

FRESNEL YANSIMA TABANLI FİBER OPTİK REFRAKTOMETRE

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

¹Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, KÜTAHYA
²Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, BURSA

Geliş Tarihi: 19.11.2013 Kabul Tarihi: 26.12.2013

ÖZET

Malzemenin ayırt edici özelliklerinden olan kırılma indisinin ölçümü, genellikle endüstriyel ve biyomedikal gibi birçok alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Ölçüm metodları içerisinde, sağladığı avantajları ile fiber optik yapılı refraktometreler ön plana çıkmaktadır. Yapılan bu çalışmada basit, güvenilir ve hassasiyeti yüksek Fresnel yansımaya tabanlı bir fiber optik refraktometre gerçekleştirilerek çeşitli sıvıların farklı zaman dilimlerinde kırılma indisi değerleri ölçülmüştür. Referans değer olarak alınan Abbe Refraktometresi sonuçları ile kıyaslandığında sapma oranının %1 ve altında olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Fiber optik, kırılma indisi, Fresnel yansımaları, refraktometre*

FRESNEL REFLECTION BASED FIBER OPTIC REFRACTOMETER

ABSTRACT

Measurement of refractive index which is one of the distinctive properties of materials is commonly used in many fields such as industrial and biomedical applications. 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 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 the results taken with a reference Abbe Refractometer, the deviation ratio was found to be less than %1.

Keywords: *Fiber optic, Refractive index, Fresnel reflection, Refractometer*

1. GİRİŞ

Kırılma indisi malzemelerin ayırt edici özellikleri arasında yer almaktadır. Sıvıların kırılma indisi ölçümü son yıllarda artan bir şekilde ilgi görmektedir. Başta gıda ürünlerinin kalite kontrolü olmak üzere medikal teşhislerde, çevresel kirlilik ölçümlerinde ve biyokimyasal analizlerde kırılma indisi ölçümüne dayanan sensör sistemleri kullanılmaktadır [1]. Fiber optik tabanlı kırılma indisi ölçüm yapıları elektromanyetik bağışıklık, 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 yansıma tabanlı bir fiber optik ölçüm düzeneği kullanılmaktadır [4]. Bu yöntemde, 1310 nm ile 1551 nm dalgaboylarında fiberin uç kısmından Fresnel yansıma güç oranı ölçülerek, sıvının kırılma indis değeri bulunmaktadır. Yapılan bir başka çalışmada, dizi dalgakılavuzu ızgarası tabanlı basit bir Fresnel yansımali optik refraktometre gerçekleştirilmiştir [5]. Çoklu noktada ölçüme izin veren bu yapı, her bir kanalda farklı bir sensör başlığı içermektedir. Ayrıca optik sinyalin dalgaboyunda kaymaya yol açan yüzey plazma rezonans kırılma indis sensörleri de sıklıkla kullanılmaktadır [6].

Bu çalışmada, çeşitli sıvıların kırılma indisini belirlemek için Fresnel yansıma tabanlı basit bir fiber optik ölçüm sistemi oluşturulmuştur. Işık kaynağı olarak 1550 nm dalgaboyunda ve sabit güçte çalışan bir Fabry-Perot lazer kaynak kullanılmıştır. Fiberin uç kısmından Fresnel yansıması ile yansıyan ışık, optik sirkülatör üzerinden optik multimetreye ulaşmaktadır. Yansıyan ışık yoğunluğu sıvıların çeşitliliğine göre farklılık göstermektedir. Elde edilen örnek ölçüm sonuçları Abbe refraktometresi ile gerçekleştirilen ölçümlerle karşılaştırılarak yöntemin doğruluğu gösterilmiştir. Önerilen yöntem oldukça basit, ucuz, güvenilir ve hassas ölçüm yapabilme yeteneğine sahiptir.

