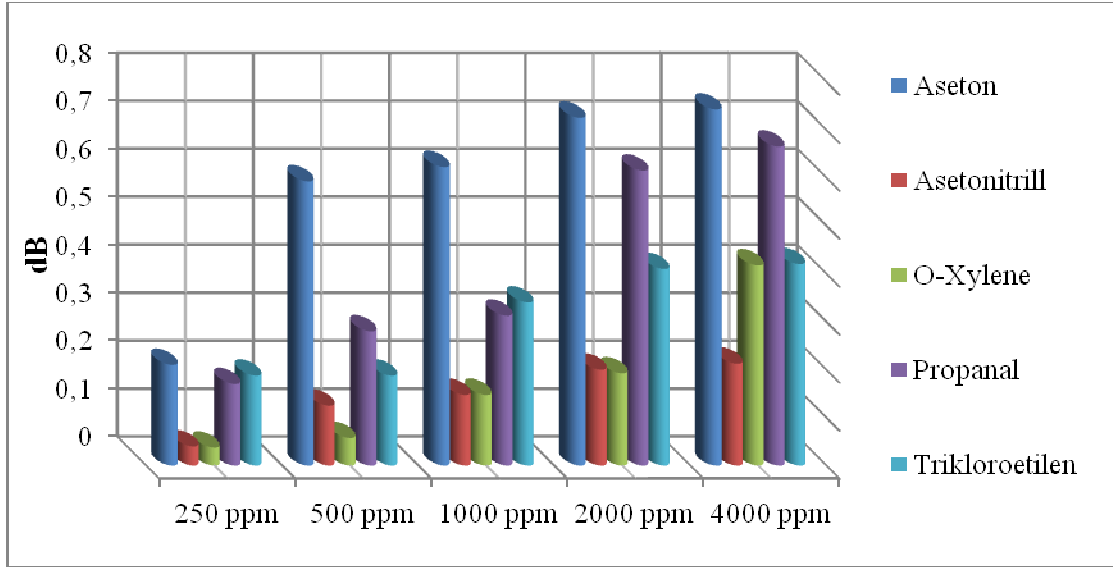
Alınan sonuçlara göre ppm gaz miktarına bağlı bağlı güç değişimi için çizdirilen 3. dereceden polinom eğrisi şekil 9.6'da görülmektedir. 250 ppm ve 500 ppm miktarlarında aynı tepki değerlerine sahip olduğundan o bölgedeki değişim çok az düzeydedir. Eğri 500 ppm ile 2000 ppm arasında lineere benzer bir değişim göstermiştir. 2000 ppm ve 4000 ppm miktarlarında da yakın tepki değerlerine sahip olduğundan bu bölgede doyuma ulaşmaktadır.



Şekil 9.6 Sensör-1'in trikloroetilene tepkisi ve yaklaşık 3. derece polinom eğrisi

Sensör-1 için Genel Değerlendirme

Sensör-1 ölçüm için kullanılan tüm uçucu organik bileşenlere karşı tepki vermiştir. Sensörün tepki süresi kısadır. Bağıl güç değişimi asetonitril dışında tüm uçucu organik bileşenlerde pozitif çıkmıştır. Şekil 9.7'de gözüktüğü gibi en yüksek tepki değerlerine propanal ve aseton sahiptir.



Şekil 9.7 Sensör-1 için tüm sonuçların grafiksel gösterimi

Tepkiler genel olarak ppm gaz miktarına bağlı olarak artış şeklindedir. En yüksek tepki ortalaması propanal ve aseton için görülmüştür. Asetonitril için ise en düşük düzeyde tepki alınmıştır. Asetonitril ve oXylene için 250 ppm, 1000 ppm ve 2000 ppm, oXylene ve trikloroetilen için ise 4000 ppm miktarlarında yakın sonuçlar alınmıştır. Genel olarak tepki değerleri birbirinden farklı olmuştur.

Diğer taraftan grafikler incelendiğinde, ppm miktarına bağlı olarak bağlı güç değişimi oXylene bileşeni için lineere yakın bir şekilde artmaktadır. Diğer uçucu organik bileşenler için 2000 ppm civarına kadar lineer artan eğri daha sonra doyuma ulaşmaktadır.

9.2.2. Sensör-2

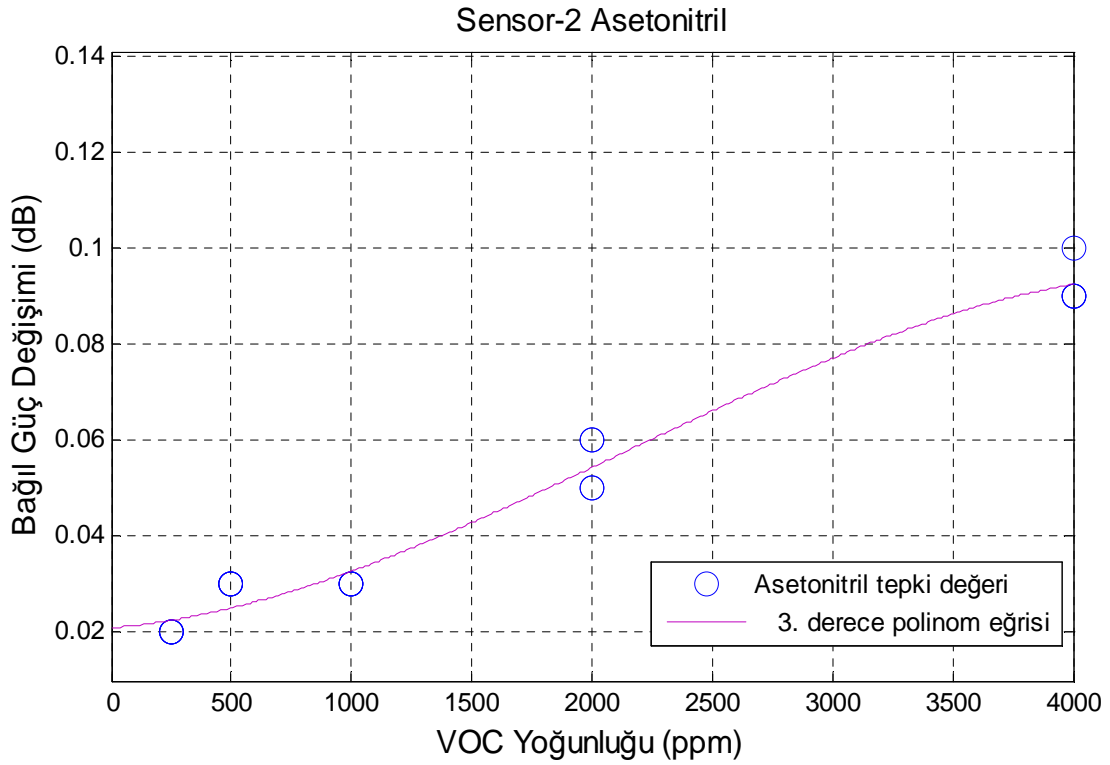
Asetonitril

Sensör-2'in asetonitril için verdiği tepkiler ölçüm yapılan farklı miktarlar için çizelge 9.10'da görülmektedir. Bu sensörün asetonitril tepkisinde bağlı güç değişimi pozitif çıkmıştır. Ayrıca bu uçucu organik bileşene karşı hızlı tepki vermiştir.

Çizelge 9.10 Sensör-2'nin asetonitril için tepki değerleri

Miktar (ppm)	dB						
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
250	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
500	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
1000	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
2000	0,05	0,06	0,05	0,06	0,055	0,05	0,06
4000	0,09	0,10	0,09	0,09	0,0925	0,09	0,10

Ölçüm sonucunda 500 ppm ve 1000 ppm miktarlarındaki tepki değerleri aynı çıkmıştır. 250 ppm miktarında ise bu değere çok yakın bir değerdedir. Sensör-2 genel olarak tepki değerleri birbirine yakın, ppm gaz miktarına bağlı olarak artış göstermiştir. Alınan sonuçlara göre ppm gaz miktarına bağlı bağlı güç değişimi için çizdirilen 3. dereceden polinom eğrisi şekil 9.8'de görülmektedir. Eğri 500 ppm ve 1000 ppm bölgesi dışında lineere yakın bir karakteristik göstermektedir. Ölçülen değerler yakın ve aynı sonuçlar içerdiğinden sensör tam olarak seçici bir şekilde davranmamıştır.



Şekil 9.8 Sensör-2'nin asetonitrile tepkisi ve yaklaşık 3. derece polinom eğrisi

Kloroform

Sensör-2'nin kloroform için verdiği tepkiler ölçüm yapılan farklı miktarlar için çizelge 9.11'de görülmektedir. Bu sensörün kloroform tepkisinde bağıl güç değişimi negatif çıkmıştır. Ayrıca sensör bu uçucu organik bileşene karşı çok düşük ve yavaş bir tepki yapısına sahiptir. 250 ppm miktarı dışındaki diğer tüm miktarlarda aynı sonuçlar alınmıştır. Ayrıca 250 ppm miktarı için ölçülen değerde bu değere çok yakındır. Bu yüzden sensör-2 kloroform için ayırt edici davranmamıştır.

Çizelge 9.11 Sensör-2'nin kloroform için tepki değerleri

Miktar (ppm)	dB						
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
250	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
500	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
1000	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
2000	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
4000	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03

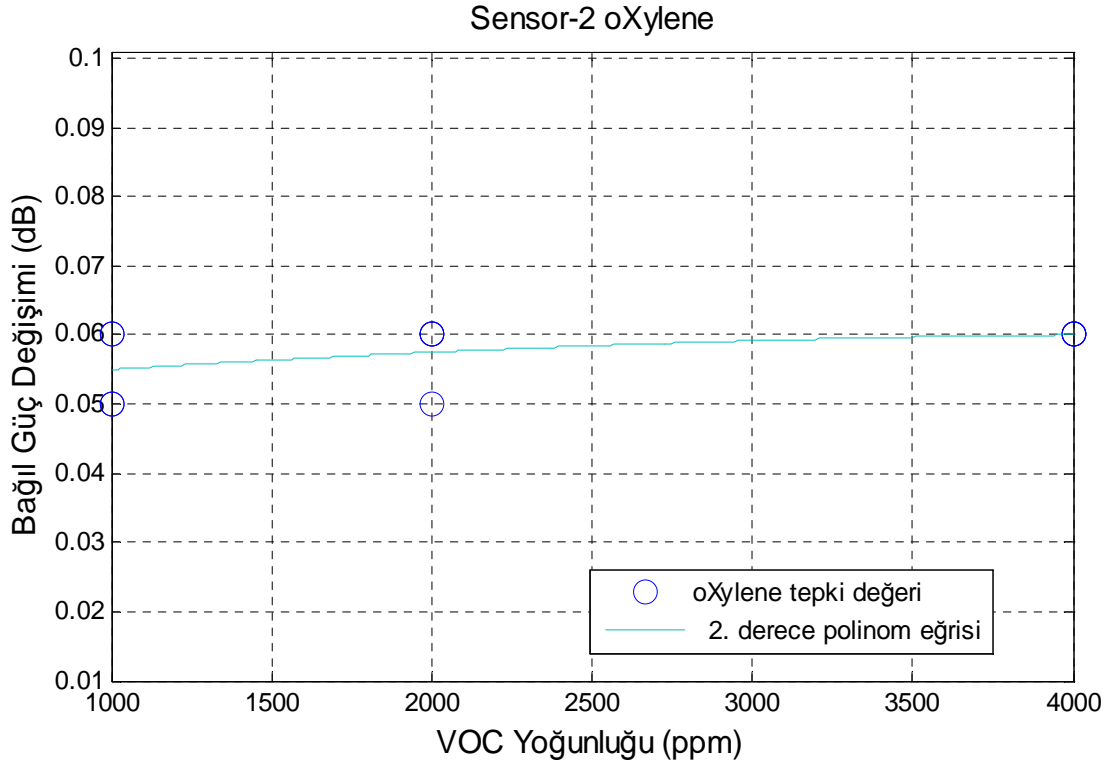
oXylene

Sensör-2'nin oXylene için verdiği tepkiler ölçüm yapılan farklı miktarlar için çizelge 9.12'de görülmektedir. Bu sensörün oXylene tepkisinde bağıl güç değişimi negatif çıkmıştır. Sensör-2 oXylene karşı hızlı sayılabilecek bir tepki göstermiştir.

Çizelge 9.12 Sensör-2'nin oXylene için tepki değerleri

Miktar (ppm)	dB						
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
250	0	0	0	0	0	0	0
500	0	0	0	0	0	0	0
1000	-0,06	-0,06	-0,05	-0,05	-0,055	-0,05	-0,06
2000	-0,05	-0,06	-0,06	-0,06	-0,0575	-0,05	-0,06
4000	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06

Ölçüm sonucunda tepki alınan 1000 ppm, 2000 ppm ve 4000 ppm miktarlarındaki değerler birbirine çok yakın hatta bazı ölçümlerde aynı çıkmıştır. Genel olarak incelediğinde sensör düşük ppm miktarlarında (250 ppm ve 500 ppm) tepki vermezken, tepki alınan diğer ölçümlerde aynı değerlerin ölçüldüğü görülmektedir. Alınan sonuçlara göre ppm gaz miktarına bağıl bağıl güç değişimi için çizdirilen 2. dereceden polinom eğrisi şekil 9.9'da görülmektedir. Eğrideki değişim yok sayılacak kadar az olduğundan sensör-2 oXylene karşı seçici davranmamıştır.



