

PVP Tabanlı Yansıma Tipli Fiber Optik Uçucu Organik Bileşen Sensörü PVP Based Reflection Type Optical Fiber Volatile Organic Compound Sensor

Fırat Ertaç DURAK¹, Ahmet ALTUNCU¹, M. Ali EBEOĞLU¹

¹ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Dumlupınar Üniversitesi

firat@dpu.edu.tr , altuncu@dpu.edu.tr, mebeoglu@dpu.edu.tr

Özet

Fiber optik teknolojisi, sağladığı avantajları nedeniyle haberleşme sistemlerinde olduğu kadar yaygın bir şekilde sensör uygulamalarında da kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada, çok modlu fiber optik ST konektörün uç kısmı çeşitli uçucu organik bileşenlere (UOB) duyarlı PVP (polyvinylpyrrolidone) malzemesi ile kaplanarak yeni ve basit bir sensör yapısı geliştirilmiştir. Algılanan uçucu organik bileşenin türü ve yoğunluğuna bağlı olarak sensör kaplamasındaki Fresnel yansıması değişmektedir. Bu temel prensibe dayanarak çalışan sensör, dalgaboyundan bağımsız çalışan bir optik deney düzeneğinde ölçüm yolu ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, geliştirilen sensör yapısının yüksek seçicilik, duyarlılık ve tekrarlanabilirliği sayesinde çeşitli endüstriyel uygulamalarda aseton, asetonyril, propanal, oXylene ve trikloroetilen gibi uçucu organik bileşenlerin algılanmasında ve miktarlarının ölçülmesinde kullanılabileceği görülmüştür.

Abstract

Optical fiber technology is widely used in sensor applications as well as its usage in communication systems due to their important advantages. In this study, a novel and simple optical fiber sensor structure has been developed by coating the surface of a multimode optical fiber ST connector with a PVP (polyvinylpyrrolidone) thin film which is sensitive to different volatile organic compounds (VOCs). Depending on the type and the amount of VOC sensed, Fresnel reflection occurring at the sensor coating changes. The proposed sensor structure based on this fundamental principle was tested using a wavelength independent optical experimental setup. The results obtained have shown that the developed sensor structure can widely be used in various industrial applications due to their high selectivity, sensitivity and reproducibility performance to detect and measure the different VOCs such as acetone, acetonitrile, propanal, oXylene and trichloroethylene.

1. Giriş

Uçucu organik bileşenler, endüstriyel üretim proseslerinde çeşitli kimyasal reaksiyonlar sırasında sıklıkla meydana gelmektedirler. Oda sıcaklığında çok kısa sürede buharlaşabilen UOB'lerin birçoğu insan sağlığına ve çevreye zarar verebilmektedirler. Bu yüzden, UOB'in doğru ve hızlı bir şekilde algılanması ve analiz edilmesi oldukça gereklidir [1].

Fiber optik sensörleri elektriksel yalıtkanlıkları, pasif yapıları, yüksek hassasiyet ve seçicilikleri, küçük boyutlu oluşları gibi avantajları sayesinde elektronik sensör yapılarına göre üstünlük sağlamaktadırlar [2]. Temel olarak fiber optik sensörler etkileşimin fiberin içinde veya dışında olmasına göre içten veya dıştan etkileşimli olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar. Ayrıca içten etkileşimli sensörler iletim ve yansıma tipli olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadırlar. İletim tipli içten etkileşimli fiber optik sensör yapısında, fiberin öz kısmı algılayıcı malzeme ile kaplanır. Bu tip sensörde ortamdaki UOB'ler ile algılayıcı sensör kaplamasının etkileşmesine bağlı olarak fiberde iletilen sinyal genliğinde bir değişme meydana gelmektedir. Yansıma tipli içten etkileşimli fiber optik sensör yapısında ise fiber uç kısmı duyarlı ince film ile kaplanır. Fiber boyunca ilerleyen ışığın bir kısmı, fiber uç yüzeyindeki duyarlı ince filmin UOB ile etkileşmesine bağlı olarak geri yansıtılmaktadır [3]. Literatürde çok çeşitli UOB algılama yöntemleri geliştirilmiştir. Yapılan dıştan etkileşimli bir fiber optik sensör çalışmasında, kızılötesi bölgede çalışan fotonik band aralıklı fiberlerle soğurum spektrumu karakteristiklerine dayanan UOB algılaması gerçekleştirilmiştir. [4]. Yansıma tipli içten etkileşimli bir sensör uygulamasında ise fiber ucuna ince bir polyprrrole filmi mekaniksel olarak tutturularak sensöre dönüştürülmüş, bir beyaz ışık kaynağı (400-800 nm) kullanılarak çeşitli UOB'ler algılanabilmektedir. [5]. Bir diğer yansıma tipli içten etkileşimli fiber optik sensör çalışmasında, tek modlu fiberin sonuna polimerik organik malzemesi kendiliğinde tutturma (ESA) metodu ile kaplanarak çok tabakalı sensör yapılarının UOB'e karşı tepkileri elde edilmiştir. [6].