2. ÇALIŞMA PRENSİBİ

Sıvıların kırılma indis ölçümleri, sıvı içerisine daldırılmış bir fiberin uç kısmında meydana gelen Fresnel yansımasındaki bağıl güç değişimini ölçmek suretiyle yapılabilir. Bu yöntemde sıvının kırılma indisinin ölçümü için standart bir FC/PC konnektörlü fiber pigtail, sensör başlığı olarak kullanılmıştır. Buna göre ölçüm iki aşamada gerçekleştirilmektedir. İlk olarak fiber optik konnektörün hava ile temas etmesi durumunda Fresnel yansıması ile yansıyan optik güç ölçülmektedir. İkinci aşamada ise fiberin kırılma indis ölçülecek sıvı içerisine daldırılmasından sonra, fiber konnektörden yansıyan optik güç ölçülmektedir. Yansıyan optik güçteki oransal değişim ile sıvının kırılma indis değeri hesaplanabilmektedir [4].

İlk durumunda fiber sıvı dışında iken, fiber-hava ara yüzeyinden $(n_f - n_a)^2 / (n_f + n_a)^2$ değeri ile orantılı bir optik güç yansımaktadır [4]. Fiber sıvı içerisine daldırıldığında yansıyan optik güç $(n_f - n_1)^2 / (n_f + n_1)^2$ değeri ile orantılı olmaktadır [4]. Burada n_f , tek modlu fiberin efektif kırılma indis, n_1 ve n_a ise sırasıyla sıvının ve havanın kırılma indis değerleridir. İki farklı ortamda Fresnel yansıması ile yansıyan optik güç oranı, R ile tanımlanır ve denklem (1)'den hesaplanabilir [4].

$$R \equiv \frac{P_a}{P_1} = \frac{\left\{ (n_f - n_a) / (n_f + n_a) \right\}^2}{\left\{ (n_f - n_1) / (n_f + n_1) \right\}^2} \quad (1)$$

Ölçülmek istenilen sıvının kırılma indis n_1 , denklem (1)'den elde edilebilir:

$$n_1 = n_f \left\{ (1 - \eta) / (1 + \eta) \right\} \quad (2)$$

Burada

$$\eta = \left\{ (n_f - n_a) / (n_f + n_a) \right\} \times 1 / \sqrt{R} \quad (3)$$

olmaktadır. Havanın kırılma indisi $n_a=1.0002739$ 'dir [7]. Fiberin efektif kırılma indisi n_f , fiber grup indisi n_g ile dispersiyon bağıntısından hesaplanabilir [8]:

$$n_f = n_g + \frac{dn_f}{d\lambda} \lambda \quad (4)$$

Grup indis değeri n_g , tipik bir ticari tek modlu fiber (SMF-28) için 1550 nm'de 1.4681'dir [9]. Silika malzemesi için dispersiyon bağıntısı, Sellmeir denklemi ile verilmektedir [8].

$$n_f = \left(1 + 0.696166 \frac{\lambda^2}{\lambda^2 - 0.0684043^2} + 0.407943 \frac{\lambda^2}{\lambda^2 - 0.1162414^2} + 0.897479 \frac{\lambda^2}{\lambda^2 - 9.896161^2} \right)^{1/2} \quad (5)$$