Şekil 9.9 Sensör-2'nin oXylene tepkisi ve yaklaşık 2. derece polinom eğrisi

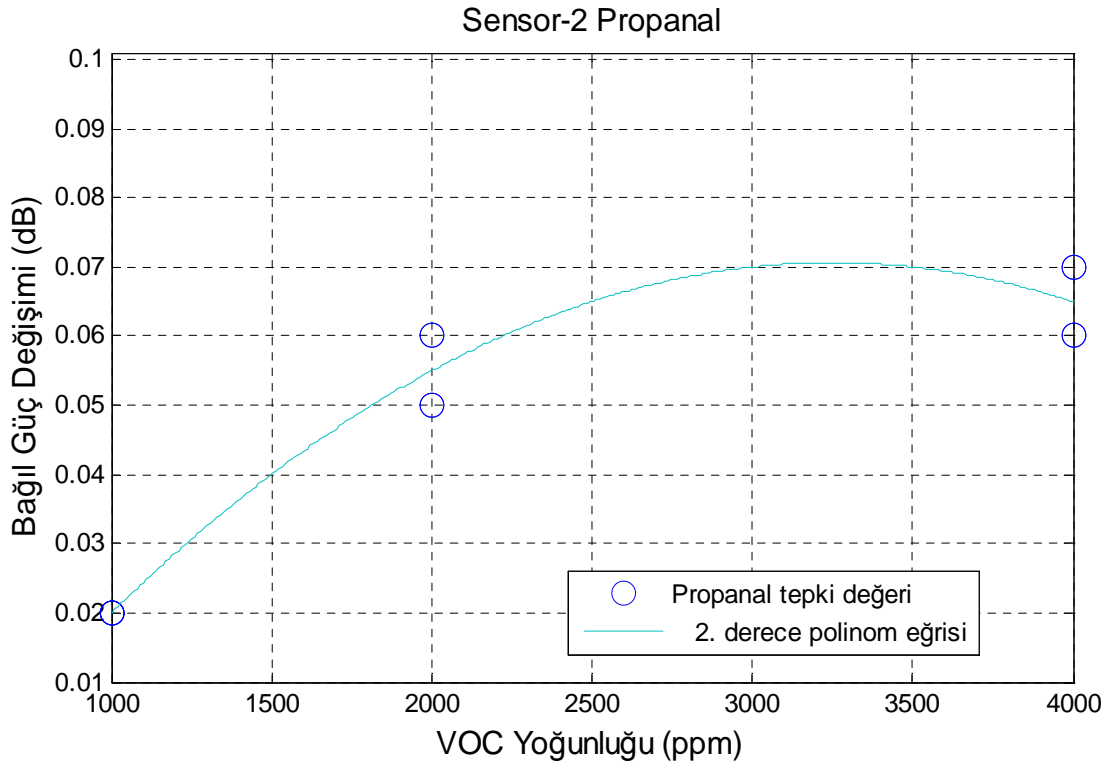
Propanal

Sensör-2'nin propanal için verdiği tepkiler ölçüm yapılan farklı miktarlar için çizelge 9.13'de görülmektedir. Bu sensörün propanal tepkisinde bağıl güç değişimi pozitif çıkmıştır. Diğer uçucu organik bileşenlere göre daha yavaş tepki alınmıştır.

Çizelge 9.13 Sensör-2'in propanal için tepki değerleri

Miktar (ppm)	dB						
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
250	0	0	0	0	0	0	0
500	0	0	0	0	0	0	0
1000	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
2000	0,05	0,06	0,06	0,05	0,055	0,05	0,06
4000	0,07	0,06	0,06	0,07	0,065	0,06	0,07

Ölçüm sonucunda 250 ppm ve 500 ppm miktarlarında tepki alınmazken 2000 ppm ve 4000 ppm miktarları için birbirine yakın sonuç değerleri çıkmıştır. Alınan sonuçlara göre ppm gaz miktarına bağlı bağlı güç değişimi için çizdirilen 2. dereceden polinom eğrisi şekil 9.10'da görülmektedir. 2000 ppm ve 4000 ppm miktarlarında birbirine yakın tepki değerleri olduğu için eğrinin o bölgelerde değişmeyen bir yapısı vardır. Sensör-2 propanal için tam olarak seçici davranmamıştır.



Şekil 9.10 Sensör-2'nin propanal tepkisi ve yaklaşık 2. derece polinom eğrisi

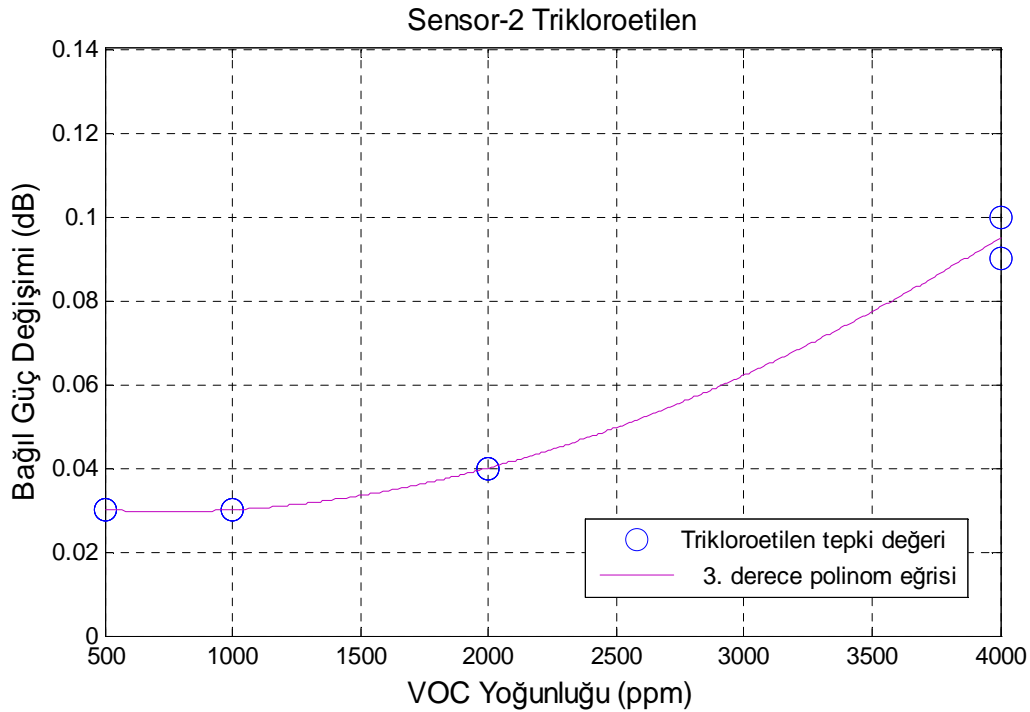
Trikloroetilen

Sensör-2'nin trikloroetilen için verdiği tepkiler ölçüm yapılan farklı miktarlar için çizelge 9.14'de görülmektedir. Bu sensörün trikloroetilen tepkisinde bağlı güç değişimi pozitif çıkmıştır. Ayrıca sensör-2 trikloroetilen karşı çok hızlı tepki vermiştir.

Çizelge 9.14 Sensör-2'in trikloroetilen için tepki değerleri

Miktar (ppm)	dB						
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
250	0	0	0	0	0	0	0
500	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
1000	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
2000	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
4000	0,09	0,10	0,10	0,09	0,095	0,09	0,10

Ölçüm sonucunda 250 ppm miktarında tepki alınmazken 500 ppm ve 1000 ppm miktarları için aynı tepki değerine sahiptir. Ayrıca 2000 ppm için bu değere yakın değer çıkmıştır. Genel olarak incelediğinde 500 ppm, 1000 ppm ve 2000 ppm miktarlarında sonuçlar aynı ve yakın çıkmıştır. Alınan sonuçlara göre ppm gaz miktarına bağlı bağlı güç değişimi için çizdirilen 3. dereceden polinom eğrisi şekil 9.11'de görülmektedir. Sensör-2 genel olarak trikloroetilene karşı 500 ppm ve 1000 ppm değerleri dışında ayırt edici davranmıştır.



Şekil 9.11 Sensör-2'nin trikloroetilene tepkisi ve yaklaşık 3. derece polinom eğrisi

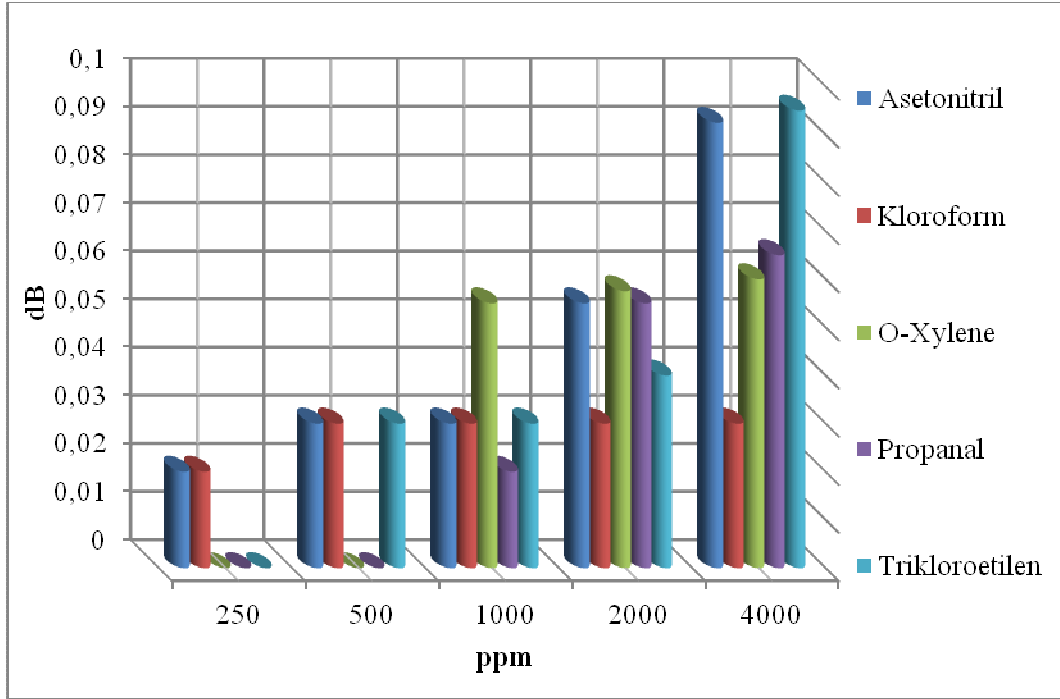
Sensör-2 için Genel Değerlendirme

Sensör-2, bağıl güç değişimi için oXylene ve kloroform için negatif, diğer uçucu organik bileşenler için pozitif değerlerde çıkmıştır. Ayrıca sensör, trikloroetilen ve asetonitril için hızlı, diğer uçucu organik bileşenler için daha yavaş tepki göstermiştir. Özellikle kloroform için çok yavaş tepki hızına sahiptir.

Tepki değerlerinin değişim aralığı 0-0.1 dB'dir. Bu dB aralığı düşük sayılabilecek bir düzeydir. Tekrarlanan ölçümlerde aynı ppm miktarı için alınan sonuçlar ya eşit ya da birbirine çok yakın çıkmıştır. Sensörün hızlı tepki gösterdiği trikloroetilen ve asetonitril için düşük ppm gaz miktarları yani 250-500 ppm dışında, ppm gaz miktarına bağlı olarak lineer sayılabilecek şekilde artan bir eğri karakteristiği ortaya çıkmıştır. Yavaş tepki alınan kloroform da ise bütün ppm gaz miktarlarında aynı değerlerde tepki gözlenmiştir.

Şekil 9.12'de uçucu organik bileşenlerin ppm gaz miktarlarına karşı gösterdiği tepkiler grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu grafikte negatif değerlerin mutlak değeri alınmıştır. 250 ppm miktarı için oXylene, propanal ve trikloroetilen tepki vermemiştir. Asetonitril ve kloroform düşük ve aynı tepki değerine sahiptir. 500 ppm miktarı için oXylene ve propanal tepki göstermezken diğer uçucu organik bileşenler aynı değerlerde tepkiye sahiptirler. 1000 ppm miktarı için asetonitril, kloroform ve trikloroetilenin tepki değerleri aynıdır. 2000 ppm miktarı için uçucu organik bileşenlerin tümü özellikle de asetonitril, oXylene ve propanal birbirlerine yakın değerlerde tepkiye sahiptirler. 4000 ppm miktarı için asetonitril ve trikloroetilen ile oXylene ve propanal yakın tepki değerlerine sahiptir.

Genel olarak sensörün seçiciliği çok yüksek değildir. İkili veya üçlü olarak uçucu organik bileşenler aynı ve yakın tepki değerlerine sahiptir. Sensör 250 ppm ve 500 ppm miktarlarında bazı uçucu organik bileşenlere tepki göstermezken, diğer miktarlarda da bazı bileşenler için ayırt edici sayılabilecek düzeyde ayrık tepki göstermiştir.



