

## Measurement of wavelength, refractive index, plate thickness and dispersion coefficient by Fresnel diffraction from transparent phase plate

A. Motazedifard<sup>1</sup>  
M. Taghi Tavassoly<sup>2</sup>

Received: 2012.02.25

Accepted: 2012.07.02

### Abstract

*By illuminating the edge of transparent plate with a coherent quasi-monochromatic light, due to abrupt change in the refractive index at the plate boundary, diffraction pattern is formed on a screen perpendicular to the light propagation direction that can be described by the Fresnel-Kirchhoff integrals. The visibility of fringes depends on the plate thickness, refractive index, light incident angle and wavelength as the visibility is a periodic function of incident angle. By varying incident angle and counting the maximum of visibility repetition in two successive angular intervals, the plate refractive index is obtained with four digits meaningful without requiring the wavelength and the plate thickness. The Cauchy and Sellmeier dispersion relation can be obtained by refractive index measuring in some wavelengths. By knowing one wavelength, the plate thickness and other wavelengths with four digits meaningful, in micro meter regime, can be obtained. In this report the measurement of refractive indices in two different thicknesses of fused-silica and soda lime glass for He-Ne Laser, Nd-YAG Laser and four wavelengths of Argon laser is done. The experiment has been done by modest instrumentation It is shown that by using the high precision Goniometer and more sensitive*

---

1. Department of Physics, University of Tehran, Tehran; alimotazedifard@ut.ac.ir

2. Professor of Physics, University of Tehran, Tehran

*CCD it is possible to measure the refractive indices, plate thickness and wavelength with six digits meaningful.*

**Keywords:** Physical optics, Fresnel diffraction, Metrology, phase step, Visibility, refractive index

مجله فیزیک کاربردی دانشگاه الزهراء (س)

شماره ۲، بهار و تابستان ۱۳۹۱

## تعیین دقیق طول موج، ضریب شکست، ضخامت تیغه شفاف و پاشندگی آن با استفاده از پراش فرنل از تیغه فازی شفاف

علی معتضدی فرد<sup>۱</sup>

محمد تقی توسلی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۷

تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۴/۱۱

### چکیده

با روشن کردن لبه یک تیغه شفاف با نور هم‌مدوس شبه تکفام به سبب تغییرات ناگهانی ضریب شکست در مرز تیغه نقش پراش روی پرده عمود بر راستای انتشار نور تشکیل می‌گردد که با انتگرال فرنل-کیرشهف توصیف پذیر است. نمایانی فریزها به ضخامت و ضریب شکست تیغه، زاویه فرود نور و طول موج بستگی دارد به طوریکه تابعی دوره‌ای از زاویه فرود می‌باشد. با تغییر زاویه فرود و شمردن تکرار نمایانی‌های پیشینه در دو بازه‌ی زاویه‌ای مختلف، ضریب

---

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک، دانشگاه تهران، alimotazedifard@ut.ac.ir

<sup>۲</sup> استاد فیزیک. دانشگاه تهران

شکست تیغه با دقت ۴ رقم با معنی بدون دانستن ضخامت تیغه و طول موج بدست می‌آید. با اندازه‌گیری ضریب شکست در چند طول موج متفاوت می‌توان ضرایب پاشندگی *Cauchy* و *Sellmeier* را تعیین کرد. با معلوم دانستن یک طول موج، ضخامت تیغه و سایر طول موج‌ها با دقت ۴ رقم با معنی بر حسب میکرون بدست می‌آید. در این گزارش اندازه‌گیری ضریب شکست با طول موج‌های قرمز *He-Ne*، سبز *Nd-YAG* و ۴ خط از طول موج‌های لیزر آرگون برای دو تیغه از جنس *fused silica* و اسلاید شیشه‌ای در دو ضخامت متفاوت انجام گرفته است. این روش در مقایسه با سایر روش‌هایی که در آن ضریب شکست با دقت بالا محاسبه می‌شود بسیار ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر است. همچنین با وسایل ساده اپتیکی، اندازه‌گیری با دقت بالا امکان‌پذیر است. می‌توان نشان داد که با استفاده از گونیومتر و *CCD* های دقیق‌تر، اندازه‌گیری تا شش رقم با معنی نیز قابل دسترس می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** پراش فرنل، تیغه فازی، فریز، نمایانی،