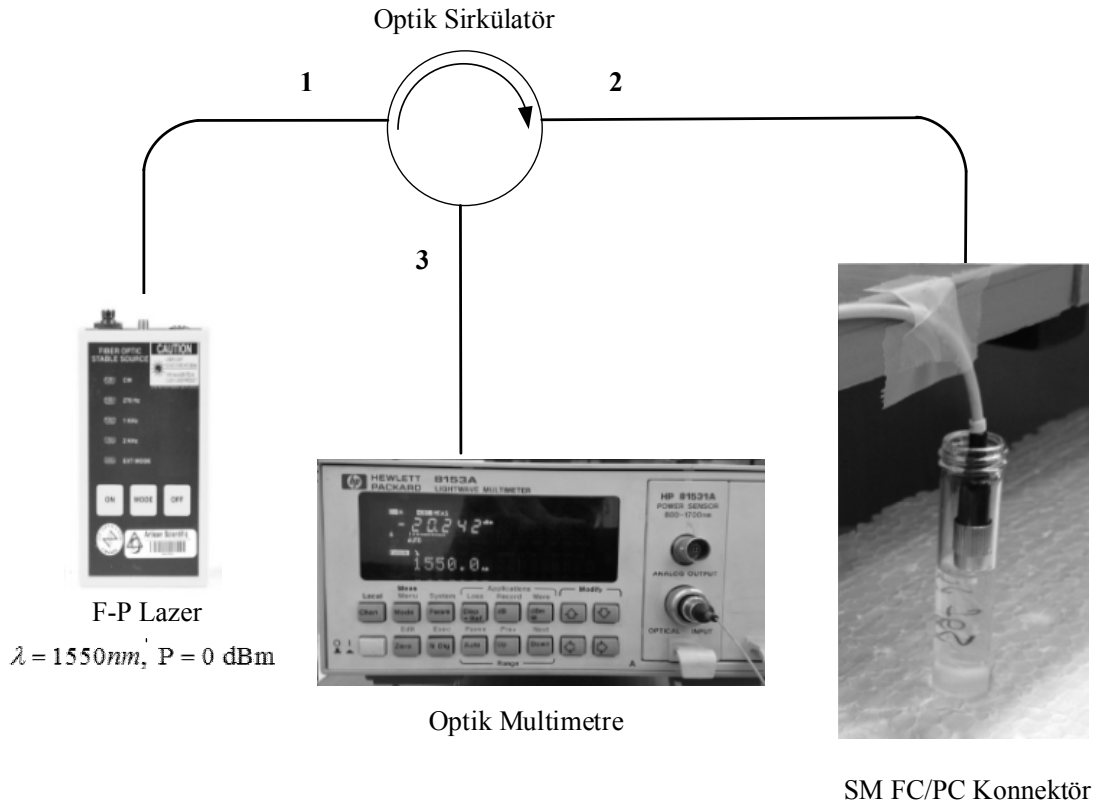
şeklinindedir. Denklem(5)'te dalga boyu μm cinsinden yazılmalıdır. 1550 nm dalga boyunda fiberin efektif kırılma indisi denklem(4) yardımıyla $n_f=1.44953$ olarak elde edilmektedir. Bu verileri kullanmak suretiyle ölçüm yapılan bir sıvı için kırılma indis değeri hesaplanabilmektedir.

3. DENEYSEL DÜZENEK VE ÖLÇÜMLER

Bu çalışmada optik sinyal yönlendirmesi için bir fiber optik sirkülatörün kullanıldığı deneysel düzenek şekil.1'de görülmektedir. Optik sirkülatörün 1. portuna (giriş portu) 1550 nm'de çalışan 1mW gücünde bir F-P lazer kaynağı bağlanmıştır. Sirkülatörü geçen F-P sinyali 2. port fiberine ark füzyon ekiyle eklenmiş olan FC/PC konnektörlü fiber optik pigtaile ulaşmaktadır. Başta Fresnel yansıması olmak üzere interferometrik yapılardan dolayı yansıyan optik sinyal gücü, sirkülatörün 3. portuna (çıkış portu) bağlı bulunan bir optik multimetre yardımıyla ölçülmektedir. Her bir sıvı için ölçüm iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada FC/PC konnektör sıvı dışında iken oluşan Fresnel yansıması ölçülmektedir. İkinci aşamada ise, FC/PC konnektör sıvının içerisinde yeterli bir süre bekletilerek yansıyan optik güç değeri (P_1) ölçülmektedir. Sıvıların farklılığına bağlı olarak ölçülen bağıl yansıyan güç (P_1) değerlerinde değişim olmaktadır.

Fiber optik kırılma indis ölçüm düzeneğinde konnektör sıvı dışında iken ölçülen yansıyan güç değeri, referans güç (P_a) olarak alındığında yansıyan güç oranı $R = \frac{P}{P_1}$ şeklinde hesaplanabilir. Elde edilen yansıyan

güç oranı R sayesinde, denklem (2)'den faydalanılarak ölçüm yapılan sıvının kırılma indis değeri (n_1) hesaplanmaktadır. Oluşturulan deneysel düzenek yardımıyla yapılan ölçümler, ortam sıcaklığından kaynaklanan ölçüm hatalarını minimize etmek için, aynı sıvı için farklı zaman dilimlerinde 3'er defa tekrarlanarak ortalama değer bulunmuştur. Aynı zamanda bu düzeneğe kırılma indis ölçümü yapılan tüm sıvıların kırılma indis değerleri Abbe Refraktometresi ile de ölçülmüştür.