Şekil 9.12 Sensör-2 için tüm sonuçların grafiksel gösterimi

9.2.3 Sensör-3

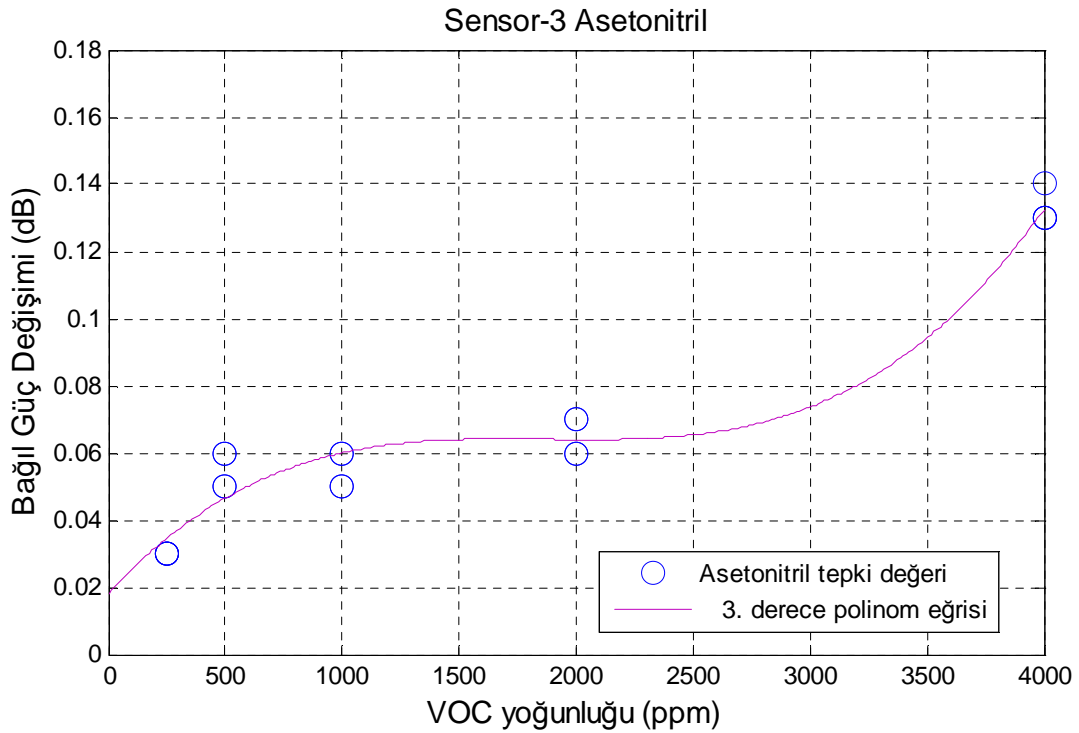
Asetonitril

Sensör-3'ün asetonitril için verdiği tepkiler ölçüm yapılan farklı miktarlar için çizelge 9.15'de görülmektedir. Bu sensörün asetonitril tepkisinde bağıl güç değişimi negatif çıkmıştır. Sensörün tepkisi çok kısa sürede kararlı duruma ulaşmıştır.

Çizelge 9.15 Sensör-3'ün asetonitril için tepki değerleri

Miktar (ppm)	dB						
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
250	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
500	-0,06	-0,05	-0,06	-0,05	-0,055	-0,05	-0,06
1000	-0,06	-0,05	-0,06	-0,05	-0,055	-0,05	-0,06
2000	-0,07	-0,06	-0,06	-0,07	-0,065	-0,06	-0,07
4000	-0,13	-0,14	-0,13	-0,12	-0,13	-0,12	-0,14

Ölçüm sonucunda 500 ppm, 1000 ppm ve 2000 ppm miktarlarındaki tepki değerleri hemen hemen aynıdır. 250 ppm de daha düşük, 4000 ppm de ise daha yüksek çıkmıştır. Alınan sonuçlara göre ppm gaz miktarına bağlı bağlı güç değişimi için çizdirilen 3. dereceden polinom eğrisi şekil 9.13’de görülmektedir. Eğrinin 1000-2500 ppm bölgesi arasında değişmediği, diğer bölgelerde artan bir karakteristiğe sahip olduğu gözükmemektedir. Sensör-3 asetonitril için ölçüm yapılan gaz miktarlarında tam olarak seçici davranmamıştır.



Şekil 9.13 Sensör-3’ün asetonitrille tepkisi ve yaklaşık 3. derece polinom eğrisi

Kloroform

Çizelge 9.16 Sensör-3'ün kloroform için tepki değerler

Miktar (ppm)	dB						
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
250							
500	0	0	0	0	0	0	0
1000							
2000	0	0	-0,01	0	-0,005	0	-0,01
4000	0	-0,02	0	0	-0,005	0	-0,02

Sensör-3 ölçüm yapılan farklı ppm gaz miktarlarında kloroform için çizelge 9.16'da görülmektedir. Sadece 2000 ppm ve 4000 ppm miktarlarında 2 ölçümde çok düşük düzeyde bir negatif bağıl güç değişimi gözlenmiştir. Sensör-3 kloroform için karşı tepkisiz kalmıştır.

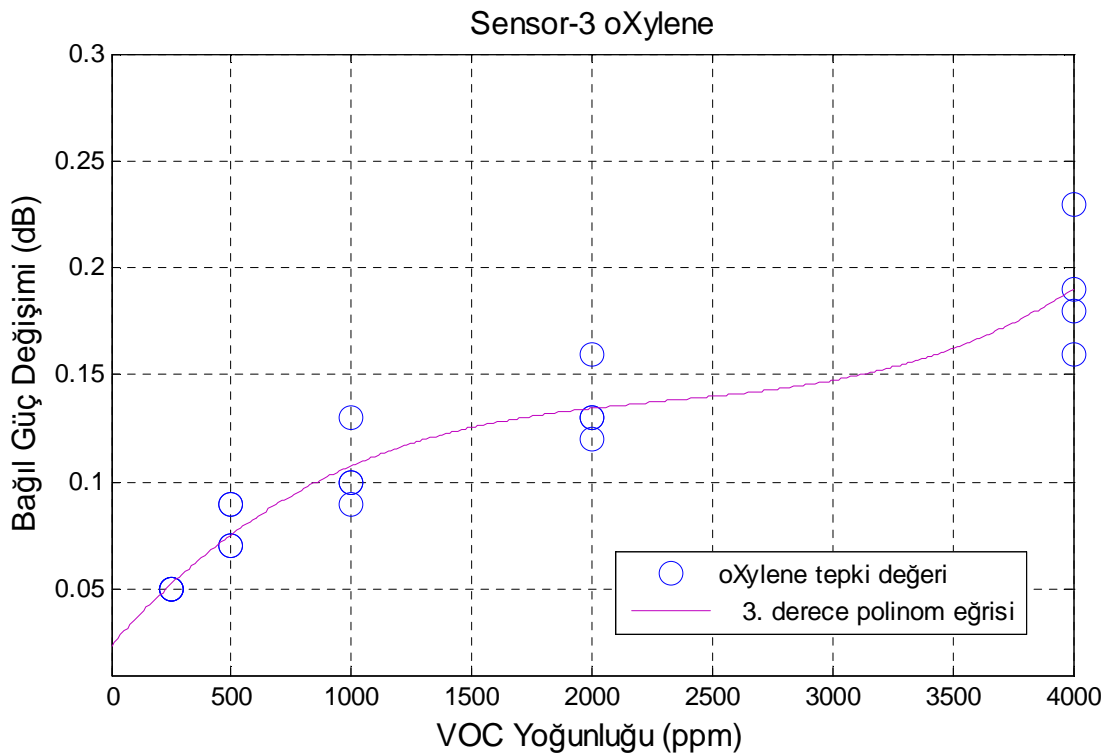
oXylene

Sensör-3'ün oXylene için verdiği tepkiler ölçüm yapılan farklı miktarlar için çizelge 9.17'de görülmektedir. Bu sensörün oXylene tepkisinde bağıl güç değişimi negatif çıkmıştır. Sensörün tepkisi yavaş ve kısa sürelidir.

Çizelge 9.17 Sensör-3'ün oXylene için tepki değerler

Miktar (ppm)	dB						
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
250	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05
500	-0,07	-0,09	-0,09	-0,07	-0,08	-0,07	-0,09
1000	-0,09	-0,13	-0,10	-0,10	-0,105	-0,09	-0,13
2000	-0,12	-0,13	-0,16	-0,13	-0,135	-0,12	-0,16
4000	-0,16	-0,18	-0,23	-0,19	-0,19	-0,16	-0,19

Ölçüm sonucunda tepki değerleri ppm gaz miktarına bağlı genel olarak artan ve birbirinden farklı bir yapıdadır. Sadece 500 ppm ile 1000 ppm, 1000 ppm ile 2000 ppm ve 2000 ppm ile 4000 ppm için farklı ölçümlerde birer değerler aynı çıkmıştır. Sensör-3 oXylene karşı seçici davranmıştır. Alınan sonuçlara göre ppm gaz miktarına bağlı bağlı güç değişimi için çizdirilen 3. dereceden polinom eğrisi şekil 9.14’de görülmektedir. Eğrinin yapısı lineere yakın çıkmıştır.



Şekil 9.14 Sensör-3’ün oXylene tepkisi ve yaklaşık 3. derece polinom eğrisi

Propanal

Sensör-3’ün propanal için verdiği tepkiler ölçüm yapılan farklı miktarlar için çizelge 9.18’de görülmektedir. Bu sensörün propanal tepkisinde bağlı güç değişimi pozitif çıkmıştır. Ölçüm sonucunda 2000 ppm ve 4000 ppm miktarları dışında tepki alınmamıştır ve her iki ppm miktarı için değerler hemen hemen aynı çıkmıştır. Sensörün tepkisi yavaştır ve kısa sürede eski haline gelmiştir. Sensör-3 propanal için istenildiği gibi seçici davranmamıştır.

Çizelge 9.18 Sensör-3'ün propanal için tepki değerler

Miktar (ppm)	dB						
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
250							
500	0	0	0	0	0	0	0
1000							
2000	0,03	0,04	0,04	0,03	0,035	0,003	0,04
4000	0,03	0,04	0,04	0,03	0,035	0,03	0,04

Trikloroetilen

Sensör-3'ün trikloroetilen için verdiği tepkiler ölçüm yapılan farklı miktarlar için çizelge 9.19'da görülmektedir. Bu sensörün trikloroetilen tepkisinde bağlı güç değişimi pozitif çıkmıştır ve tepki hızlı olmuştur. Ölçüm sonucunda 2000 ve 4000 ppm miktarlarında dışında tepki alınmamıştır. Bu miktarlarda ise değerler birbirinden farklı çıkmıştır. Sensör-3 trikloroetilen için kısmen ayırt edici davranmıştır.

Çizelge 9.19 Sensör-3'ün trikloroetilen için tepki değerler

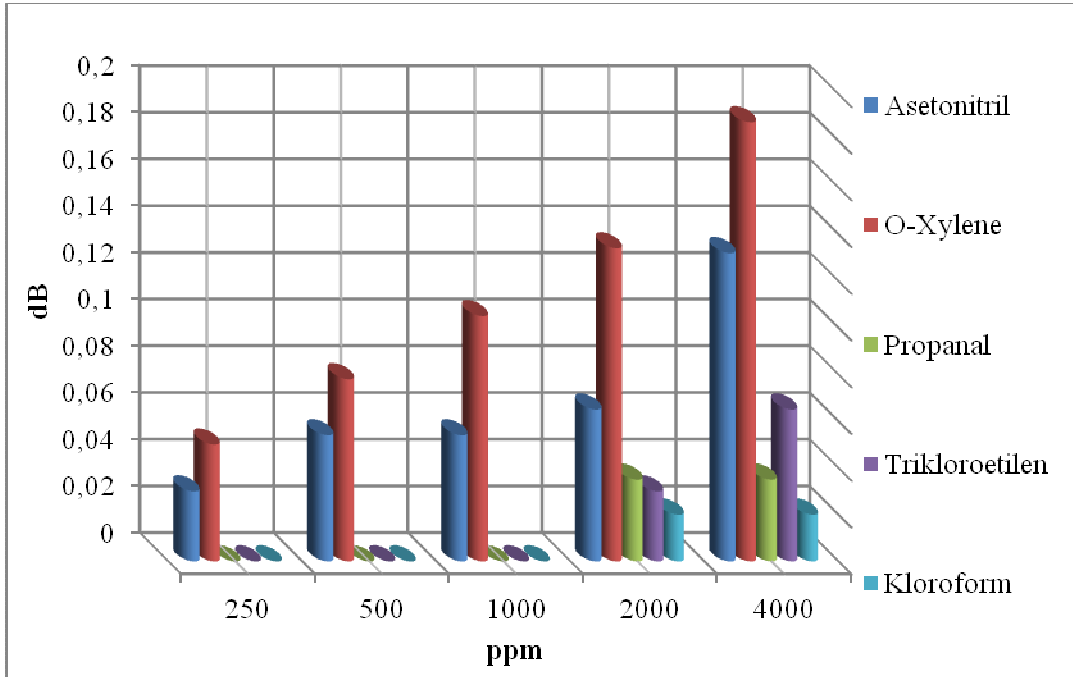
Miktar (ppm)	dB						
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
250							
500	0	0	0	0	0	0	0
1000							
2000	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
4000	0,06	0,07	0,06	0,07	0,035	0,03	0,04

Sensör-3 için Genel Değerlendirme

Ölçümler sonucunda tepki değerleri genel olarak düşük düzeydedir. Bağlı güç değişimi propanal ve trikloroetilen için pozitif, diğerleri için negatif çıkmıştır. Sensör asetonitril ve

trikloroetilene karşı hızlı, diğerleri için daha yavaş tepki vermiştir. En yavaş tepkiyi oXylene vermiştir. Şekil 9.15’de gözüktüğü gibi propanal, trikloroetilen ve kloroform için 250 ppm, 500 ppm ve 1000 ppm miktarlarında tepki alınamamıştır. Bu uçucu organik bileşenler için tepki alınan 2000 ppm ve 4000 ppm miktarlarındaki değerler düşük düzeyde ve birbirine yakın çıkmıştır. Asetonitril ve oXylene için tüm miktarlarda giderek artan ve birbirinden farklı tepki değerleri çıkmıştır. En yüksek tepki ortalamasına en yavaş tepki gösteren oXylene sahiptir.