ضریب شکست، اندازه‌گیری

## ۱. مقدمه

ضرب شکست و پاشندگی یکی از مهمترین خصوصیات ماده است لذا روش های مختلفی مبتنی بر انحراف پرتو، تداخل سنجی، و پراش سنجی برای اندازه گیری آن ارائه شده است [۶-۱]. هر یک از این تکنیک ها دارای محدودیت ها و مزیت هایی می باشند که کاربردشان را به حوزه ای خاص محدود می کند [۷و۸]. برخی از این روش ها برای اندازه گیری های دقیقتر ضرب شکست تا ۴ الی ۵ رقم با معنی بکار می روند که دارای چیدمان های پیچیده می باشند و به وسایل و قطعات اپتیکی دقیق و حساس نیاز دارند [۹]. اخیرا پراش فرنل از پله های فازی به طور گسترده مورد مطالعه و فرمول بندی قرار گرفته است [۱۰-۱۲] و کاربردهای وسیعی در سنجه شناسی داشته است که برخی از آنها عبارتند از اندازه گیری ضخامت لایه ها و تیغه ها در محدوده وسیعی از نانومتر تا سانتی متر [۱۳و۱۴]، جابجایی های نانومتری [۱۵]، اندازه گیری ضرب شکست مایعات و جامدات [۱۶و۱۷]، تعیین نمایه توزیع دمایی در اطراف اجسام داغ [۱۸] و غیره. در این گزارش نشان می دهیم که با وسایل ساده اپتیکی اندازه گیری ضرب شکست، طول موج و پاشندگی در محدوده وسیعی قابل دسترس است.

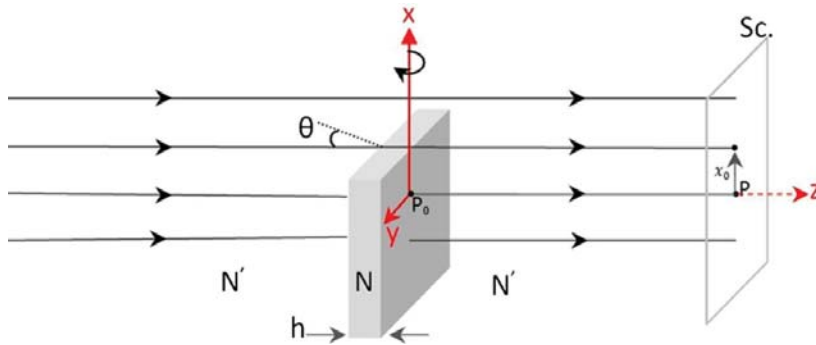
## ۲. نظریه و شرح آزمایش

در شکل ۱ یک جبهه موج تخت، تکفام و همدوس تحت زاویه فرود  $\theta$  به تیغه شفافی به ضخامت  $h$  و ضرب شکست  $N$  که در محیطی به ضرب شکست  $N'$  قرار دارد، می تابد. به دلیل آنکه در مرز تیغه تغییرات ضرب شکست ناپیوسته است ( $N' \neq N$ )، نور عبوری از تیغه در راستای عمود بر انتشار پراشیده می شود و روی پرده فریزهایی تشکیل می گردد که با انتگرال های فرنل-کیرشهف قابل توجیه می باشد. شدت نور پراشیده روی پرده در هر نقطه ی دلخواه مانند  $P$  روی پرده از رابطه زیر به دست می آید [۱۱و۱۲]:

$$I_{(P)} = I_0 t_p t_m \left[ \cos^2\left(\frac{\varphi}{2}\right) + 2(C_0^2 + S_0^2) \sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right) + (C_0 - S_0) \sin \varphi \right] + 0.5 I_0 \left[ (0.5 + C_0^2 + S_0^2)(t_p - t_m)^2 + (C_0 + S_0)(t_m^2 - t_p^2) \right] \quad (1)$$

۸۰ / تعیین دقیق طول موج، ضریب شکست، ضخامت تیغه شفاف و پاشندگی آن ...

که در آن  $I_0$  شدت اولیه تابشی،  $t_p$  و  $t_m$  ضریب بازتاب دامنه میدان الکتریکی برای تیغه و محیط، و نیز  $C_0 + iS_0 = \int_0^{v_0} \exp(i \frac{\pi v^2}{2}) dv$  انتگرال های فرنل است.  $v_0 = x_0 \sqrt{\frac{2}{\lambda R}}$  فاصله نرمالیره،  $x_0$  فاصله نقطه مشاهده  $P$  تا مرز تیغه،  $\lambda$  طول موج نور و  $R$  فاصله تیغه شفاف تا پرده مشاهده می باشد که بسیار بزرگتر از ضخامت تیغه است.



