

SIVI KONSANTRASYONU TESPİTİ İÇİN FRESNEL YANSIMA TABANLI FİBER OPTİK KIRILMA İNDİS SENSÖRÜ

FRESNEL REFLECTION BASED FIBER OPTIC REFRACTIVE INDEX SENSOR FOR LIQUID CONCENTRATION DEDECTION

Arif BAŞGÜMÜŞ¹, Fırat Ertaç DURAK¹, Şerif Ali SADIK¹,
Ahmet ALTUNCU¹, Güneş YILMAZ², Mehmet Ali EBEOĞLU¹

1. Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Dumlupınar Üniversitesi
fertac.durak@dpu.edu.tr

2. Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Uludağ Üniversitesi

ÖZETÇE

Her maddeye özgü fiziksel bir özellik olan kırılma indisinin ölçümü başta gıda sektöründe kalite kontrolü olmak üzere, medikal uygulamalarda, biyokimyasal analizlerde ve çevresel kirlilik ölçümlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Sağladığı avantajları sayesinde fiber optik tabanlı kırılma indis sensörleri ön plana çıkmaktadır. Yapılan bu çalışmada basit, güvenilir ve hassasiyeti yüksek bağlı ölçüm yapabilen Fresnel yansımaya tabanlı bir fiber optik kırılma indis sensörü geliştirilerek çeşitli sıvıların farklı zaman dilimlerinde kırılma indis değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar standart ölçüm değerleri ile kıyaslandığında hata yüzdesinin %1'in altında olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada ayrıca, etanolün kırılma indisinin uzun süreli zamana bağlı değişimi ile tuzlu su çözeltisinin konsantrasyonuna bağlı kırılma indis değişimi elde edilmiştir.

ABSTRACT

Measurement of refractive index which is one of the distinctive properties of materials is commonly used in many fields such as quality control of food industry, biomedical applications, biochemical analysis and measurement of environmental pollution. From the refractive index measurement methods, the one based on fiber optic stands out with their provided advantages. In this study, firstly, a simple, reliable and highly sensitive Fresnel reflection based fiber optic refractometer was setup, then the refractive indexes of various liquids were measured using this setup at different times. When the measurement results are compared with material science data sheet (MSDS) values, the percent error was found to be less than %1. Moreover, the long term stability of ethanol's refractive index was examined and the refractive index variation of salt-water was obtained as a function of the salt concentration.

1. GİRİŞ

Kırılma indis, maddeye özgü fiziksel bir ayırt edici özelliktir. Başta gıda sektöründe kalite kontrolü olmak üzere, medikal uygulamalarda, biyokimyasal analizlerde ve çevresel kirlilik ölçümlerinde kırılma indis ölçümü içeren çeşitli türdeki sensör yapıları sıklıkla kullanılmaktadır [1]. Fiber optik tabanlı kırılma indis ölçüm yapıları elektromanyetik bağımsızlık, uzaktan algılamada yüksek güvenilirlik, düşük tepkime süresi, yüksek hassasiyet gibi sağladığı avantajları sayesinde günümüzde sıklıkla tercih edilmektedir [2].

Sıvıların kırılma indis ölçümü için en yaygın olarak kullanılan yöntem, optik geçirgenlik prensibine dayanan Abbe

refraktometresidir [3]. Bir diğer yöntemde ise çeşitli sıvıların kırılma indisini belirlemek için Fresnel yansımaya tabanlı bir fiber optik ölçüm düzeneği kullanılmaktadır [4-6]. Bir yöntemde, 1310 nm ile 1551 nm dalga boylarında fiberin uç kısmından yansıyan güç oranı ölçülerek, sıvının kırılma indis değeri bulunmuştur [4]. Önerilen diğer bir yöntemde optik anahtarlar içeren Fresnel yansımaya tabanlı fiber optik kırılma indis sensörü geliştirilmiştir [7]. Bu çalışmada optik anahtar gerilim sürücü yardımıyla kontrol edilerek sırasıyla referans (hava) ve ölçülecek sıvının yansıyan güç değerleri ölçülmüştür. Yapılan bir başka çalışmada, uzaktan kırılma indis ölçümü için OTDR (optical time domain reflectometry) tekniği kullanılmıştır [8].