Şekil 1. Fresnel yansımaya tabanlı fiber optik kırılma indis ölçüm düzeneği.

Kloroform, asetonitril, etanol, propanal, o-xylene, saf su, aseton ve benzen olmak üzere farklı sıvılar için gerçekleştirilen ölçüm sonuçları Tablo.1’de listelenmiştir. Tablo.1’de, her bir sıvı için farklı zaman dilimlerinde Fresnel yansımaya tabanlı fiber optik kırılma indis ölçüm düzeneği ile elde edilen üç kırılma indis değeri ve bunların ortalaması, Abbe Refraktometresinde ölçülen değer ve bu iki yöntem arasındaki sapma oranı (% olarak) görülmektedir. Sapma oranları, görünür dalga boyu aralığında geniş bantlı bir ışık kaynağı kullanan Abbe refraktometresi ile yapılan ölçümler sonucunda elde edilen referans değerleri ile Fresnel yansımaya tabanlı fiber optik düzeneden elde edilen ortalama kırılma indis değerleri arasındaki farkın yüzdesi olarak hesaplanmaktadır. Tüm sıvılar için bulunan bu sapma oranlarının % 0.3 ile % 1.28 arasında değiştiği görülmüştür. Bu sapma oranının temelde iki nedeni bulunmaktadır. Birincisi, Abbe refraktometresinin görünür ışık dalga boyu aralığını (380 nm-780 nm) kullanıyor olması, diğer taraftan önerilen ölçüm düzeneğinde 1550 nm dalga boyunda ışık kaynağı kullanılıyor olmasıdır. Ölçülen farklı sıvıların kırılma indisleri refraktometrede kullanılan optik kaynağın dalga boyu ile değişmektedir. Sapma oranının ikinci nedeni ise, ışık şiddeti ölçümüne dayanan tabanlı ölçüm sisteminde ortaya çıkan çeşitli ölçüm hatalarıdır. Tüm kırılma indis ölçümlerinde, ölçüm hassasiyeti yaklaşık ≈ 0.1 (0.001) civarındadır. Çeşitli ölçüm hatalarının varlığı ve nisbeten düşük bir ölçüm hassasiyetinin elde edilmesi (≈ 0.1), ölçüm sisteminin asıl hedefleri olan basitlik ve güvenilirlik dikkate alındığında tolere edilebilirdir.

Tablo 1. Kırılma İndis Ölçüm Sonuçları.

Abbe Refraktometre	Optik Multimetre		
	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm
$n_{\text{kloroform}}=1.4338$	$n_{\text{kloroform}}=1.4303$	$n_{\text{kloroform}}=1.4290$	$n_{\text{kloroform}}=1.4294$
	Ortalama $n_{\text{kloroform}}=1.4296$		
Kloroform sıvısı için sapma oranı= % 0.2929			
Abbe Refraktometre	Optik Multimetre		
	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm
$n_{\text{asetonitril}}=1.3398$	$n_{\text{asetonitril}}=1.3335$	$n_{\text{asetonitril}}=1.3339$	$n_{\text{asetonitril}}=1.3344$
	Ortalama $n_{\text{asetonitril}}=1.3340$		
Asetonitril sıvısı için sapma oranı= % 0.4329			
Abbe Refraktometre	Optik Multimetre		
	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm
$n_{\text{etanol}}=1.3570$	$n_{\text{etanol}}=1.3499$	$n_{\text{etanol}}=1.3492$	$n_{\text{etanol}}=1.3494$
	Ortalama $n_{\text{etanol}}=1.3495$		
Etanol sıvısı için sapma oranı= % 0.5527			
Abbe Refraktometre	Optik Multimetre		
	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm
$n_{\text{propanal}}=1.3728$	$n_{\text{propanal}}=1.3651$	$n_{\text{propanal}}=1.3646$	$n_{\text{propanal}}=1.3652$
	Ortalama $n_{\text{propanal}}=1.3650$		
Propanal sıvısı için sapma oranı= % 0.5682			
Abbe Refraktometre	Optik Multimetre		
	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm
$n_{\text{o-xylene}}=1.4955$	$n_{\text{o-xylene}}=1.4848$	$n_{\text{o-xylene}}=1.4841$	$n_{\text{o-xylene}}=1.4836$
	Ortalama $n_{\text{o-xylene}}=1.4842$		
o-xylene sıvısı için sapma oranı= % 0.7556			