شکل ۱- هنگامیکه نور تخت و همدوس به تیغهی شفاف می تابد، نور عبوری به دلیل تغییرات ناگهانی ضریب شکست در مرز تیغه در راستای عمود بر انتشار نور پراشیده می شود

در رابطه ۱، فاز  $\varphi$  به صورت زیر تعریف می شود:

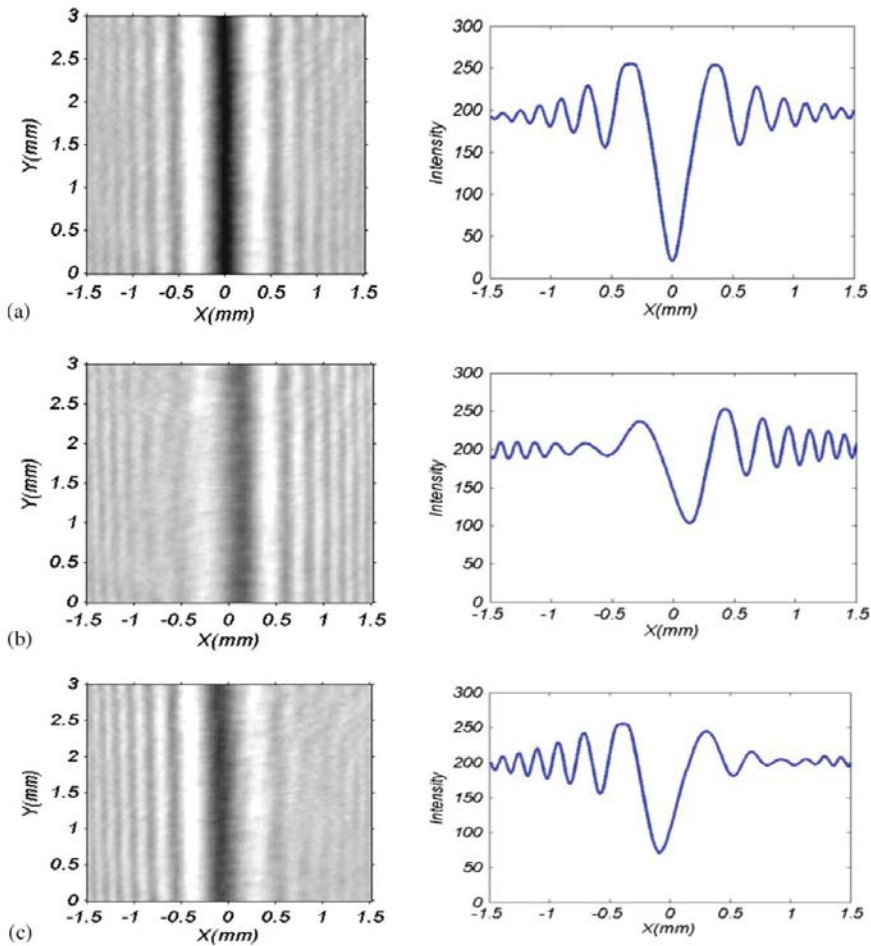
$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} hN' \left[ \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta} - \cos \theta \right] \quad (2)$$

که در آن  $n = \frac{N}{N'}$  نسبت ضریب شکست تیغه به ضریب شکست محیط می باشد. شکل ۲ طرح کلی پراش به همراه نمودار توزیع شدت در چند زاویه مختلف را برای یک تیغه شفاف که با نور تکفام روشن شده است نشان می دهد. عدم تقارن در زوایای فرود غیر صفر در فریزهای سمت چپ و راست به دلیل ارتفاع زیاد پله می باشد که منجر به جابجایی مبدأ در انتگرال های فرنل می شود که در این گزارش به آن نمی پردازیم. همچنین با تغییر زاویه

فرود نمایانی فریز ها به طور قابل ملاحظه ای تغییر می کند. می توان نشان داد که نمایانی فریز ها تابعی دوره ای از  $\varphi$  می باشد که با تغییر زاویه فرود تغییر می کند و به ازای مقادیر فرد  $\pi$  ، نمایانی بیشینه می شود. در واقع در نمایانی بیشینه شدت بیشینه سمت چپ و راست با هم برابر بوده و شدت کمینه صفر می باشد. نمایانی را برای  $\pi$  فریز مرکزی به صورت زیر تعریف می کنیم [۱۱ و ۱۲]:

$$V = \frac{\frac{I_{\max,L} + I_{\max,R}}{2} - I_{\min,C}}{\frac{I_{\max,L} + I_{\max,R}}{2} + I_{\min,C}} \quad (۳)$$

که در آن  $I_{\max,L}$  ،  $I_{\max,R}$  و  $I_{\min,C}$  به ترتیب شدت بیشینه سمت چپ و راست و شدت کمینه مرکزی می باشد. رابطه  $\pi$  نشان می دهد که نمایانی تابعی از ضریب عبور میدان و زاویه فرود نور می باشد ولی در حوالی زاویه بروستر و یا در زوایایی که ضریب عبور کم است نمایانی بین صفر و یک تغییر می کند. البته در حالت کلی نیز بیشینه نمایانی در مضارب فرد  $\pi$  رخ می دهد. همچنین می توان نشان داد که فاصله بیشینه نمایانی ها حتی در حالتی که ضرایب عبور محیط و تیغه متفاوت باشند برابر با  $2\pi$  می شود [۱۴].