Bu çalışmada, bir yansımaya tabanlı eş zamanlı bağlı ölçüm yapabilen basit fiber optik kırılma indis ölçüm sistemi gerçekleştirilerek çeşitli sıvıların kırılma indis değerleri belirlenmiştir. Bu ölçüm sisteminde ışık kaynağı olarak 1550 nm dalga boyunda ve sabit güçte çalışan bir Fabry-Perot lazer kaynağı kullanılmıştır. Lazer kaynak bir harici modülasyon girişiyle 15 kHz'de modüle edilmektedir. Sistemin temel çalışması, fiberin uç kısmından Fresnel yansımaları ile yansıyan ışık yoğunluğunun sıvıların çeşitliliğine göre farklılık göstermesine dayanmaktadır. 2x2 optik kuplör yardımıyla yansıyan sinyal fotodetektöre ulaşmaktadır. Daha sonra elektriksel hale dönüşen sinyalin genlik değerleri osiloskop yardımıyla gözlemlenerek bilgisayara aktarılmaktadır. Elde edilen veriler işlenerek kırılma indis değeri hesaplanmaktadır. Bulunan kırılma indis değerleri standart ölçüm değerleri ile karşılaştırılarak önerilen yöntemin doğruluğu gösterilmiştir. Bu çalışmada ayrıca, etanol için uzun süreli zamana bağlı kırılma indis değişimi gözlemlenerek önerilen yöntemin uzun süreli kararlılığı irdelenmiştir. Daha sonra saf suyun içine tuz eklenerek elde edilen tuzlu su çözeltisinin konsantrasyon değerine bağlı kırılma indis değişimi elde edilmiştir. Kullanılan ölçüm tekniği oldukça basit, ucuz, güvenilir ve hassas ölçüm yapabilen yeteneğine sahip olup, kompakt bir ölçüm cihazına dönüştürülebilir niteliktedir.

2. ÇALIŞMA PRENSİBİ

Gerçekleştirilen fiber optik ölçüm sisteminin çalışma prensibi, zamanda ayrışmasına yetecek kadar farklı uzunluklara sahip iki fiber optik konnektörden yansıyan sinyal darbelerinin genlik değerlerinin ölçümüne dayanmaktadır [5]. Ölçüm iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada fiber-hava ara yüzeyinden Fresnel yansımaları ile yansıyan optik sinyalin genlik değerleri alınmaktadır. İkinci aşamada ise fiber optik konnektör kırılma indis ölçülecek sıvı içerisine daldırılarak fiber-sıvı ara yüzeyinden yansıyan optik sinyalin genlik değerleri

Fiber kablolar çıkış portlarından biri 1.5 metre uzunluğunda bir fiber ve ucuna bağlı bir fiber optik konnektörden oluşmaktadır. Bu koldaki fiber konnektör, sensör başlığı olarak kullanılmaktadır. Fiber kabloların ikinci çıkış portunda ise 3720 metre uzunluğa sahip bir fiber makara ve uç kısmında referans fiber optik konnektörü bağlıdır. Kısa fibere göre uzun fiber sonundaki fiber optik konnektör ucundan optik sinyal gecikmeli olarak yansımaktadır. Böylelikle her iki çıkış portundan, Fresnel yansıması ile yansıyan optik sinyaller birbirinden zamanda ayrılmış olmaktadır. Gecikmeli olarak yansıyan optik sinyalin genlik değeri yardımıyla normalizasyon yapılarak ölçümün hassasiyeti artırılmaktadır. Her iki çıkış portundan yansıyan sinyaller, fiber kablolar yardımıyla birleştirilerek 1 GHz'lik fotodedektöre uygulanmaktadır. Fotodedektörün çıkışında bulunan osiloskop yardımıyla yansıyan sinyaller gözlemlenmekte ve aynı zamanda bilgisayar bağlantısı sayesinde veriler toplanmaktadır. Şekil.2'de darbe üretici ve lazer çıkışı ile yansıyan sinyaller görülmektedir. Kullanılan F-P lazer kaynağın modülasyon bandgenişliğinin sınırlı nedeniyle lazer diyot çıkışı dikdörtgen darbeden (şekil.2(a)) üçgen darbeye (şekil.2(b)) dönüşmektedir. Şekil.2(c)'de görülen ikiz darbe dizisinden genliği yüksek olan sensör fiberinden, diğeri ise referans fiberinin uç kısmından Fresnel yansıması ile yansıyan darbedir.

3.2. Ölçüm Sonuçları

Bu çalışmada geliştirilen deneysel düzenek ile daha çok kimya sanayisinde çözücü olarak kullanılan aseton, asetonitril, benzen, etanol, propanol, o-Xylene sıvıları ve saf su ile ölçümler yapılarak kırılma indis değerleri ölçülmüştür. Tüm deneylerde ilk önce sensör başlığı kalibrasyon için hava ortamında tutulup daha sonra sıvı içerisine sokulmaktadır.