Yapılan bu çalışmada, birçok modlu fiber optik ST konnektörün uç kısmı uçucu organik bileşenleri algılamak için geliştirilmiştir. Soğurulan UOB'in cinsi ve miktarına göre PVP kaplamada kırılma indis değişimi meydana gelmekte, bu da dolayısıyla Fresnel yansıma miktarını değiştirmektedir. Geliştirilen sensör yapısı aseton, asetonitril, propanal, oXylene ve trikloroetilen gibi endüstriyel UOB'lerin algılanmasında kullanılarak duyarlılığı ve seçiciliği analiz edilmiştir.

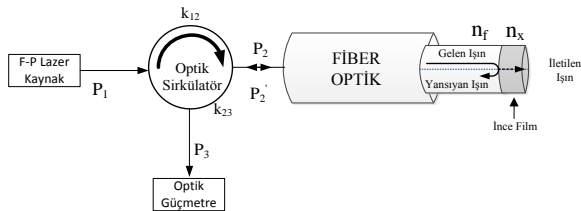
2. Sensör Mekanizması

Geliştirilen fiber optik uçucu organik bileşen sensör yapısı şekil.1'de görülmektedir. Ucu algılayıcı PVP malzemesi ile düzgün bir şekilde kaplı olan çok modlu fiber konnektörde meydana gelen Fresnel yansıma değişimi sensör mekanizmasının temelini oluşturmaktadır. Algılayıcı kaplama malzemesi olan PVP (polyvinylpyrrolidone) haberleşme sistemlerinde yaygın olarak kullanılan 1550 nm dalgaboyu penceresinde düşük soğuruma sahiptir. Bu malzeme gaz algılama, optiksel veri saklama ve kimyasal proseslerde çözücü olarak sıklıkla kullanılmaktadır [7].



Şekil 1: Fiber optik uçucu organik bileşen sensörü

Gerçekleştirilen fiber optik uçucu organik bileşen sensör sistemi şekil.2'de görülmektedir. Sistemde 1550nm'de çalışan bir FP lazer kaynağı, bir optik sirkülör, ince film kaplı fiber optik ST konnektörlü pig-tail ve bir optik güç metre kullanılmıştır. C bandında çalışan (1525-1565 nm) optik sirkülör FP lazer çıkış sinyalinin algılayıcı fiber optik konnektöre aktarmakta, Fresnel yansımasıyla yansıyan optik sinyali optik güçmetreye yönlendirerek ölçülmesini sağlamaktadır.



Şekil 2: Algılayıcı ince film kaplamasının UOB ile etkileşimine bağlı olarak bağlı yansıyan optik güç (dB) ölçüm prensibi

Fiber ve kaplama malzemesi arasındaki Fresnel yansıması

$$R_1 = \left(\frac{n_f - n_x}{n_f + n_x} \right)^2 \quad (1)$$

şekindedir. Algılayıcı kaplama malzemesini UOB ile etkileşmesiyle kırılma indisinde (n_x) değişim meydana gelmektedir. Fresnel yansımasının algılanan UOB'e bağlı yeni değeri

$$R_2 = \left(\frac{n_f - n_x'}{n_f + n_x'} \right)^2 \quad (2)$$

olmaktadır. P_1 FP lazer çıkış gücü, k_{12} ve k_{23} sirkülörün portları arasındaki iletim kaybı olmak üzere hava ve UOB ortamları için sirkülörün üçüncü portundaki optik güç P_3

$$P_3^{hava} = P_1 k_{12} k_{23} R_1 \quad (3)$$

$$P_3^{UOB} = P_1 k_{12} k_{23} R_2 \quad (4)$$

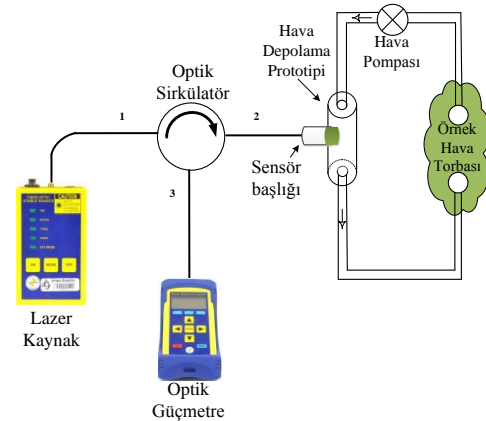
şeklinde verilebilir. Buna göre bağlı yansıyan optik güç R

$$R = \frac{R_2}{R_1} = \frac{P_3^{UOB}}{P_3^{hava}} = 10^{\left(\frac{P_3^{UOB} - P_3^{hava}}{P_3^{hava}} \right)} \quad (5)$$

olarak tanımlanır. Denklem 5'te ifade edilen bağlı yansıyan güç ölçümlerine bağlı olarak test edilen uçucu organik bileşenin cinsi ve yoğunluğu tespit edilebilir [8].