شکل ۲- طرح پراش به همراه نمودار توزیع شدت برای نور قرمز لیزر هلیوم- نئون پراشیده از لبه یک تیغه فازی متوازی السطوح به ضخامت ۱ میلیمتر در زوایای مختلف برای تغییر فازهای:

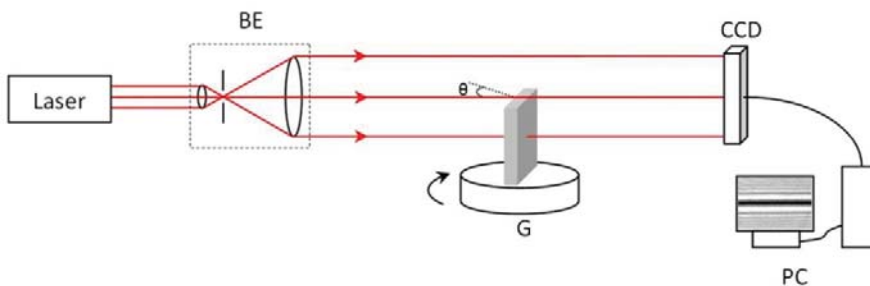
الف)  $m\pi$

ب)  $(m + \frac{4}{9})\pi$  ج)  $(m + \frac{14}{9})\pi$  که  $m$  عدد فرد صحیح می باشد.



### ۳. کارها و نتایج تجربی

شکل ۳ چیدمان آزمایش را نشان می‌دهد. باریکه لیزر هلیوم-نئون توسط عدسی روی پین هول کانونی شده و پالایه فضایی می‌گردد و به کمک عدسی دیگری به صورت موازی گسترده می‌شود و تحت زاویه فرود  $\theta$  به تیغه متوازی السطوح شفاف به ضریب شکست  $N$  که روی گونیومتر با دقت  $10$  ثانیه قوسی قرار دارد، می‌تابد. نور عبوری در اثر تغییرات ناپیوسته ضریب شکست در مرز تیغه و محیط اطراف، موازی با لبه تیغه پراشیده شده و طرح پراش توسط آشکارساز آبیتی (CCD) ثبت شده و در کامپیوتر به کمک نرم افزار MATLAB تحلیل می‌شود. فرآیند اندازه‌گیری به این ترتیب است که ابتدا تیغه را توسط گونیومتر به آهستگی حول محور عمود بر راستای انتشار نور می‌چرخانیم تا جایی که نمایانی فریزها بیشینه شود و این زاویه را  $\theta_1$  می‌نامیم. سپس با افزایش زاویه فرود تعداد  $m_1$  نمایانی بیشینه دیگر را تا زاویه فرود  $\theta_2$  می‌شماریم و همین کار را در بازه زاویه ای  $\theta_2$  تا  $\theta_3$  با شمارش  $m_2$  نمایانی بیشینه دیگر تکرار می‌کنیم. برای افزایش دقت اندازه‌گیری می‌توان آزمایش را در بازه‌های زاویه ای متفاوت دیگری و شمارش تعداد بیشتری از نمایانی های بیشینه تکرار کرد.



شکل ۳- طرحواره آزمایش. نور لیزر توسط BE موازی و گسترده شده

و به تیغه شفاف که روی گونیومتر G قرار دارد می‌تابد، طرح پراش روی آشکارساز CCD ثبت و در کامپیوتر مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

فرآیند توصیف شده برای اندازه‌گیری ضریب شکست و پاشندگی تیغه‌های fused silica به ضخامت  $3.24\text{mm}$  و اسلاید شیشه‌ای (soda lime) به ضخامت  $1\text{mm}$  برای طول موج‌های قرمز لیزر هلیوم-نئون، و سبز Nd-Yag و  $4$  خط از طول موج‌های

لیزر آرگون به کار برده شده است. تغییرات فاز در بازه زاویه ای  $\theta_1$  تا  $\theta_2$  برابر با  $2m_1\pi$  و در بازه زاویه ای  $\theta_2$  تا  $\theta_3$  برابر با  $2m_2\pi$  می باشد بنابراین با توجه به رابطه (۲) خواهیم داشت:

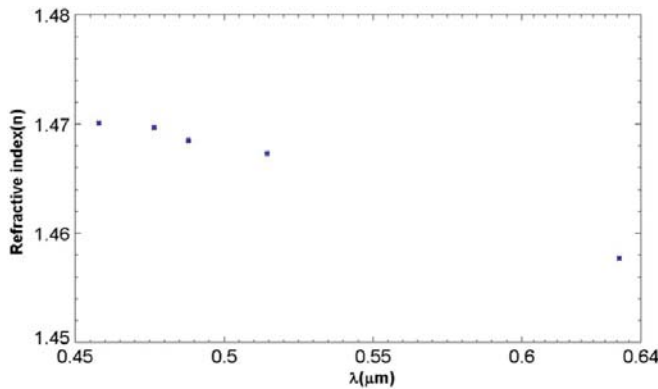
$$2m_1\pi = \frac{2\pi}{\lambda} hN' \left[ (\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_2} - \cos \theta_2) - (\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_1} - \cos \theta_1) \right] \quad (۴)$$

$$2m_2\pi = \frac{2\pi}{\lambda} hN' \left[ (\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_3} - \cos \theta_3) - (\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_2} - \cos \theta_2) \right] \quad (۵)$$