Tablo 1: Önerilen yöntemle yapılan kırılma indis ölçüm sonuçları

Sıvı	Önerilen Yöntem			
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ortalama
Saf Su	1.3351	1.3335	1.3338	1.3341
Asetonitril	1.3490	1.3468	1.3501	1.3486
Aseton	1.3548	1.3638	1.3567	1.3584
Etanol	1.3619	1.3626	1.3626	1.3624
1-Propanol	1.3723	1.3723	1.3754	1.3733
Benzen	1.5183	1.5179	1.5149	1.5170
O-Xylene	1.5200	1.5202	1.5200	1.5201

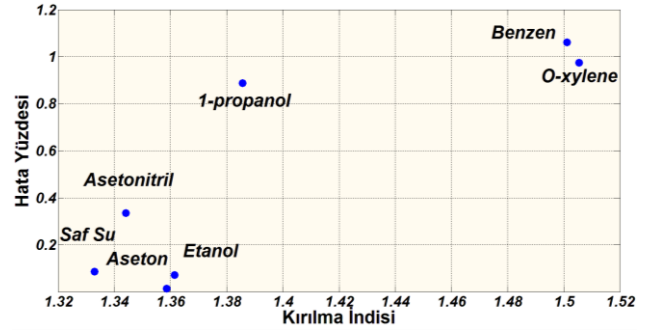
Tablo 2: Önerilen yöntem ve literatürde verilen kırılma indis ölçümlerinin karşılaştırması

Sıvı	Önerilen Yöntemle Ölçüm Değeri	Literatürdeki Standart Ölçüm Değeri	Hata Yüzdesi (Percent Error)
Saf Su	1.3341	1.3330	0.0855
Asetonitril	1.3486	1.3441	0.3350
Aseton	1.3584	1.3586	0.0130
Etanol	1.3624	1.3614	0.0717
1-Propanol	1.3733	1.3856	0.8875
Benzen	1.5170	1.5011	1.0603
O-Xylene	1.5201	1.5054	0.9740

Yapılan ölçümler farklı 3 zaman diliminde ve oda sıcaklığında (24°C) tekrarlanmıştır. Her bir ölçümde elde edilen sonuçlar bilgisayar ortamında işlenerek sıvının kırılma indis değeri elde edilmektedir. Tablo.1'de gözükten ölçüm 1, ölçüm 2 ve ölçüm 3 değerleri, yansıyan sinyal tepe değerlerinin ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Tablo.2'de ise önerilen yöntemden elde edilen kırılma indis değerleri ile literatürde standart olarak kabul edilen MSDS (material safety data sheet) [12] değerleri karşılaştırması verilmiştir. Bu standart ölçüm değerleri aksi söylenmedikçe 20°C'de 589 nm dalga boyunda elde edilen değerlerdir.

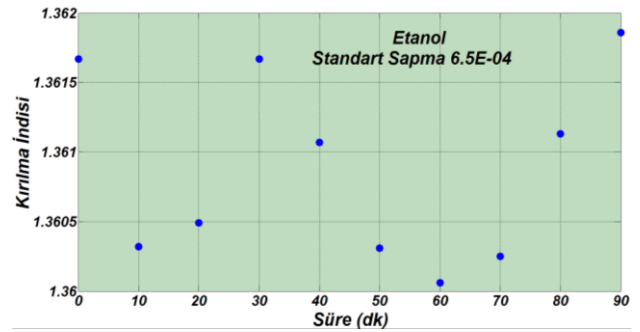
$$\text{Hata Yüzdesi} = \left| \frac{\text{Standart Ölçüm Değeri} - \text{Önerilen Yöntem Değeri}}{\text{Standart Ölçüm Değeri}} \right| \times 100 \quad (6)$$

Hata yüzdesi olarak verilen ve önerilen yöntemle elde edilen kırılma indis sonuçlarıyla literatürde verilen sonuçlar arasındaki farklılığın nedeni ölçümde kullanılan ışık kaynağı dalga boylarının farklılığından kaynaklanmaktadır. Sıvının kırılma indis değerinin kromatik dispersiyon nedeniyle dalga boyuna bağımlılığı bu farklılığa sebep olmaktadır. Bu hata yüzdesinin kırılma indisine bağımlılığı şekil.3'teki grafikte görülmektedir. Hata yüzdesi mevcut sıvılar için %1 ve altında olmaktadır. Ayrıca kırılma indisine de bağımlı değildir.



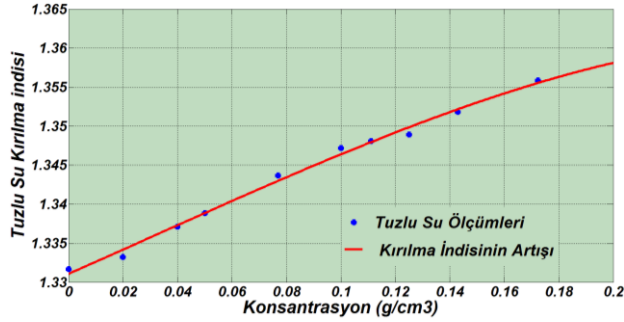
Şekil 3: Mevcut sıvılar için hata yüzdesi değerleri

Bu çalışmada yapılan diğer bir ölçümde, etanol sıvısının kırılma indis değerinin uzun süreli zamana bağlı değişimi (şekil.4) elde edilmiştir. Bunun için 90 dakika boyunca her 10 dakikada bir etanol sıvısının kırılma indis değeri ölçülerek zamana bağlı değişimi ve bu değişimin standart sapma değeri hesaplanmıştır. Elde edilen $6,5 \times 10^{-4}$ 'lük standart sapma değeri önerilen yöntemin uzun süreli kararlılığa sahip olduğunu göstermektedir [7].