3. Deneysel Düzenek ve Sonuçları

Geliştirilen PVP tabanlı sensörün farklı UOB'lere karşı seçicilik ve duyarlılığını analiz etmek kurulan deneysel düzenek şekil.3'te görülmektedir. Bu düzenekte geliştirilen sensör başlığı 750 cm³ hacme sahip bir özel olarak imal hava depolama prototipine dik bir şekilde yerleştirilmiştir. Sistemde biri kuru hava ile dolu referans olarak, diğeri de UOB eklenmiş olmak üzere iki örnek hava torbası bulunmaktadır. Örnek hava torbası ile hava depolama prototipi arasındaki hava akışı kararlı bir şekilde çalışan pompa yardımıyla sağlanmaktadır.

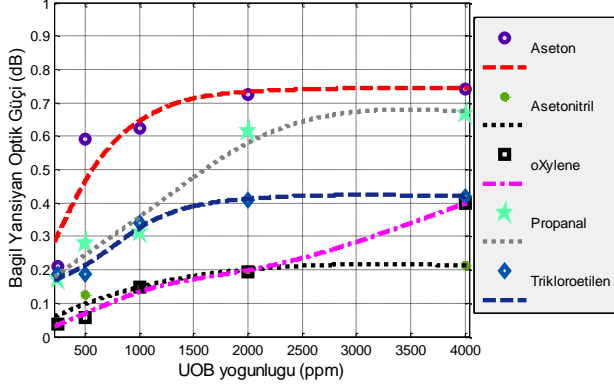


Şekil 3: Deneysel düzenek

Ölçümün ilk basamağında, sisteme içi kuru hava dolu örnek hava torbası eklenmektedir. Daha sonra hava pompası 30 saniye süreyle çalıştırılarak kuru havanın sirkülasyonu sağlanmaktadır. Kuru hava için sensör tepkisinin en yüksek değerini 3 dakikalık gözlem sonucunda tespit edilmiştir.

Ölçülen bu güç yansıma değeri (P_3^{Hava}) referans güç olarak kabul edilir. Ölçümün ikinci basamağında ise sisteme uçucu organik bileşenler enjekte edilmiş örnek hava torbası yerleştirilmiş ve kuru hava için yapılan ölçüm süreci tekrarlanmıştır. Sonuçta bağıl yansıyan optik güç (R) cinsinden sensörün tepkisi elde edilmiştir. Bu ölçüm basamakları yaygın endüstriyel UOB'lerden aseton, asetonitril, oXylene, propanal ve trikloroetilenin farklı yoğunlukları (250-500-1000-2000-4000 ppm) için tekrarlanmıştır. Ayrıca algılamanın tekrarlanabilirliğini test etmek için tüm ölçümler dört farklı zaman diliminde tekrar edilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda ilk olarak, farklı zaman dilimlerinde ölçümlerin tekrarlanmasına rağmen, sensörün aynı uçucu organik bileşen tipi için benzer bağıl güç değişimleri verdiği görülmüştür. Bu sonuç geliştirilen sensör yapısının tekrarlanabilirliğinin yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Yapılan tüm deneylerde kuru veya gazlı hava sirkülasyonu ile sistemin kalıcı hale geçme süresi 10 saniyenin altındadır.



Şekil 4: PVP tabanlı yansıma tipli sensörün 250 ile 4000 ppm arasında değişen yoğunluktaki 5 farklı uçucu organik bileşen için bağıl yansıyan optik güç (dB) tepkisi.