حال از تقسیم روابط ۴ و ۵ خواهیم داشت:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\left[ \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_2} - \cos \theta_2 \right] - \left[ \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_1} - \cos \theta_1 \right]}{\left[ \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_3} - \cos \theta_3 \right] - \left[ \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_2} - \cos \theta_2 \right]} \quad (۶)$$

با دانستن زوایای  $\theta_1$ ،  $\theta_2$  و  $\theta_3$  و تعداد شمارش نمایانی های بیشینه  $(m_1, m_2)$  به کمک رابطه ۶ می توان ضریب شکست تیغه در هر طول موج را بدون دانستن ضخامت تیغه و طول موج با دقت ۴ رقم با معنی به دست آورد. نتایج اندازه گیری در جدول ۱ و ۲ آمده است. شکل ۴ پاشندگی تیغه فیوزسیلیکا را با توجه به داده های تجربی به دست آمده از اندازه گیری نشان می دهد.



شکل ۴- منحنی پاشندگی تیغه فیوزسیلیکا به ضخامت ۳,۲۳۶۶ میلیمتر

با جایگذاری ضریب شکست به دست آمده در رابطه ۴ یا ۵ می توان ضخامت تیغه را با دانستن طول موج با دقت ۴ رقم با معنی به دست آورد. نتایج اندازه گیری ضخامت تیغه‌ها در جداول ۱ و ۲ آمده است همانطور که مشاهده می شود این نتایج با یکدیگر توافق خوبی دارند.

جدول ۱- ضریب شکست و ضخامت برای تیغه شفاف Fused silica

ضخامت (میلی متر)	ضریب شکست	طول موج (نانومتر)
$3,2367 \pm 0.0004$	$1,4577 \pm 0.0003$	۶۳۲,۸
$3,2366 \pm 0.0005$	$1,4609 \pm 0.0004$	۵۳۲,۰
$3,2365 \pm 0.0008$	$1,4673 \pm 0.0007$	۵۱۴,۵
$3,2370 \pm 0.0007$	$1,4680 \pm 0.0006$	۴۸۸
$3,2366 \pm 0.0006$	$1,4697 \pm 0.0005$	۴۷۶,۵
$3,2367 \pm 0.0008$	$1,4701 \pm 0.0007$	۴۵۷,۹

جدول ۲- ضریب شکست و ضخامت برای اسلاید شیشه ای

ضخامت (میلی متر)	ضریب شکست	طول موج (نانومتر)
$0.9996 \pm 0.0004$	$1.5034 \pm 0.0003$	۶۳۲,۸
$0.9993 \pm 0.0006$	$1.5136 \pm 0.0005$	۵۳۲,۰

به کمک تکنیک معرفی شده می توان طول موج را نیز با دقت دهم نانومتر تعیین کرد. بدین منظور، ابتدا ضریب شکست را مطابق با رابطه ۶ یافته سپس با مفروض گرفتن طول موج قرمز هلیوم نئون در رابطه ۴ یا ۵ ضخامت تیغه را یافته و با دانستن ضریب شکست در سایر طول موج‌ها و جایگذاری ضخامت بدست آمده در طول موج هلیوم- نئون در رابطه ۴ یا ۵ می توان سایر طول موج های بکار رفته در آزمایش را با دقت دهم نانومتر به دست آورد. نتایج اندازه گیری طول موج از تیغه فیوز سیلیکا در جدول ۳ آمده است که با مقادیر گزارش شده توافق خوبی دارند. برای اسلاید شیشه ای فقط برای ۲ طول موج هلیوم- نئون و سبز Nd-Yg آزمایش انجام شده است که طول موج سبز را  $(532.16 \pm 0.5)nm$

بدست آوردیم که با مقدار گزارش شده آن در مراجع (یعنی 532.0nm) همخوانی خوبی دارد.