Şekil 4: Etanol sıvısının zamana bağlı kırılma indis değeri değişimi

Bu çalışmada yapılan bir diğer ölçümde saf suyun içerisine belirli miktarda aşamalı olarak tuz eklenerek elde edilen tuzlu su çözeltisinin kırılma indis değerindeki değişim elde edilmiştir. Suyun içerisindeki tuz konsantrasyon miktarı arttıkça tuzlu suyun kırılma indis değeri şekil.5'te görüldüğü gibi artmaktadır. Bu artış literatürde elde edilen çalışmalarda olduğu gibi düşük konsantrasyonlar için lineer yapıdadır [13-14].



Şekil 5: Tuzlu su çözeltisinin kırılma indis değerinin konsantrasyona bağımlı değişimi

4. SONUÇ

Bu çalışmada basit, kararlı, güvenilir ve hassasiyeti yüksek bir Fresnel yansıma tipli bağıl ölçüm yapabilen fiber optik kırılma indis sensörü geliştirilmiştir. Kırılma indis ölçümlerinde kimya sanayinde sıklıkla kullanılan aseton, asetonitril, benzen, etanol ve propanol gibi endüstriyel sıvılar ile saf su kullanılmıştır. Elde edilen kırılma indis değerleri, literatürde verilen standart ölçüm değerleri ile karşılaştırılarak hata yüzdesinin %1 ve altında olduğu tespit edilmiştir. Farklı zaman dilimlerindeki ölçüm sonuçlarının benzerliği sensör performansının tekrarlanabilir olduğunu göstermektedir. Yapılan diğer bir ölçüm sonucunda ise tuzlu su çözeltisinin kırılma indis değerinin konsantrasyona bağımlı artışının düşük tuz konsantrasyonları için yaklaşık lineer olduğu tespit edilmiştir.

Teşekkür – Kullanılan sıvılarda destek veren TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Sensör Grubuna teşekkür ederiz.

5. KAYNAKÇA

- [1] Shyam Singh, Refractive Index measurement and its applications, Physica Scripta, vol.65, number.2, p.65, (2002).
- [2] Moh. Yasin, Sulaiman W. Harun, Hamzah Arof, Fiber Optic Sensors Book, IntTech, p4, (2012).
- [3] J Rheims, J Köser, T Wriedt, Refractive-index measurements in the near-IR using an Abbe refractometer, J Rheims et al Meas. Sci. Technol. 8 601 (1997).
- [4] Chang-Bong Kim, Chin B Su, Measurement of the refractive index of liquids at 1.3 and 1.5 micron using a fibre optic Fresnel ratio meter, Meas. Sci. Technol. 15, 1683-1686 (2004).
- [5] K. Chang, H. Lim, Chin B Su, A fibre optic Fresnel ratio meter for measurements of solute concentration and

refractive index change in fluids, Meas. Sci. Technol. 13, p. 1962-1965 (2002).

- [6] F.Ertaç Durak, A. Altuncu, M. Ali Ebeoğlu, Design of reflection type optical fiber volatile organic compounds (VOC) sensor, 6th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ (2011).
- [7] Wei Xu, Xu Guang Huang, Jing Shun Pan, Simple fiber-optic refractive index sensor based on Fresnel reflection and optical switch, IEEE Sensors Journal, vol.13, no.5, (2013).
- [8] Jianying Yuan, Chunlin Zhao, M. Ye, J. Kang, Z. Zhang and S. Jin, A Fresnel reflection-based optical fiber sensor system for remote refractive index measurement using an OTDR, Photonics Sensors, Vol. 4, No. 1, 2014: 48–52 (2014).
- [9] Weast R. C., Selby S. M., Handbook of Chemistry and Physics 48th edition, p. 160 (1968).
- [10] Jia-Ming Liu, Photonic Devices, p. 49-51, p. 147 (2005).
- [11] SMF-28 Corning Cable Product Information, p3 (2002).
- [12] <http://www.msds.com/>, (2014).
- [13] Hui Su, Xu Guang Huang, Fresnel-based fiber sensor for on-line measurement of solute concentration in solutions, Sensors and Actuators B, vol.126, p. 579-582 (2007).
- [14] Tommie Ann Wilson, Wayne F. Reed, Low cost interferometric differential refractometer, Am. J. Phys. 61 (1993).