Genel olarak sensör-3 tepki alındığı zaman propanal ve kloroform dışında seçici davranmıştır. Özellikle 2000 ppm ve 4000 ppm bölgesinde asetonitril, oXylene ve trikloroetilen ayrık değerlerde tepki vermiştir.



Şekil 9.15 Sensör-3 için tüm sonuçların grafiksel gösterimi

9.2.4 Sensör-4

Asetonitril

Sensör-4’ün asetonitril için verdiği tepkiler ölçüm yapılan farklı miktarlar için çizelge 9.20’de görülmektedir. Bu sensörün asetonitril tepkisinde bağıl güç değişimi negatif çıkmıştır

ve tepki hızlı olmuştur. Ölçüm sonucunda tepki değerleri çok düşük düzeyde ve hemen hemen aynı çıkmıştır. Sensör-4 asetonyitril için seçici davranmamıştır.

Çizelge 9.20 Sensör-4'ün asetonyitril için tepki değerleri

Miktar (ppm)	dB						
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
250							
500	0	0	0	0	0	0	0
1000							
2000	-0,03	-0,02	-0,02	-0,03	-0,025	-0,02	-0,03
4000	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03

Kloroform

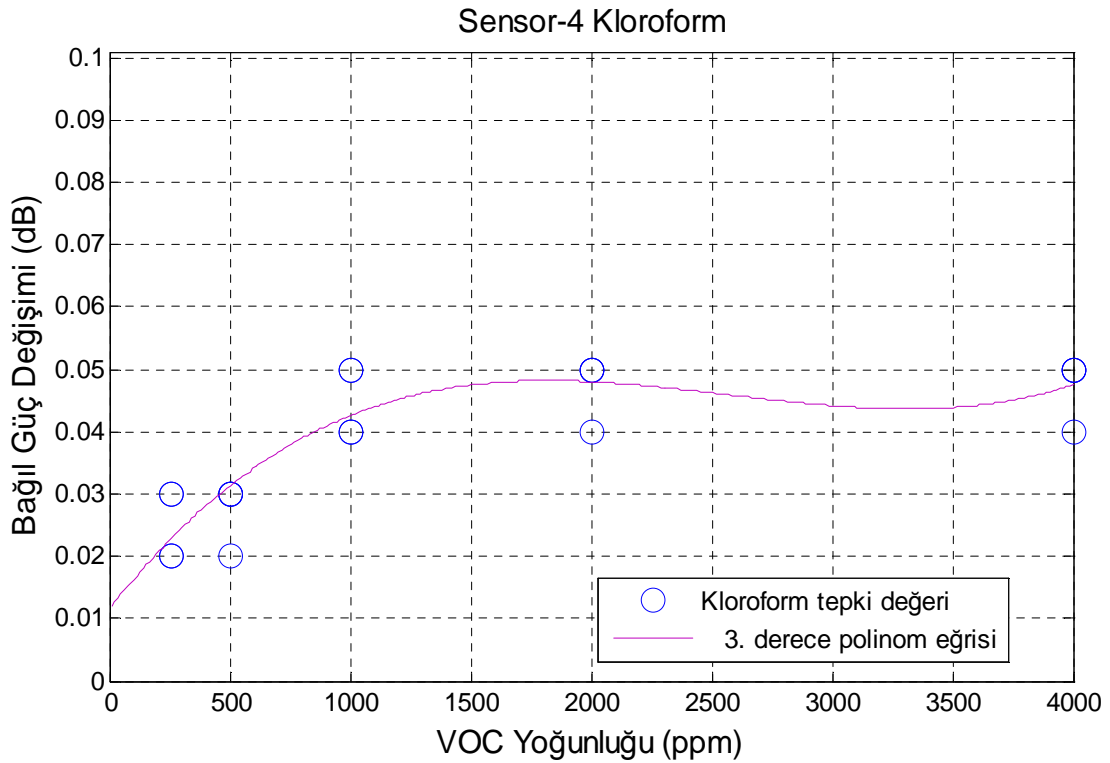
Sensör-4'ün kloroform için verdiği tepkiler ölçüm yapılan farklı miktarlar için çizelge 9.21'de görülmektedir. Bu sensörün kloroform tepkisinde bağıl güç değişimi negatif çıkmıştır. Tepki hızlı sayılabilir ancak kısa sürede eski haline gelmektedir.

Çizelge 9.21 Sensör-4'ün kloroform için tepki değerleri

Miktar (ppm)	dB						
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
250	-0,02	-0,03	-0,03	-0,02	-0,025	-0,02	-0,03
500	-0,02	-0,03	-0,03	-0,02	-0,025	-0,02	-0,03
1000	-0,04	-0,04	-0,05	-0,05	-0,045	-0,04	-0,05
2000	-0,05	-0,04	-0,05	-0,05	-0,0475	-0,04	-0,05
4000	-0,05	-0,04	-0,05	-0,05	-0,0475	-0,04	-0,05

Ölçülen tepki değerleri düşük düzeydedir. 250 ppm ve 500 ppm ile 1000 ppm, 2000 ppm ve 4000 ppm miktarlarındaki sonuçlar aynı çıkmıştır. Tepki değerlerindeki ppm gaz

miktarına bağılı değişim sadece 500 ppm ve 1000 ppm miktarlarında olmuştur. Bu yüzden sensör-4 kloroform için seçici davranmamıştır. Alınan sonuçlara göre ppm gaz miktarına bağılı bağılı güç değişimi için çizdirilen 3. dereceden polinom eğrisi şekil 9.16’da görölmektedir. Eğri sadece 1000 ppm bölgesine kadar az sayılacak şekilde bir değişim göstermiştir. Diğer bölgelerde eğri, aynı değer aralığında salınım göstermektedir.



Şekil 9.16 Sensör-4’ün kloroforma tepkisi ve yaklaşık 3. derece polinom eğrisi

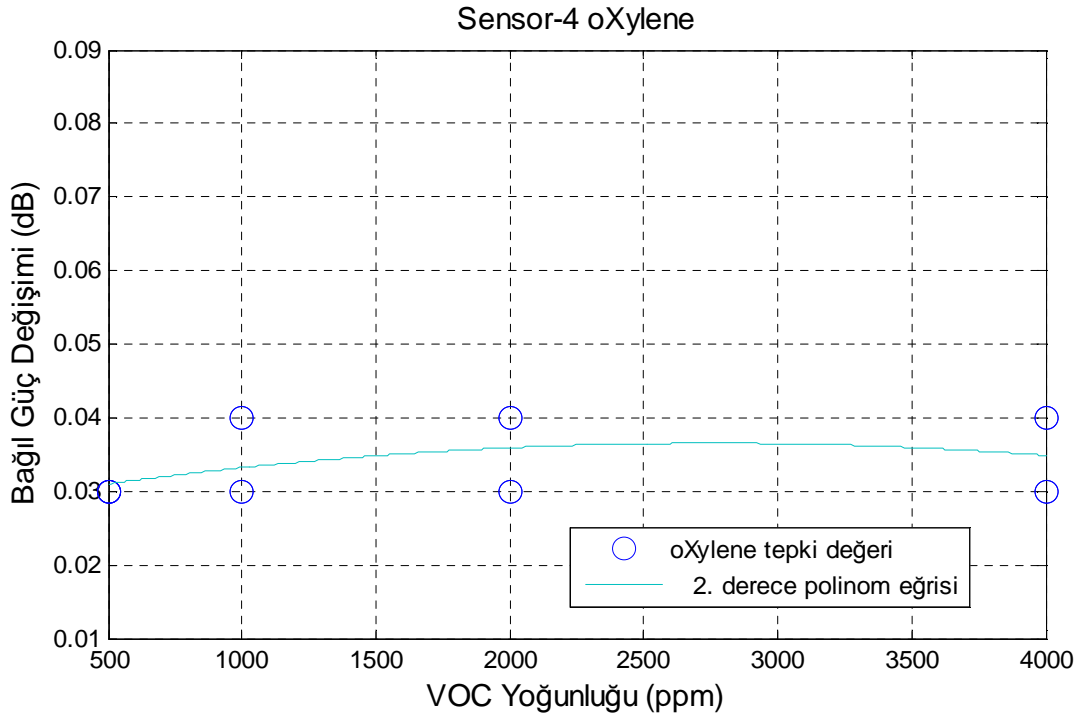
oXylene

Sensör-4’ün oXylene için verdiği tepkiler ölçüm yapılan farklı miktarlar için çizelge 9.22’de görölmektedir. Bu sensörün oXylene tepkisinde bağılı güç değişimi negatif çıkmıştır. Tepki çok yavaş gerçekleşmiş ve kararlı bir yapıya gelmesi için beklenilmiştir.

Çizelge 9.22 Sensör-4'ün oXylene için tepki değerleri

Miktar (ppm)	dB						
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
250	0	0	0	0	0	0	0
500	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
1000	-0,04	-0,04	-0,03	-0,03	-0,035	-0,03	-0,04
2000	-0,03	-0,04	-0,04	-0,03	-0,035	-0,03	-0,04
4000	-0,04	-0,04	-0,03	-0,03	-0,035	-0,03	-0,04

Ölçüm sonucunda sensör 250 ppm miktarında tepki vermemiştir. Tepki alınan ppm miktarlarında değerler çok düşük düzeydedir ve aynı çıkmıştır. Alınan sonuçlara göre ppm gaz miktarına bağlı bağlı güç değişimi için çizdirilen 2. dereceden polinom eğrisi şekil 9.17'de görülmektedir. Eğride değişim yoktur. Buna bağlı olarak sensör-4 oXylene için ppm miktarına göre seçici davranmamıştır.



Şekil 9.17 Sensör-4'ün oXylene tepkisi ve yaklaşık 2. derece polinom eğrisi

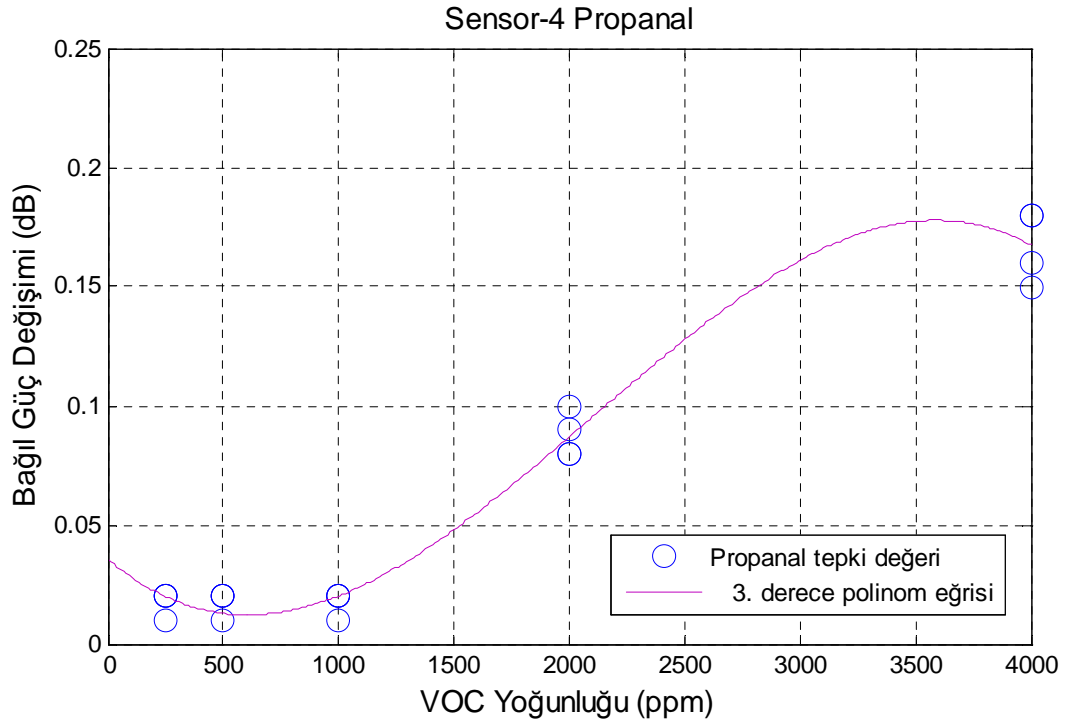
Propanal

Sensör-4'ün propanal için verdiği tepkiler ölçüm yapılan farklı miktarlar için çizelge 9.23'de görülmektedir. Bu sensörün propanal tepkisinde bağıl güç değişimi negatif çıkmıştır. Tepki hızlı gerçekleşmiş ancak kısa sürede eski halini almıştır.