جدول ۳- طول موج های اندازه گیری شده با استفاده از پراش فرنل از تیغه شفاف فیوزسیلیکا به ضخامت ۳,۲۳۶۶ میلی متر که خطهای مرئی لیزر گازی آرگون به آن تابیده است

طول موج های گزارش شده در مراجع	طول موج های بدست آمده از آزمایش
۵۳۲,۰	۵۳۲/۰۲±۰/۶
۵۱۴,۵	۵۱۴,۲۲±۰/۴
۴۸۷,۵	۴۸۷,۹۵±۰/۳
۴۷۶,۵	۴۷۶,۵۱±۰/۳
۴۵۷,۹	۴۵۷,۹۴±۰/۴

برای یافتن ضرایب پاشندگی کوشی که معمولاً در ناحیه عادی ضریب شکست و دور از نواحی باند جذب مورد استفاده قرار می گیرد از رابطه ۷ استفاده می کنیم که در آن طول موج بر حسب میکرون می باشد و تا تقریب مرتبه سوم آن به خوبی بسیاری از پدیده ها را توجیه می کند. برای یافتن ضرایب کوشی تا تقریب مرتبه سوم حداقل به ۳ طول موج نیاز است [۱۹]:

$$n_{(\lambda)} = \frac{A}{\lambda} + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} \quad (7)$$

در نواحی اطراف باند جذب که رابطه کوشی صادق نیست معمولاً رابطه پاشندگی Sellmeier به کار می رود که تا تقریب مرتبه سوم آن به صورت زیر می باشد که نسبت به رابطه کوشی دقیق تر بوده و علاوه بر این در تمامی نواحی طول موج قابل استفاده می باشد [۱۹]:

$$n_{(\lambda)} = 1 + \frac{B_1 \lambda^2}{\lambda^2 - C_1} + \frac{B_2 \lambda^2}{\lambda^2 - C_2} + \frac{B_3 \lambda^2}{\lambda^2 - C_3} \quad (۸)$$

ضرایب Sellmeier و کوشی برای تیغه فیوز سیلیکا به ترتیب در جدول ۴ و ۵ آمده است. در جدول ۷ با توجه به اینکه آزمایش برای اسلاید شیشه‌ای در ۲ طول موج انجام گرفته است ضرایب کوشی تا تقریب مرتبه دوم آن ( $A$  و  $B$ ) آمده است.

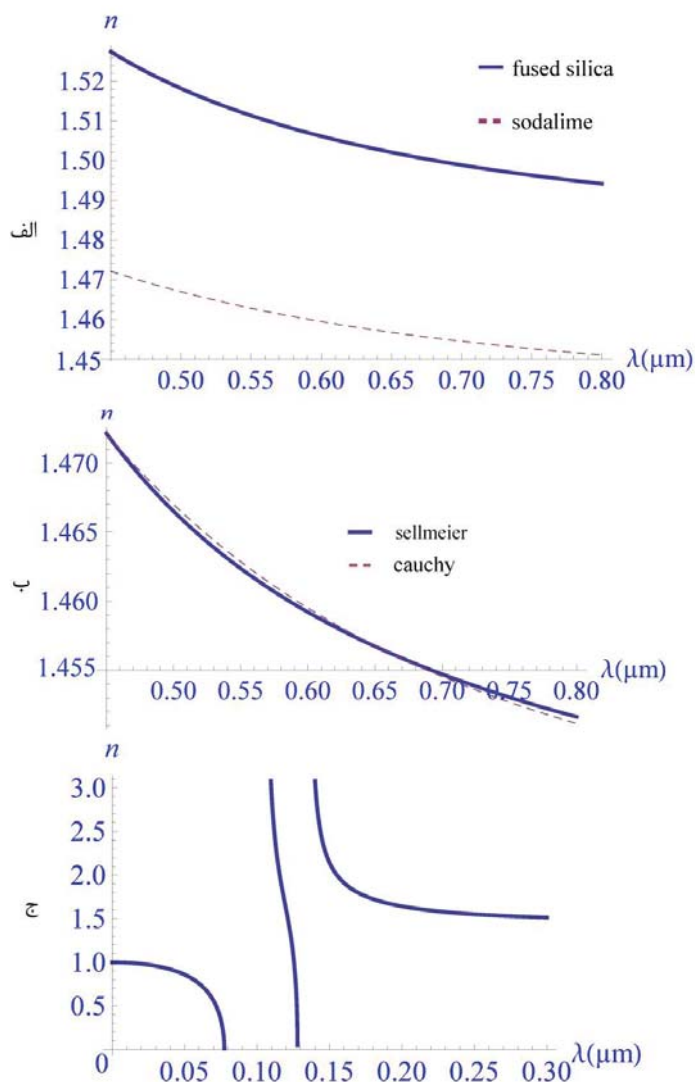
در شکل ۵- الف نمودار پاشندگی تیغه فیوز سیلیکا و اسلاید شیشه‌ای به کمک رابطه کوشی در ناحیه طول موج مرئی رسم شده است همچنین در شکل ۵- ب نمودار پاشندگی از روی رابطه Cauchy و Sellmeier برای تیغه فیوز سیلیکا در ناحیه مرئی مقایسه شده است که با یکدیگر همخوانی دارند. در شکل ۵- ج نمودار پاشندگی فیوز سیلیکا در ناحیه غیر مرئی رسم شده است. محور افقی در نمودارها طول موج بر حسب میکرون را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۵- ج در حوالی طول موج  $150nm \approx \lambda$  برای تیغه فیوز سیلیکا جذب رخ می‌دهد.