PVP sensörün 250 ile 4000 ppm arasındaki UOB yoğunluğuna bağlı olarak vermiş olduğu bağıl yansıyan optik güç (dB) değerleri ve bu değerlerden elde edilen polinom eğrileri Şekil 4'te görülmektedir. Elde edilen polinom eğrileri incelendiğinde, PVP sensörün tepkisinin algılanan UOB yoğunluğuna bağlı olarak artış gösterdiği tespit edilmiştir. Tüm UOB'ler için PVP sensörün tepkisi 2000 ppm seviyesine kadar artış göstermekte daha yüksek yoğunluklar içinse doyuma ulaşmaktadır. Yalnızca oXylene için 4000 ppm yoğunluğuna kadar lineer bir artış elde edilmiştir. Genel olarak tüm UOB'ler için 1000 ppm değerine kadar PVP sensörün tepkisi lineer artan yapıdadır. PVP sensör için en yüksek bağıl yansıyan optik güç değeri asetonunda, en düşük bağıl yansıyan optik güç değeri de asetonitril için elde edilmiştir. Propanal ve oXylene için elde edilen tepkiler yoğunluğa bağlı olarak nispeten yüksek ve lineer artan şeklindedir.

Elde edilen sonuçlar irdelendiğinde, geliştirilen PVP tabanlı fiber optik uçucu organik bileşen sensörünün kompakt bir cihaza dönüştürülmesiyle özellikle endüstriyel uygulamalarda sıklıkla karşılaşılan aseton, asetonitril, oXylene, propanal ve trikloroetilen gibi uçucu organik bileşenlerin algılanmasında

ve yoğunluklarının ölçülmesinde kullanılabileceği görülmüştür. Geliştirilen PVP sensör yapısının incelenen UOB'lere karşı yeterli duyarlılık ve seçicilikte olduğu, sensörün tekrarlanabilirliğinin yüksek olduğu ortaya çıkmıştır.

4. Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada, endüstriyel uçucu organik bileşenleri algılayabilen, yeterli seçiciliğe ve tekrarlanabilirliğe sahip yeni ve basit bir yansıma tipli PVP tabanlı fiber optik sensör yapısı geliştirilmiştir. Algılayıcı kaplama malzemesi olarak UOB'e duyarlı PVP (polyvinylpyrrolidone) kullanılmıştır. Geliştirilen fiber optik sensör sisteminin en önemli avantajlarından birisi geniş bantlı optik ışık kaynağı gerektirmemesi ve dalgaboyundan bağımsız ucuz bir FP lazer kaynak yardımıyla ölçüme izin vermesidir. Kurulan deney düzeneğiyle farklı yoğunluktaki aseton, asetonitril, oXylene, propanal ve trikloroetilene PVP tabanlı fiber optik sensörün tepkisi bağıl yansıyan optik güç (dB) cinsinden elde edilmiştir. Gerçekleştirilen PVP sensör yapısı yüksek tekrarlanabilirliğe ve karakteristik doyum eğrilerine sahiptir. Ölçüm sistemin kalıcı hale geçiş süresi yeterince düşüktür. Bir sonraki çalışmada, kalınlığı hassas bir şekilde kontrol edilebilen çoklu kaplama yöntemiyle fiber optik sensör yapıları geliştirilerek daha farklı endüstriyel uçucu organik bileşenlerin algılanması sağlanabilir. Ayrıca farklı malzemeler ile elde edilmiş sensörler dizi yapısı oluşturularak kompozit gazların analiz edilmesi mümkün olabilir.

5. Kaynaklar

- [1] C. Elosua, I. R. Matias, C. Barriain and F. J. Arregui, Volatile organic compound optical fiber sensors: a review, *Sensors*, 1440-1465, 2006.
- [2] F. E. Durak, A. Altuncu and M. A. Ebeoğlu, Design of reflection type optical fiber volatile organic compounds sensor, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 2011.
- [3] C. Elosua, C. Barriain and I. R. Matias, Optical fiber sensing applications: detection and identification of gases and volatile organic compounds, *Fiber Optic Sensors, InTech*, 27-52, 2012.
- [4] A. Yidirim, M. Vural, M. Yaman and M. Bayindir, Bioinspired optoelectronic nose with nanostructured wavelength-scalable hollow-core infrared fibers, *Advanced Materials*, 23, 1263-1267, 2011.
- [5] H. Qin, A. Kulkarni, H. Zhang, H. Kim, D. Jiang, T. Kim, Polypyrrole thin film fiber optic chemical sensor for detection of VOCs, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 223-228, 2011.
- [6] C. Elosua, C. Barriain, I. R. Matias, F. J. Arregui, A. Luquin, M. Laguna, Organic vapors detections using single mode fiber at third telecommunication window, *IEEE Sensors*, 154-157, 2009.
- [7] K. Sivaiah, B. H. Rudramadevi and G. B. Kumev, A. Varadarajulu, Structural, thermal and optical of Cu^{2+} and Co^{2+} : PVP polymer films, *Indian Journal of Pure & Applied Physics* v.48, 658-662, 2010.
- [8] F. Ertaç Durak, Yansıma tipli uçucu organik bileşen sensörü, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 306962 (Yök Kayıt No), 35-45, 2012.