Çizelge 9.23 Sensör-4'ün propanal için tepki değerleri

Miktar (ppm)	dB						
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
250	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02	-0,0175	-0,01	-0,02
500	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02	-0,0175	-0,01	-0,02
1000	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,0175	-0,01	-0,02
2000	-0,08	-0,08	-0,09	-0,10	-0,0875	-0,08	-0,10
4000	-0,18	-0,18	-0,15	-0,16	-0,1675	-0,15	-0,18

Ölçüm sonucunda 250 ppm, 500 ppm ve 1000 ppm miktarlarında çok düşük ve birbiriyle aynı değerler çıkmıştır. 2000 ppm ve 4000 ppm miktarlarında ise birbirinden farklı ve artan değerler gözlenmiştir. Alınan sonuçlara göre ppm gaz miktarına bağlı bağıl güç değişimi için çizdirilen 3. dereceden polinom eğrisi şekil 9.18'de görülmektedir. Eğri 1000 ppm miktarına kadar aynı değerde salınım göstermiştir. 1000 ppm bölgesinden sonra eğri artan bir yapıdadır. Sensör-4, düşük ppm miktarlarında tepkisi az ve aynı, yüksek ppm miktarlarında ise farklı değerlerde tepki verdiği için ppm miktarına göre kısmen ayırt edici şekilde davranmıştır.



Şekil 9.18 Sensör-4'ün propanala tepkisi ve yaklaşık 3. derece polinom eğrisi

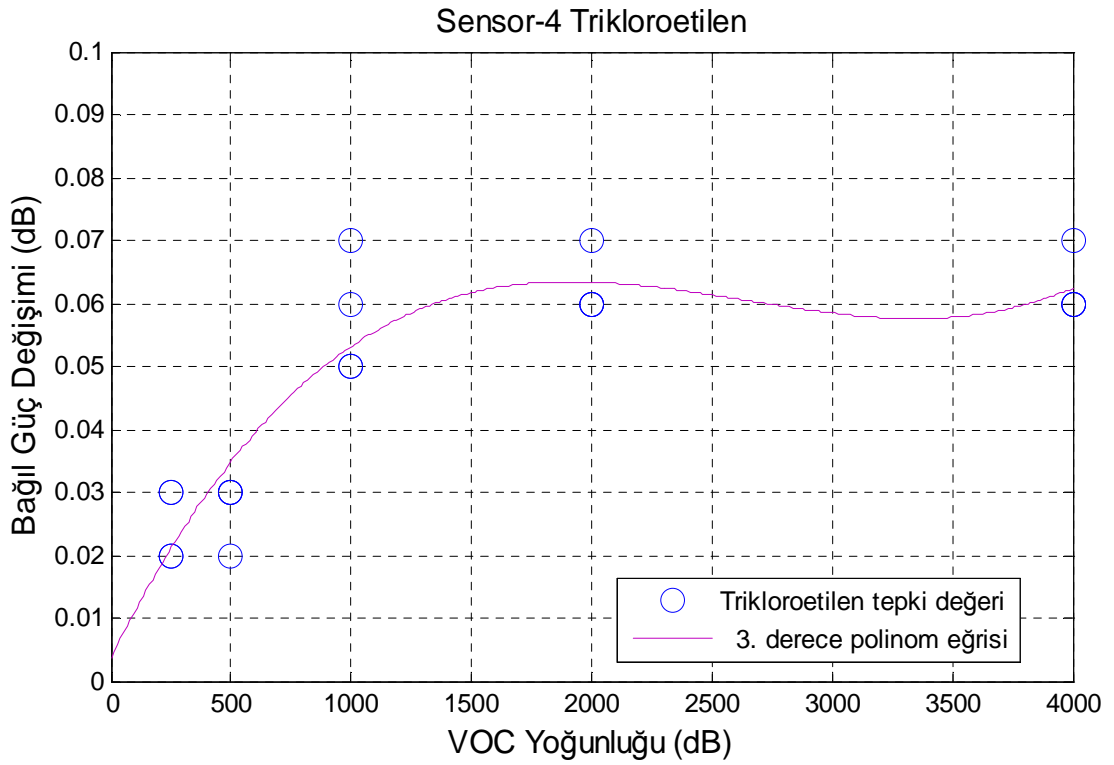
Trikloroetilen

Sensör-4'ün trikloroetilen için verdiği tepkiler ölçüm yapılan farklı miktarlar için çizelge 9.24'de görülmektedir. Bu sensörün trikloroetilen tepkisinde bağıl güç değişimi negatif çıkmıştır. Tepki hızlı ve kısa sürede eski halini almaktadır.

Ölçüm sonucunda tepki değerleri düşük çıkmıştır. 250 ppm ve 500 ppm ile 1000 ppm, 2000 ppm ve 4000 ppm miktarlarında değerler aynı çıkmıştır. Sensör-4'ün ppm gaz miktarına göre seçiciliği yok sayılır. Alınan sonuçlara göre ppm gaz miktarına bağlı bağıl güç değişimi için çizdirilen 3. dereceden polinom eğrisi şekil 9.19'de görülmektedir. 500 ppm bölgesi ile 1000 ppm bölgesinde eğri değişim göstermekte iken 1000 ppm bölgesinden sonra aynı değerlerde salınım gerçekleştirmiştir.

Çizelge 9.24 Sensör 4'ün trikloroetilen için tepki değerleri

Miktar (ppm)	dB						
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
250	-0,02	-0,02	-0,03	-0,03	-0,025	-0,02	-0,03
500	-0,03	-0,02	-0,03	-0,03	-0,0275	-0,02	-0,03
1000	-0,05	-0,05	-0,06	-0,07	-0,0575	-0,05	-0,07
2000	-0,06	-0,06	-0,06	-0,07	-0,0625	-0,06	-0,07
4000	-0,06	-0,07	-0,06	-0,06	-0,0625	-0,06	-0,07

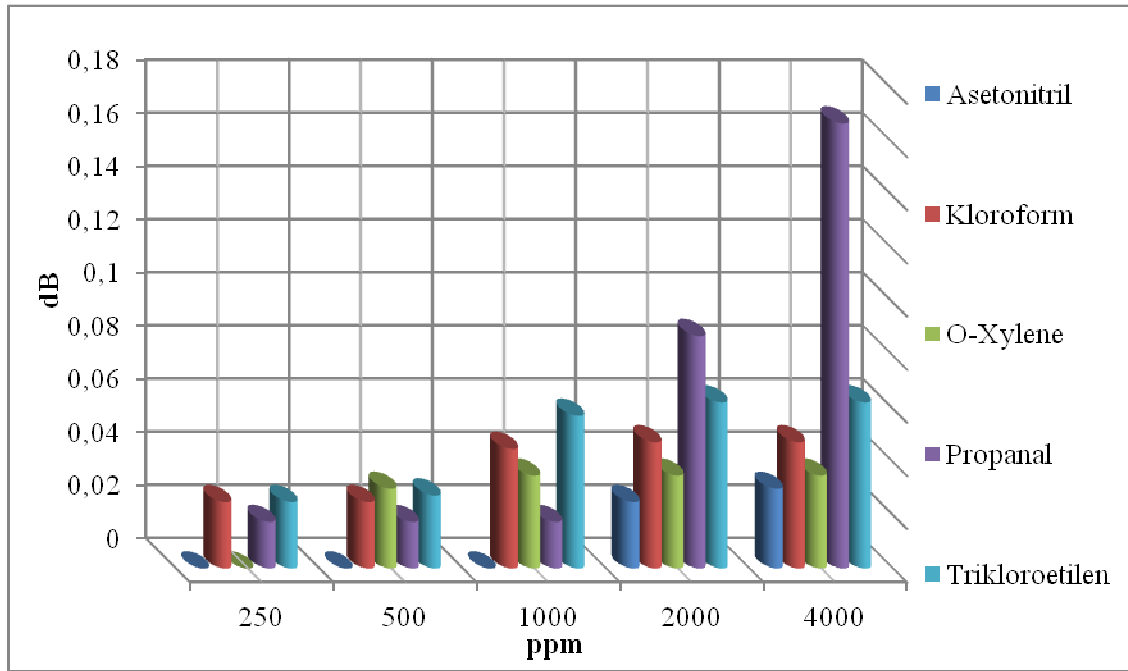


Şekil 9.19 Sensör-4'ün trikloroetilene tepkisi ve yaklaşık 3. derece polinom eğrisi

Sensör-4 için Genel Değerlendirme

Sensör-4 250 ppm, 500 ppm ve 1000 ppm miktarları için asetonitril ve 250 ppm miktarı için oXylene dışında uçucu organik bileşenlere karşı düşük de olsa tepki vermiştir. Bağlı güç değişim değerlerinin hepsi negatif çıkmıştır. Sensörün tepkisi genel olarak hızlı olmuştur, ancak kısa sürede eski haline gelmiştir. Sadece oXylene karşı çok yavaş tepki vermiştir.

En yüksek tepki değerlerine propanal ve trikloroetilen sahiptir. Genel olarak 250 ppm ve 500 ppm miktarlarında tepkiler çok düşük ve birbirine yakın veya yoktur. Artan ppm gaz miktarına bağlı olarak tepki değerlerinde artmalar ve birbirinden ayrılmalar olmuştur. Düşük ppm miktarlarında sensör-4'ün seçiciliği fazla olmasa da, ppm miktarındaki artışla beraber artan tepki değerlerine bağlı olarak sensörün uçucu organik bileşenlere karşı ayırt ediciliği oluşmuştur.



Şekil 9.20 Sensör-4 için tüm sonuçların grafiksel gösterimi

10. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada çok modlu fiber optik ST konnektörün uç kısmı, farklı uçucu organik bileşenleri algılayıcı malzeme ile kaplanarak sensör yapısı elde edilmiştir. Sensörün temel çalışma prensibi; algılayıcı ince film kaplama tarafından absorbe edilen gazın cinsi ve miktarı değiştikçe kaplamanın kırılma indisi değişmekte, böylelikle başta Fresnel yansıması olmak üzere interferometrik yansımalar nedeniyle geri yansıyan güçte bağlı değişimler olmaktadır. Yansıma tipli uçucu organik bileşen (VOC) sensörlerinde, sensör-1 PVP, sensör-2 CuPc, sensör-3 H₂Pc ve sensör-4 CoPc malzemesi ile gerçekleştirilmiştir.

Öncelikli olarak geliştirilen bu sensörlerin daha çok endüstriyel uygulamalarda yer alan aseton, asetonitril, kloroform, oXylene, propanal ve trikloroetilen karşı tepkilerinin olup olmadığı incelenmiştir. Ölçümler sonucunda bağlı güç değişimleri tüm uçucu organik bileşenlerde sensör-1 ve sensör-2’de pozitif, sensör-4’de ise negatif çıkmıştır. Sensör-3 için kloroform ve propanal’da negatif diğer uçucu organik bileşenlerde ise pozitif çıkmıştır. Alınan sonuçlara göre sensör duyarlılıklarında farklı uçucu organik bileşenler için sensör-3’te kloroform ve propanal dışında genel olarak farklılık bulunmaktadır. Bu sebeple sensörler ayrımsal bir tepkiye sahip olduğundan ince film yapılarının uçucu organik bileşen belirlemede sensör olarak kullanılabilceği anlaşılmaktadır.

Geliştirilen universal deney düzeneğinde dört farklı sensör tipi ile algılanması istenen uçucu organik bileşenlerin ppm ölçütünde miktarı ve cinsi değiştirilerek ölçümler gerçekleştirilmiştir. Yapılan tüm ölçümler sonucunda, ftolasiyanin içeren ince film kaplamalı sensörlerin PVP ince film kaplamalı sensöre göre uçucu organik bileşenlere daha düşük düzeyde tepki verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca bağlı güç değişimleri ön çalışma ile tutarlılık gösterecek düzeyde hem pozitif hem de negatif çıkmıştır. Ölçümler sırasında genel olarak sensörler uçucu organik bileşenlere karşı hızlı tepki vermişlerdir. Özellikle PVP ince film kaplamalı sensör-1, farklı uçucu organik bileşenlerin tümünde oldukça hızlı tepki göstermiştir. Diğer taraftan ftolasiyanin içeren ince film kaplamalı sensör-2, sensör-3 ve sensör-4 ise bazı tepki hızında farklılık oluşmaktadır. Sensör-2, sensör-3 ve sensör-4 asetonitril ve trikloroetilen için hızlı, kloroform için yavaş tepki vermektedir. oXylene için sensör-2 hızlı, sensör-3 ve sensör-4 yavaş tepki vermektedir. Propanal için ise sensör-4 hızlı, sensör-2 ve sensör-3 yavaş, sensör-4 hızlı tepki vermektedir. Bu farklılık tepki değerlerine de yansımıştır.