جدول ۴- ضرایب پاشندگی Sellmeier برای تیغه فیوز سیلیکا

$B_1$	$C_1(\mu m^2)$	$B_2$	$C_2(\mu m^2)$	$B_3$	$C_3(\mu m^2)$
۰,۶۸۸۵	۰,۰۱۱۱۱	۰,۴۰۰۵	۰,۰۱۸۴۷	۰,۸۹۷۶	۹۷,۹۳

جدول ۵- ضرایب پاشندگی Cauchy برای تیغه فیوز سیلیکا و اسلاید شیشه‌ای. برای اسلاید شیشه‌ای آزمایش فقط در ۲ طول موج لیزر هلیوم- نئون و سبز Nd-Yag انجام شده و ضرایب کوشی تا تقریب مرتبه دوم گزارش شده است.

	$A$	$B(\mu m^{-2})$	$C(\mu m^{-4})$
فیوز سیلیکا	۱,۴۳۹	۰,۰۰۸۲۴۱	- ۰,۰۰۰۳۰۹۵
اسلاید شیشه‌ای	۱,۴۷۸۸	۰,۰۰۹۸۴۶	-



شکل ۵- (الف) منحنی پاشندگی فیوزسیلیکا و اسلاید شیشه‌ای به کمک رابطه کوشی در ناحیه مرئی. منحنی نقطه چین برای اسلاید شیشه‌ای و منحنی ممتد برای فیوزسیلیکا (ب) مقایسه منحنی پاشندگی تیغه فیوزسیلیکا به کمک رابطه Cauchy و Sellmeier در ناحیه مرئی. منحنی ممتد برای Sellmeier و منحنی نقطه چین برای Cauchy (ج) منحنی پاشندگی فیوزسیلیکا به کمک رابطه Sellmeier در حوالی باند جذب. جذب در طول موج  $\lambda \approx 150\text{nm}$  صورت می‌گیرد. محور افقی طول موج بر حسب میکرون را نشان می‌دهد.

#### ۴. دقت اندازه گیری و مزیت های روش معرفی شده

یکی از مهمترین مباحث، خطای روش معرفی شده در این گزارش برای اندازه گیری ضریب شکست می باشد. همانطور که در بخش ۲ ملاحظه شد، مطابق رابطه ۶ ضخامت تیغه و طول موج در دقت اندازه گیری ضریب شکست تأثیری ندارند. دقت اندازه گیری به حساسیت آشکارساز در مشخص کردن تغییرات شدت به ازای تغییرات اندک زاویه بستگی دارد. بنابراین هرچه آشکارساز حساس تر و گونیومتر مورد استفاده برای تغییر زاویه دقیقتر و حساستر باشد دقت اندازه گیری تا حد قابل ملاحظه ای افزایش می یابد همچنین برای از بین بردن اثر خطای خواندن زاویه تعداد بیشینه های نمایانی شمارش شده را در هر بازه افزایش می دهیم (مثلاً ۱۰۰ بیشینه می شماریم) و با این کار خطای خواندن زاویه را تا حد قابل ملاحظه ای کاهش می دهیم. با استفاده از CCD های حساستر (۱۰ بیتی یا بالاتر) می توان دقت تعیین زاویه ای که در آن نمایانی بیشینه است را تا حد قابل ملاحظه ای افزایش داد. اگر از رابطه های ۴ تا ۶ مشتق گیری کرده و محاسبه خطا انجام دهیم می توان نشان داد که با استفاده از CCD ۱۰ بیتی به جای ۸ بیتی و استفاده از گونیومتر با دقت چرخش ۱ ثانیه قوسی به جای ۱۰ ثانیه قوسی با شمارش حداقل ۱۰۰ نمایانی بیشینه در هر بازه ای زاویه ای دقت اندازه گیری تا ۶ رقم با معنی افزایش می یابد.

یکی از مزیت های روش ارائه شده عدم حساسیت به نوسانات مکانیکی و محیطی است. در واقع در این روش برخلاف روش های تداخل سنجی که جابجایی های فریزهای تداخل اندازه گیری می شود؛ از نمایانی فریزها برای اندازه گیری کمیت های نام برده استفاده می شود. به عبارتی فریزهای پراش فرنل از پله های فازی جابجایی ندارند ولی با تغییر فاصله آشکارساز تا جسم پراش دهنده پهنای فریزها تغییر می کند. روش پراش سنجی برای اندازه گیری ضریب شکست، پاشندگی و طول موج روشی ارزان و بسیار ساده می باشد و همانطور که ملاحظه شد با وسایل ساده اپتیکی دقتی از مرتبه ۴ رقم با معنی قابل دسترس است و با اندکی تغییر در وسایل مورد استفاده دقت به میزان قابل ملاحظه ای افزایش می یابد.