Tablo 1. Kırılma İndis Ölçüm Sonuçları. (devamı)

Abbe Refraktometre	Optik Multimetre		
	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm
$n_{\text{safsu}}=1.3268$	$n_{\text{safsu}}=1.3154$	$n_{\text{safsu}}=1.3168$	$n_{\text{safsu}}=1.3155$
	Ortalama $n_{\text{safsu}}=1.3159$		
Saf Su sıvısı için sapma oranı= % 0.8215			

Abbe Refraktometre	Optik Multimetre		
	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm
$n_{\text{aseton}}=1.36$	$n_{\text{aseton}}=1.3468$	$n_{\text{aseton}}=1.3491$	$n_{\text{aseton}}=1.3480$
	Ortalama $n_{\text{aseton}}=1.3480$		
Aseton sıvısı için sapma oranı= % 0.8824			

Abbe Refraktometre	Optik Multimetre		
	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm
$n_{\text{benzen}}=1.4980$	$n_{\text{benzen}}=1.4790$	$n_{\text{benzen}}=1.4792$	$n_{\text{benzen}}=1.4785$
	Ortalama $n_{\text{benzen}}=1.4789$		
Benzen sıvısı için sapma oranı= % 1.2750			

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 1550 nm’de çalışan Fresnel yansıma tabanlı bir fiber optik refraktometre düzeneği kurularak endüstriyel uygulamalarda sıklıkla gerekli olan çeşitli sıvıların kırılma indis değerleri ölçülmüştür. Gerçekleştirilen fiber optik ölçüm düzeneği basit, güvenilir ve yeterince yüksek hassasiyete sahiptir. Ölçüm düzeneği ile kloroform, asetonitril, etanol, propanal o-Xylene, saf su, aseton ve benzen sıvıları için kırılma indis değerleri ölçülerek, referans değer olarak elde edilen ve geniş band beyaz ışık kullanan bir Abbe refraktometresinin kırılma indis ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Yapılan ölçümler, Fresnel yansıma tabanlı refraktometrede % 0.1 civarında bir ölçüm hassasiyeti ve Abbe refraktometresine göre %1’den az sapma oranı ile sonuçlanmıştır. Farklı zaman dilimlerinde ölçümlerin tekrarlanmasıyla elde edilen benzer sonuçlar ışığında ölçüm sonuçlarının yeterince tekrarlanabilir olduğu gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [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, p. 4, (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] Chun-Liu Zhao, Jihui Li, Shuqin Zhang, Zaixuan Zhang, and Shangzhong Jin, Simple Fresnel Reflection-Based Optical Fiber Sensor for Multipoint Refractive Index Measurement Using an AWG, IEEE Photonics Techn. Letters, Vol. 25 No. 6 (2013).
- [6] D. Monzon-Hernandez, J. Villatoro, High-resolution refractive index sensing by means of a multiple-peak surface plasmon resonance optical fiber sensors, Sens. Actuators B, vol. 115, pp. 227-231 (2006).
- [7] Weast R. C., Selby S. M., Handbook of Chemistry and Physics 48th edition, p. 160 (1968).
- [8] Jia-Ming Liu, Photonic Devices, p. 49-51, p. 147 (2005).
- [9] SMF-28 Corning Cable Product Information, p. 3 (2002).