Sensör-1 ölçüm yapılan farklı uçucu organik bileşenlerin hepsine tepki vermiştir. Sensör-2’de oXylene ve propanal’da 250 ppm ve 500 ppm, trikloroetilen’de ise 250 ppm gaz miktarlarında tepki alınmazken diğer miktarlarda ölçüm değeri gözlenmiştir. Sensör-3 ölçüm yapılan tüm miktarlarda kloroform için tepkisiz kalmıştır. Propanal ve trikloroetilen için ise 250 ppm, 500 ppm ve 1000 ppm gaz miktarlarında tepki göstermemiştir. Diğer ölçümlerde tepki gözlenmiştir. Sensör-4 asetonitril için 250 ppm, 500 ppm ve 1000 ppm gaz miktarlarında ve oXylene için 250 ppm gaz miktarında tepki göstermezken diğer ölçümlerde tepki göstermiştir.

Alınan sonuçlar irdelendiğinde, sensör-1 uçucu organik bileşenlere karşı genel olarak ppm gaz miktarına göre artan ve ayırık tepki değerleri vermiştir. Asetonitril ve oXylene için 250 ppm, 1000 ppm ve 2000 ppm, oXylene ve trikloroetilen için ise 4000 ppm gaz miktarlarında yakın sonuçlar çıkmıştır. Sensör-2 ppm gaz miktarına göre uçucu organik bileşenlere karşı tepki alındığında yakın veya aynı değerler vermiştir. 250 ppm gaz miktarı için asetonitril ve kloroform, 500 ppm ve 1000 ppm gaz miktarları için ise asetonitril, kloroform ve trikloroetilen aynı tepki değerlerine sahiptir. 2000 ppm ve 4000 ppm gaz miktarlarında tüm uçucu organik bileşenler birbirlerine yakın tepki değerlerine sahiptir. Sensör-3 uçucu organik bileşenlere karşı genel olarak ppm gaz miktarına göre tepki alındığında ayırık sayılabilecek değerler vermiştir. Propanal, trikloroetilen ve kloroform için 250 ppm, 500 ppm ve 1000 ppm gaz miktarlarında tepki alınmazken, 2000 ppm ve 4000 ppm miktarlarında birbirine yakın değerler çıkmıştır. Asetonitril ve oXylene ise ppm gaz miktarına göre artan ve farklı tepki değerleri göstermiştir.

Ayrıca ppm gaz miktarına bağlı olarak tepki değerlerinde lineer bir şekilde artma da tümünde gözlemlenmemiştir. Sensör-4 uçucu organik bileşenlere karşı genel olarak ppm gaz miktarına göre birbirine yakın ve artan değerler vermiştir. 250 ppm, 500 ppm ve 1000 ppm miktarlarında asetonitril tepkisiz kalmıştır. 2000 ppm ve 4000 ppm gaz miktarlarında ise asetonitril ve oXylene yakın tepki değerleri vermiştir.

Ppm gaz miktarındaki artışa bağlı güç değişimlerinin yaklaşık polinom eğrileri elde edilmiştir. Bu polinom eğrileri irdelendiğinde, tüm sensör tipleri için ppm gaz miktarına bağlı olarak tepki değerlerinde lineer bir artış gözlemlenmemiştir. Sensör-1 ve sensör-3, oXylene için ölçüm yapılan ppm gaz miktarlarında birbirinden ayırık tepki değerlerine ve lineer artan polinom eğrisine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca sensör-1, diğer uçucu organik bileşenler için 2000 ppm gaz miktarına kadar artan, daha sonra ise doyuma ulaşan bir tepki

göstermiştir. Sensör-2, sensör-3 ve sensör-4 ise ppm gaz miktarları için birbirine daha yakın ve hatta aynı değerde tepkiye sahip olduğundan polinom eğrilerindeki değişimler lineer çıkmamıştır.

Tüm bu sonuçlar ışığında sensör-1'in diğer sensörlere göre, seçicilik ve duyarlılık bakımından üstünlük sağladığı görülmüştür. Aynı zamanda farklı uçucu organik bileşenler için hızlı ve kararlı bir tepkiye sahiptir. Bu çalışmada geliştirilen sensör kaplamaları, kaplama malzemelerinin kalınlığı kontrol edilmeden damlatma yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın devamı olarak kalınlığı kontrol edilebilen bir kaplama yöntemi kullanılarak gerçekleştirilecek sensörler ile bir sensör dizileri oluşturulabilir. Bu sensör dizileri ile aynı anda farklı uçucu organik bileşen içeren ortamlarda ölçüm gerçekleştirilebilir. Geliştirilen fiber optik yansıma tipli uçucu organik bileşen (VOC) sensörlerinin diğer geleneksel sensörlere göre dar bantlı klasik F-P lazerle çalışabilme, hızlı ve kararlı tepki verme gibi önemli üstünlükleri bulunmaktadır. Bu avantajları sayesinde universal, pratik ve kullanışlı bir endüstriyel gaz algılama sistemi veya cihazı olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Fidanboylu, K. ve Efendioglu, H. S., 2009, Fiber optic sensors and their applications, IATS'09.
- [2] Özsoy, S., 2001, Fiber Optik, Birsen Yayınevi.
- [3] Gholamzadeh, B., Nabovati, H., 2008, Fiber optic sensors, World Academy of Science, Engineering and technology 42.
- [4] Okur, G., 2000, Optoelektronik, Değişim Yayınları.
- [5] Garci, Y. R., Corres, M. J., Goicoechea, J., 2010, Vibration detection using optical fiber sensors, Journal of Sensors, Article ID 936487, 12 pages.
- [6] Betzler, K. and Physik F., 2002, Fabry-Perot Interferometer, Universitat Osnabrück.
- [7] Horozoğlu, G. ve Karlık, S. E., 2009, optik fiberin açısız yer değiştirme algılamasında kullanımı, 2. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, Ankara.
- [8] Dakin, J., Culshaw, B., 1997, optical fiber sensors, Norwood, MA: Artech House, vol 4, 32-46 pp.
- [9] Sekimoto, S., Nakagawa, H., Okazaki, S., Fukuda, K., Asakura S., Shigemori, T., Takahashi, S., 2000, A fiber-optic evanescent-wave hydrogen gas sensor using palladium-supported tungsten oxide, Sensors and actuators, B 66, 142-145 p.
- [10] Završnik, M. and Stewart, G., 2000, Coherence addressing of quasi-distributed absorption sensors by the FMCW method, Journal of lightwave technology, vol.18, no.1.
- [11] Arregui, J. F., Claus, O. R., Cooper L. K., Valdivielso, C. F., Matias, R. I., 2001, optical fiber gas sensor based on self-assembled gratings, Journal of lightwave technology, vol.19, no 12.
- [12] Craith, B. D. M., O'Keeffe G., McDonagh C., Mcevoy A. K., 1994, LED-based fibre optic oxygen sensor using sol-gel coating, Electronic letters, Vol. 30, No. 11.
- [13] Park, K. S., Eom, B. J., Park, M., Kim, H. Y., Park, J. S., Jang, J., Lee, B., 2011, Characteristics of hydrogen gas sensor based on a wavelength division multiplexing fiber coupler, 21st International conference on optical fiber sensors, Vol. 7753.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [14] Çakır, C., Optik, 2000, Aktif Yayınevi, 2. Baskı.
- [15] Hecht, E., Optics, 2002, Addison Wesley, 4th Edition.
- [16] Durak E. F., Altuncu A., Ebeoğlu M. A., 2011, Yansıma Tipli Optik Fiber Uçucu Organik Bileşen Sensör Tasarımı, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Electrical & Electronics Technologies Papers, Vol.4, EAE-51, p.236-239
- [17] OZ Optics Limited, 2002, Operating instructions fiber optic stable source data sheet.
- [18] OZ Optics Limited, 2011, Fiber optic circulators data sheet.
- [19] Bohangade, M., 2008, A bidirectional link using optical circulators, National Center for Radio Astrophysics, 12-17 p.
- [20] OZ Optics Limited, 2009, Standard tables.
- [21] OZ Optics Limited, 2002, Optical power meter operating instructions.
- [22] Coyne L., Kuhlman, C., Zovack, N., 2011, The stability of sulfur compounds, low molecular weight gases, and VOCs in four air sample bag materials, SKC Inc.
- [23] Gürek, A., Ftalosiyenin ve uygulama alanları, 2005, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü E-Bülten, Sayı 8.
- [24] Wojdyla, M., Derkowska, B., Waclaw, B., Bratkowski, A., Korcala, A., 2006, Investigation of optical transition energy in copper phthalocyanine by transmission, reflection and photoreflectance spectroscopy, Optical Materials 28, 1000-1005
- [25] El-Nahass, M. M., Bahabri F. S., Al-Harbi, R., 2001, Optical properties of Copper Phthalocyanine thin films, Egypt. J. Sol., Vol. 24, No 1.
- [26] Yakuphanoğlu F., Durmuş M., Köysal O., Ahsen V., 2006, The Refractive index dispersion and the optical constants of liquid crystal metal-free and nickel (II) phthalocyanines., Physica B. 373, 262-266 pp.
- [27] Alamri S. N., Joraid A. A., Al-Raqa S. Y., Structural and optical properties of thermally evaporated 1,4,8,11,15,18,22,25-octahexylphthalocyanine thin films, 2006, Thin Solid Films 510, 265-270 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [28] Joseph B., Menon C. S., 2008, Studies on the optical properties and surface morphology of Cobalt Phthalocyanine Thin Films, E-Journal of Chemistry, vol. 5, No. 1, pp. 86-92,
- [29] El-Nahass M. M., Farag A. A. M., Atta A. A., 2009, Influence of heat treatment and gamma-rays irradiation on the structural and optical characterizations of nano-crystalline Cobalt Phthalocyanine thin films., Synthetic Metals 159, pp. 589-594.
- [30] Sivaiah K., Rudramadevi B. H., Kumev G. B., Varadarajulu A., 2010, Structural, thermal and optical properties of and polymer films, Indian Journal of Pure & Applied Physics, vol.48, pp.658-662.
- [31] www.sigmaaldrich.com
- [32] www.wikipedia.org
- [33] Evcin, A., İleri Sol Jel Proses Ders Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi

EKLER

Ek 1. Durak F.E., Altuncu A. ve Ebeoğlu M.A., “Design of Reflection Type Optical Fiber Volatile Organic Compounds (VOC) Sensor”, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), 16-18 May, Elazığ, 2011.

6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey

Yansıma Tipli Optik Fiber Uçucu Organik Bileşen Sensör Tasarımı

F.E. Durak¹, A. Altuncu² and M.A. Ebeoğlu³

¹ Dumlupınar University, Kütahya/Turkey, firat@dpu.edu.tr

² Dumlupınar University, Kütahya/Turkey, altuncu@dpu.edu.tr

³ Dumlupınar University, Kütahya/Turkey, mebeoglu@dpu.edu.tr

Design of Reflection Type Optical Fiber Volatile Organic Compounds (VOC) Sensor

Abstract—Fiber optical sensors have become popular among the current sensor technologies due to their some advantages. In this study, the sensitivity and selectivity of reflection type fiber optical sensors are investigated using the sensing materials of CuPc, H₂Pc, CoPc and PVP synthesized by TÜBİTAK Marmara Research Centre Sensor Group. The developed fiber optical volatile organic compounds (VOC) sensors are used to detect some common industrial VOC such as O-Xylene, Acetone, Chloroform, Trichloroethylene, Acetonitrile and Propanol. The basic principle of the sensor structure is based on the optical reflections occurring from the sensing layer at the fiber end which depends on the amount of VOC absorbed. The relative changes in the reflected power depending on the refractive index change in the nano cavity interferometrical sensing layer was analyzed through the simulations and then experimentally measured for four types of optical fiber VOC sensors.

Keywords—Optical Fiber Sensors, VOC Sensor, Optical Thin Films.

I. Giriş

ÖNCELERİ sadece yüksek hızda veri iletişimi amaçlı kullanılan optik fiberler, teknolojinin gelişmesi ve ihtiyaçların artmasıyla birlikte sensör yapımı gibi farklı uygulama alanlarında da denenmiş ve pek çok başarı elde edilmiştir. Bu doğrultuda gelişen fiber optik sensör teknolojisi diğer geleneksel sensör teknolojilerine göre belirgin avantajları ile ön plana çıkmaktadır. Fiber optik sensörlerin avantajları hızlı tepki verme, elektromanyetik bağışıklık, daha yüksek hassasiyet ve doğrusallık, küçük boyut ve hafif oluşu ile uzak sensör gruplarının oluşturulabilmesi şeklinde sıralanabilir.

Optik yöntemlerle gazların algılanması ile ilgili olarak literatürde çok çeşitli yöntemler önerilmiştir [1]. Bu yöntemlerden en yaygın olanı ise spektral soğurma analiz yöntemidir [2]. Bu yöntemde algılanması istenen hedef gazın optik soğurma spektrumları kullanılmaktadır. Genellikle gazların parmak izi niteliğindeki optik soğurumları, elektronik geçişlerden dolayı morötesi ışık (UV) bölgesinde meydana gelmektedir. Bu bölgede ise standart silika fiberlerin optik kayıpları oldukça yüksektir.

Diğer optik gaz sensörleri ise sönmülenen alan [3], lüminesans [4] veya floresans [5] ölçümlerine dayanmaktadır. Bunların birçoğunda katkılı plastik fiber veya polimer kaplamalı fiber gibi özel optik fiberler

kullanılmaktadır [6]. Yakın zamanda yapılan bir çalışmada ise, standart tek modlu fiberin (S-SMF) uç kısmı kendiliğinden birleşmiş ızgara (self-assembled gratings) yöntemiyle sensör malzemesi ile kaplanmakta ve bu yapının başlıca Fresnel yansıması prensibiyle çalışan ve hedeflenen gazın spektral soğurma karakteristiğinden bağımsız bir sensör elemanı olarak kullanılabilmesi sağlanmaktadır [7].

Bu çalışmada, standart çok modlu (S-MMF) fiber optik ST konektörün uç kısmı, çeşitli uçucu organik bileşenleri (VOC) algılayıcı sensör malzemeleri ile kaplanarak yüksek duyarlılıkta tepki veren endüstriyel amaçlı fiber optik gaz sensörleri üretilmiştir. Dört farklı karakteristikte üretilen MM fiber optik gaz sensörlerinin çeşitli endüstriyel gazlara karşı duyarlılıkları ve seçicilikleri bir deneysel optik düzeneğe ölçüm yoluyla test edilmiştir. Çalışmada 1550 nm’de çalışan bir FP lazer kaynağına sahip bir deneysel düzeneğe kullanılmıştır.

II. OPTİK FİBER VOC SENSÖRÜNÜN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Fiber optik iletişim sistemlerinde konektörleri bağlantılarda istenmeyen yansımalar güç kaybına ve kararsızlıklara yol açmaktadır. Kurulma indisleri farklı iki ortam arasında sınıra gelen ışığın bir bölümü geldiği ortama geri yansır, bu olaya Fresnel Yansıması denir. Standart fiber optik konektörlerde Fresnel yansımasıyla geri yansıyan güç miktarı fiber özünün (n_1) ve dış ortamın kurulma indislerine (n_2) bağlıdır. Bu çalışmada standart ST konektörün uç kısmı uçucu organik bileşenleri (VOC) malzeme ile kaplanarak gazı duyarlı değişken kurulma indisli sensör haline dönüştürülmüştür. 1550 nm’de çalışan bir Fabry-Perot lazer kaynağından üretilen ışığın bir kısmı, soğuran algılayıcı malzeme kaplı ST konektör yüzeyinden Fresnel ve interferometrik yansımalar nedeniyle kısmen geri yansımaktadır. Algılayıcı malzeme ile kaplanmış ST konektörde oluşan optik yansımalar şematik olarak şekil 1’de gösterilmiştir. Konektör yüzeyine kaplanan algılayıcı malzeme, bağıntılı uçucu organik bileşenleri soğurma yeteneğine sahiptir. Algılanması istenen gazın soğurmasıyla sensör malzemesinin kurulma indisi değişmekte, bu da başlıca Fresnel yansıması ile geri yansıyan ışık miktarının değişmesine yol açmaktadır. Algılanan gazın sensör kaplamasında meydana getirdiği kurulma indis değişimine bağlı olarak konektörün yansıma katsayısının değişimi denklem (1)’de verilmiştir.

$$R(x) = \left(\frac{n_1 - n_2(x)}{n_1 + n_2(x)} \right)^2 \quad (1)$$



Şekil 1: Yüzeysel Algılayıcı Malzeme ile Kaplı ST konnektördeki Optik Yansımalar

İletilen ve yansıyan güç miktarları ise denklem (2) 'de verildiği gibi birbirine ilişkilidir.

$$P_{\text{yansıyan}} = P_{\text{iletilen}} \cdot R \quad (2)$$

Algılanan gazın cinsine ve miktarına bağlı olarak kaplamada oluşan kırılma indisi değişimi $n_2(x)$, geriye yansıyan ışığın miktarını da değiştirmektedir. Geliştirilen fiber optik VOC sensörünün yapısı şekil 2'de görülmektedir.



Şekil-2: Fiber Optik VOC Sensörün Yapısı

III. ALGILAYICI KAPLAMALAR VE OPTİK ÖZELLİKLERİ

Fiber optik VOC sensörü yapmak için, *PIVP* (polyvinylpyrrolidone), *CuPc* (Copper Phthalocyanine), *H₂Pc* (metal-free phthalocyanine), *CoPc* (Cobalt Phthalocyanine) şeklinde dört farklı algılayıcı kaplama malzemesi kullanılarak dört farklı tipte fiber optik VOC sensörü üretilmiştir. Kullanılan kimyasal kaplama malzemeleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Kullanılan Kimyasal Kaplama Türleri

Sensör	Kaplama Türü
Sensör 1	<i>PIVP</i>
Sensör 2	<i>CuPc</i>
Sensör 3	<i>H₂Pc</i>
Sensör 4	<i>CoPc</i>

Bu çalışmada kullanılan VOC algılayıcı kaplama malzemeleri, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Sensör Grubu laboratuvarlarında özel senteziyle elde edilmişlerdir. Bu kaplama malzemelerinin literatürde bilinen optik özellikleri genel olarak şöyle özetlenebilir.

1-PIVP (Polyvinylpyrrolidone) : *PIVP*, mükemmel geçirgenliği, kolay işlenebilirliği ve iyi çevresel kararlılığından dolayı birleşik polimerler arasında özel ilgi gören bir malzemedir. *PIVP*, iyi bir yük depolama kapasitesine ve optik özelliklere sahip potansiyel bir malzemedir [8]. Literatürde bu kaplamanın optik özellikleri, $Cu^{2+}:PIVP$, $Co^{2+}:PIVP$ veya $Ag:PIVP$ polimer filmlerinin analiz sonuçlarıyla verilmiştir. Genel olarak bu kaplama malzemesinin optik soğurumunun morötesi (UV) ışık bölgesinde yüksek olduğu gözlemlenmiştir. 1000 nm'den sonra ise belirgin bir şekilde düştüğü, 1550 nm dalga boyunda ise saf *PIVP* veya $Co^{2+}:PIVP$ soğurumunun %25 civarında olduğu tespit edilmiştir. [8]

2-CuPc (Copper Phthalocyanine) : *CuPc*, düşük maliyeti ve faydalı optik özelliklerinden dolayı yüksek performansta opto-elektronik aygıtların yapımında geniş uygulama alanına sahip bir organik malzemedir. Bu malzemenin, alan etkili transistörler, verimli organik güneş gözeleri, moleküler gaz sensörleri ve organik bellek uygulamalarında kullanılabileceği önerilmektedir [9]. 16602 nm kalınlığındaki filmin optik özellikleri incelendiğinde, 1000 nm dalga boyundan sonra şeffaf hale geldiği ve çok düşük düzeyde ışık soğurduğu görülmüştür. 1550 nm dalga boyunda ise geçirgenliği %80 civarında olmaktadır [10]. Aynı *CuPc* filmin dalga boyuna bağımlı kırılma indisi değişimi incelendiğinde, 1000 nm'den sonra kırılma indisinin sabit kaldığı, 1550 nm'de ise yaklaşık olarak $n = 1.9$ civarında olduğu gözlemlenmiştir [10].

3-H₂Pc (Metal-Free Phthalocyanine) : *H₂Pc* özellikle optik ve elektriksel özelliklerinden dolayı çok ilgi görmekte ve bu nedenle *H₂Pc* filmler, gaz sensörleri, optik bellekler gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadırlar [11]. Bir çalışmada, 730 nm kalınlığındaki *H₂Pc* filminin dalga boyuna bağımlı optik geçirgenlik karakteristiği incelendiğinde, 800 nm'den yüksek dalga boylarında optik geçirgenliğinin %80'dan fazla olduğu görülmüştür [12]. Aynı filmin kırılma indisi grafiği incelendiğinde, 820 nm'ye kadar olan dalga boylarında yüksek kararlılık ve kırılma indis değerinde aşırı dalgalanmalar görülürken, 820 nm ile 3000 nm dalga boyu arasında nisbeten düzgün ve yavaş bir kırılma indisi değişimi görülmektedir. 1550 nm dalgaboyundaki kırılma indisi ise yaklaşık $n = 2.2$ değerini aldığı gözlemlenmiştir [12].

4-CoPc (Cobalt Phthalocyanine) : *CoPc* ışığa, sıcaklığa, neme ve oksijene karşı mükemmel dayanıklılığı olan bir organik yarı iletkenidir [13]. Son on yılda yapılan araştırmalarda bu materyalin gaz sensörü, optik algılayıcı, optik bellek ve LED yapımı gibi gelişmiş teknolojilerde kullanılabilecekleri gösterilmiştir [14]. Bir *CoPc*

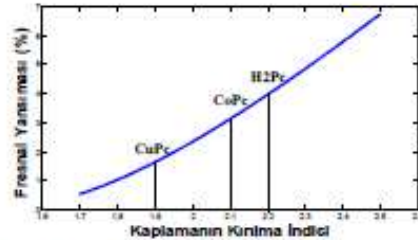
Yarıma Tipli Optik Fiber Uçucu Organik Bileşen Sensör Tasarımı

malzemenin kırılma indisi 500 nm dalga boyunda küçük değerlerde ($n = 1.4$ civarı) iken, 900 nm'de tepe değere yani $n = 3.0$ civarına çıktığı gözlemlenmiştir. Bu aralıkta oluşan indis dalgalanmalarının 900 nm'den sonra daha kararlı hale dönüştüğü görülmüştür. 1550 nm dalga boyundaki kırılma indisi ise $n = 2.1$ civarındadır [14].

IV. SIMULASYON

Kuru havalı ve uçucu organik bileşen bulunan ortamların arasındaki bağıl güçteki değişim, algılayıcı kaplamanın uçucu organik bileşen ortamla tepkimeye girmesiyle kırılma indisinde meydana gelen değişimden kaynaklanmaktadır. Algılayıcı kaplamanın kırılma indisindeki değişmeye bağlı % Fresnel yansımaları simüle edilmiştir. Burada n_1 fiber özünün kırılma indisi, $n_2(x)$ ise kaplamanın kırılma indisi, 1550 nm dalga boyunda kaplamaların kırılma indis değerleri CuPc için $n = 1.9$, H₂Pc için $n = 2.2$, CoPc için $n = 2.1$ olmaktadır. Bu kırılma indis değerlerinde soğurum sonucunda %10 artma ve azalma olabileceği varsayılarak % Fresnel yansımaları değişimi elde edilmiştir.

Şekil 3'te görülen grafikte, kırılma indisi değişimine bağlı Fresnel yansımaları geriye yansıyan gücün yüzde değişimini etkilediği görülmektedir. Kullanılan kaplamaların kırılma indislerindeki artışın yansımada artışa neden olduğu görülmektedir. Bu değişimlerinden anlaşıldığı gibi kullanılan kaplama malzemelerinin gazlı ortamdaki reaksiyonu sonucu oluşacak kırılma indisindeki değişimlerin ölçümler için yeterli olabileceği tespit edilmiştir.



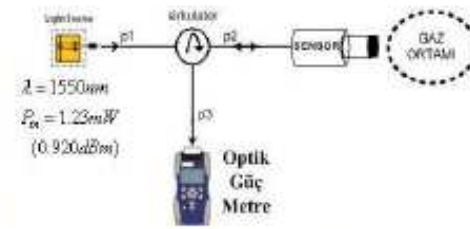
Şekil-3: Kaplama Kırılma İndisine Bağlı % Fresnel Yansımalarının Değişimi

V. DENEY DÜZENEGİ

Şekil 4'te fiber optik gaz algılama sisteminin deneysel düzeniği görülmektedir. Deney düzeniğinde yukarıda genel optik özellikleri verilen özel sentezlenmiş algılayıcı kaplama malzemeleri kaplanmış çok modlu fiber ST konektörler VOC sensörü olarak kullanılmaktadır. Fiber optik ST konektör yüzeyleri belirli bir gazla tepkimeye girecek aktif VOC algılayıcı malzemeleri ile daldırma yöntemi ile kaplanmıştır.

Sensörlerin duyarlılık ve seçiciliğini ölçmek için oluşturulan deney düzeniğinde 1550 nm dalga boyunda çalışan 1.23 mW gücünde bir kararlı FP lazer kaynak kullanılmıştır. Kaynaktan çıkan ışık, optik sirkülatörün 2. portu üzerinden gaz ortamıyla temas halinde olan sensöre

ulaşır. Lazer ışığının bir miktarı optik geri yansımalar nedeniyle geri yansıtılmaktadır. Sensördeki geri yansımalar miktarı, kaplamanın ve fiber özünün kırılma indislerine bağlıdır. Gaz ortamındaki kimyasalın buharı ile kaplamanın etkileşimi sonucu, kaplamanın kırılma indisi değişeceğinden geri yansıyan güçte de değişim olacaktır. Fresnel yansımalarından dolayı sensörden geriye yansıyan ışık, sirkülatörün 3. portundan alınarak bir optik güçmetre yardımıyla ölçülmektedir.



Şekil-4: Deney Düzeneyi

VI DENEYSEL SONUÇLAR

İlk olarak oda sıcaklığında ve temiz hava ortamında tüm VOC sensörlerin tepkisi elde edilmiştir. Bu aşamada ölçülen yansıyan güç değerleri sensörler için referans yansıyan güç değerleri oluşturmaktadır. Daha sonra algılanmak istenen ve Tablo 2'de listelenen VOC buharlarına üretilen sensörlerin verdiği tepkileri elde etmek için, sensör başlığı uçucu organik bileşenlerin buharının bulunduğu cam şişeye ortalama 3 cm mesafeden dik olarak tutulmuş, yansıyan güç ölçümleri tekrar edilmiştir.



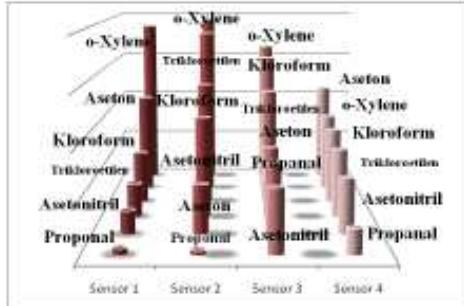
Şekil-5: VOC Sensörle Uçucu Organik Bileşen Buharlarının Etkileşimi

Uçucu organik bileşen buharı bulunan ortamla temiz ortam arasındaki yansıyan güç değerlerinin farkı alınarak dB cinsinde hesaplanmıştır. Bu işlem, farklı algılayıcı kaplamalarına sahip 4 ayrı fiber optik VOC sensörü (PVP, CuPc, H₂Pc, CoPc) ile 6 farklı uçucu organik bileşen buharı (Aseton, Asetonitril, Kloroform, o-Xylene, Propanal, Trikloroetilen) için tekrarlanmıştır. Ölçümlerin tekrarlanabilirliğini yüksek tutmak için, her bir sensörle temiz ortamda ve uçucu organik bileşen buhar ortamında en az dört ayrı ölçüm yapılmış ve bu şekilde sonuçların tekrarlanabilirliği gözlemlenmiştir.

Tablo 2: Sensörlerin Ölçülen Uçucu Organik Bileşenlere Karşı Verdiği Tepki Sonuçları

Kimyasal Buharları	Sensör 1 (dB)	Sensör 2 (dB)	Sensör 3 (dB)	Sensör 4 (dB)
Aseton	10.703	5.06	-7.362	-10.946
Asetonitril	2.42	10.5	-6.3	-5.66
Kloroform	5.46	13.022	-16.10	-8.01
o-Xylene	18.585	19.443	-15.365	-8.546
Propanal	0.67	0.463	-7.205	-2.55
Trikloroetilen	3.57	18.17	-12.29	-7.14

VOC sensörlerin uçucu organik bileşenlere vermiş olduğu tepkiler Tablo 2'de görülmektedir. Kaplamaların birbirinden farklı tepkiler verdiği anlaşılmaktadır. Tablo 2'deki sonuçlardan ayrıca PVP ve CuPc kaplamaları için bağlı güç değişimleri pozitif iken, H_2Pc ve $CoPc$ kaplamaları için bağlı güç değişimleri negatif olmaktadır.

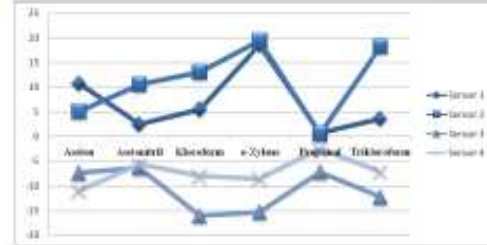


Şekil-6: Sensörlerin kimyasal buharlara verdiği tepkilerin grafiksel gösterimi

Negatif sonuçların mutlak değeri alınarak çizilen Şekil 6'daki grafikte gözüktüğü gibi herhangi bir sensörün farklı VOC verdiği duyarlılık farklıdır. Özellikle 1. ve 2. sensörlerin tepkileri açık bir şekilde birbirinden farklıdır. 3. ve 4. sensörlerde ise birbirine daha yakın tepkiler alınmıştır. Ancak genel olarak Şekil 7'deki sensör duyarlılık grafiği incelendiğinde ayırt edilebilirlik için yeterli sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Sonuçta sensörler için kullanılan kimyasal kaplamaların uçucu organik bileşenlere seçici davrandığı ve bu nedenle geliştirilen ince film yapılarının VOC belirlemede sensör olarak kullanılabilirlikleri anlaşılmaktadır.

VI. SONUÇLAR

Özel olarak sentezlenmiş $CuPc$, H_2Pc , $CoPc$ ve PIP kimyasalları ile çok modlu optik fiber konektörün uç kısmında daldurma yöntemiyle ince film kaplama yapılarak fiber optik VOC sensörüne dönüştürülmüştür. 1550 nm dalga boyunda çalışan bir FP lazer kaynak ve bir fiber optik düzeneği sayesinde, gaz ortamıyla tepkimeye sokulan sensörden optik yansımaya sonucu yansıyan güçte meydana gelen bağlı değişimler VOC cinsine bağlı olarak elde edilmiştir.



Şekil-7: Sensörün Duyarlılık Grafiği

Geliştirilen fiber optik VOC sensörleri çeşitli uçucu organik bileşenlere karşı duyarlılıklarının farklı olması ayrımsal bir tepki verdiği sonucunu doğurmaktadır. Sensör yapılarının gazlara karşı seçici ve duyarlı olması endüstriyel uygulamalarda da bir alternatif sensör tipi olarak fiber optik sensörlerin kullanılabilirliğini göstermektedir.

Teşekkür - Fiber optik sensörlerde kullanılan algılayıcı kimyasalları sentezleyen, algılayıcı sistemin kurulmasında destek veren TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Sensör Grubuna teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Dakin J. And Culshaw B., "Optical Fiber Sensor." Norwood, MA: Artech House, 1997, vol. 4, pp.32-46.
- [2] Zayvatskiy M., Stewart G., " Coherence addressing of quasidistributed absorption sensors by the FMFCW method." J. Lightwave Technol., vol. 18, pp. 57-65, Jan. 2000.
- [3] Sekimoto S., Nakagawa H., Okazaki S., Fukuda K., Anakara S., Shigewaki T. And Takahashi S., "A Fiber-Optic evanescent-wave hydrogen gas sensor using palladium-supported tungsten oxide." Sens. Actuators B, Chem., vol. B66, pp. 142-145, 2000.
- [4] Ghosh R. N., Baker G. L., Raud C., Nocera D. G., "Fiber optic oxygen sensor using metal-halide cluster luminescence." Proc. SPIE, vol. 3860, pp. 164-170, 1999.
- [5] Toba E., Kazama J., Tanaka H., Nishimatsu T., Aizawa H., Ishizawa H., "Fiber optic fluorescence for oxygen measurement." IEICE Trans. Electron., vol. E83C, pp. 366-370, 2000.
- [6] Yamakawa S., "Optical odor sensors using potential sensitive dye coatings." Trans. IEICE, vol. J76C-II, pp. 571-575, 1993.
- [7] Arregui F. J., Claus R. O., Cooper K. L., Valdiviaño C., Matias I. R., "Optical Fiber Gas Sensor Based on Self-Assembled Gratings." J. Lightwave Technol., vol.19, No.12, December 2001.
- [8] Sivinal K., Rudramadevi B. H., Kamev G. B., Varadarajulu A., " Structural, thermal and optical properties of and polymer films." Indian Journal of Pure & Applied Physics, vol.48, pp.658-662, September 2010.
- [9] Wojdyla M., Derkowska B., Bala W., Bratkowski A., Korcyla A., "Investigation of optical transition energy in copper phthalocyanine by transmission, reflection and photoreflectance spectroscopy," Optical Materials 28, 1000-1005, 2006.
- [10] El-Nahas M. M., Bahabri F. S., Al-Harbi R., "Optical Properties of Copper Phthalocyanine Thin Films," Egypt. J. Sol., Vol. 24, No. 1, 2001.
- [11] Yakuphanov F., Durmaz M., Köysal O., Ahsen V., "The Refractive index dispersion and the optical constants of liquid crystal metal-free and nickel (II) phthalocyanines," Physica B. 373, pp. 262-266, 2006.
- [12] Alameri S. N., Jorad A. A., Al-Raqi S. Y., "Structural and optical properties of thermally evaporated 1,4,8,11,15,18,22,25-octahydrophthalocyanine thin films," Thin Solid Films 510, pp. 265-270, 2006.
- [13] Joseph B., Mason C. S., "Studies on the optical properties and surface morphology of Cobalt Phthalocyanine Thin Films." E-Journal of Chemistry, vol. 5, No. 1, pp. 86-92, January 2008.
- [14] El-Nahas M. M., Farag A. A. M., Atta A. A., " Influence of heat treatment and gamma-rays irradiation on the structural and optical characterizations of nano-crystalline Cobalt Phthalocyanine thin films", Synthetic Metals 159, pp. 589-594, 2009.

- Ek 2. Durak F.E., Altuncu A. ve Ebeoğlu M.A., “Yansıma Tipli Optik Fiber Uçucu Organik Bileşen Sensörü”, *13. Ulusal Optik, Elektro-Optik ve Fotonik Çalışma Toplantısı*, Bilkent Üniversitesi, Ankara, 2011.

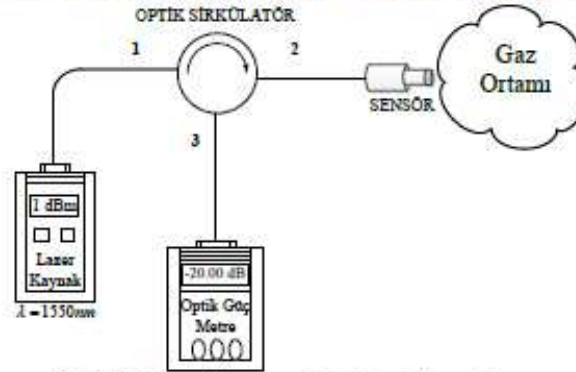
Yansıma Tipli Optik Fiber Uçucu Organik Bileşen Sensörü

F. E. Durak, A. Altuncu, M. A. Ebeoğlu
Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Elektrik-Elektronik Bölümü
firat@dpu.edu.tr

Özet

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ve ihtiyaçların artmasıyla birlikte sensör yapımında farklı yapılar denenmiş, geliştirilmiş ve kullanılmaktadır. Sadece yüksek hızda ve kapasitede veri iletiminde kullanılan optik fiberler, sensör alanında da gelişim göstermekte [1] ve belirgin avantajları ile geleneksel sensör teknolojilerine göre üstünlük sağlamaktadır. [2]

Bu çalışmada, standard çok modlu (S-MMF) fiber optik ST konektörün uç kısmı, çeşitli uçucu organik bileşenleri (VOC) algılayıcı sensör malzemeleri ile kaplanarak yüksek duyarlılık ve düşük tepki süresine sahip endüstriyel amaçlı fiber optik gaz sensörlerine dönüştürülmüştür. Ftalosiyanın [3] kaplanarak elde edilen farklı sensör yapılarının performansı bir optik düzenekte deneysel olarak test edilmiştir. Ortamdaki gazın cinsine ve miktarına bağlı olarak algılayıcı kaplama malzemesinde oluşan kırılma indisi değişimi, Fresnel yansıması ile geriye yansıyan ışığın gücünü değiştirmektedir. [4]



Şekil.1 Fiber optik gaz sensörü sisteminin genel yapısı

Elde edilen deneysel sonuçlar, tepkime süresi çok kısa olan bu tür sensörlerin algılanan VOC bileşenlerin türüne ve ppm oranına bağlı değişen oranlarda seçicilik ve duyarlılığa sahip olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak bu çalışmada geliştirilen optik fiber gaz sensörü yapılarının çeşitli endüstriyel uygulamalarda alternatif sensör tipi olarak optik fiber sensörlerin kullanılabilceği gösterilmiştir.



Şekil.2 4 Farklı sensör tipi ile 6 farklı uçucu organik bileşen için alınan deneysel sonuçlar

Anahtar kelimeler: Fiber Optik, Optik Fiber Gaz Sensörü, Fresnel Yansımaları

Kaynakça

- [1] Arregui F. J., Claus R. O., Cooper K. L., Valdivielso C., Matias I. R. "Optical Fiber Gas Sensor Based on Self-Assembled Gratings." *J. Lightwav Technol.*, vol.19., No.12, December 2001.
- [2] Dakin J. and Culshaw B., "Optical Fiber Sensor." Norwood, MA: Artech House, 1997, vol. 4, pp 32-46
- [3] Gürek A. "Ftalosiyanın ve Uygulama Alanları", Gebze İleri teknoloji Enstitüsü E-Bülten, Sayı 8, Mayıs 2005
- [4] Durak E. F., Altuncu A., Ebeoğlu M. A., "Yansıma Tipli Optik Fiber Uçucu Organik Bileşen Sensör Tasarım", 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Electrical & Electronics Technologies Papers, Vol.4, EAE-51, p.236-239,16-18 May 2011, Elazığ, TURKEY.