## ۵. نتیجه گیری

روش جدید پراش سنجی که در این گزارش برای اندازه گیری ضریب شکست، ضخامت و پاشندگی تیغه های شفاف معرفی شده بسیار ساده، کم هزینه و آماده سازی نمونه در آن راحت می باشد و روشی دقیق برای اندازه گیری کمیت های نام برده می باشد. علاوه بر این نشان می دهد که پراش فرنل از پله های فازی تکنیک قدرتمندی برای اندازه گیری کمیت های اپتیکی و فیریکیاست همچنین این روش قابلیت خوبی برای ساخت دستگاه اندازه گیری ضریب شکست، طول موج و پاشندگی مواد شفاف را دارد و می توان از آن برای کالیبره کردن وسایل اندازه گیری طول مانند کولیس و میکرومتر استفاده کرد. روش معرفی شده بر خلاف بسیاری از روش های متداول برای اندازه گیری ضخامت تیغه یا ضریب شکست و پاشندگی محدودیتی در ضخامت و ابعاد نمونه ندارد و در هر ناحیه ای از طیف الکترومغناطیسی قابل استفاده است.

## ۶. سپاسگزاری

از همکاری جناب آقای آهنگری از دانشگاه علوم پایه زنجان و مرکز اپتیک جهاد دانشگاهی صنعتی شریف صمیمانه سپاسگزاریم.

## ۷. منابع

[1] E. Moreels, C. de Greef, and R. Finsy, "Laser light refractometer," Appl. Opt. 23, 3010–3013 (1984).

[2] M. Daimon and A. Masumura, "Measurement of the refractive index of distilled water from the near-infrared region to the ultraviolet region," Appl. Opt. 46, 3811–3820 (2007).

[3] S. Nemoto, "Measurement of the refractive index of liquid using laser beam displacement," Appl. Opt. 31, 6690–6694 (1992).

[4] P. H. Tomlins, P. Woolliams, C. Hart, A. Beaumont, and M. Tedaldi, "Optical coherence refractometry," Opt. Lett. 33, 2272–2274 (2008).



[5] M. Ohmi, T. Shiraishi, H. Tajiri, and M. Haruna, "Simultaneous measurement of refractive index and thickness of transparent plates by low coherence interferometry," *Opt. Rev.* 4, 507–515 (1997).

[6] M. de Angelis, S. De Nicola, P. Ferraro, A. Finizio, and G. Pierattini, "A reflective grating interferometer for measuring the refractive index of liquids," *J. Opt. A* 5, 761(1996).

[7] S. Singh, "Refractive index measurement and its applications," *Phys. Scripta.* 65, 167–180 (2002).

[8] D. X. Hammer, A. J. Welch, G. D. Noojin, R. J. Thomas, D. J. Stolarski, and B. A. Rockwell, "Spectrally resolved white light interferometry for measurement of ocular dispersion," *J. Opt. Soc. Am. A* 16, 2092–2102 (1999).

[9] S.-H. Lu, S.-P. Pan, T.-S. Liu, and C.-F. Kao, "Liquid refractometer based on immersion diffractometry," *Opt. Express* 15, 9470–9475 (2007).

[10] M. T. Tavassoly, H. Sahloll-bai, M. Salehi, and H. R. Khalesifard, "Fresnel diffraction from step in reflection and transmission," *Iranian J. Phys.* 5, 237-246 (2001).

[11] M. Amiri, and M.T. Tavassoly, "Fresnel diffraction from 1D and 2D phase steps in reflection and transmission modes," *Opt. Commun.* 272, 349-361(2007).

[12] M. T. Tavassoly, M. Amiri, A. Darudi, R. Aalipour, A. Saber, and A. -R. Moradi, "Optical diffractometry," *J. Opt. Soc. Am. A* 26, 540-547 (2009).

[13] M. T. Tavassoly, I. M. Haghghi, and Kh. Hassani, "Application of Fresnel diffraction from a phase step to the measurement of film thickness," *Appl. Opt.* 48, 5497 (2009).

[14] M. T. Tavassoly, S. R. Hosseini, A. Motazedi Fard, and R. R. Naraghi, "Applications of Fresnel diffraction from the edge of a transparent plate in transmission," *Appl. Opt.* 51, 7170-7176 (2012).

[15] A. Khorshad, Kh. Hassani, and M.T. Tavassoly, “ Nanometer displacement measurement using Fresnel diffraction, ” App. Opt. 51, 5066-5072 (2012).

[16] M. T. Tavassoly, and A. Saber, “ Optical refractometry based on Fresnel diffraction from a phase wedge,” Opt. Lett. 35, 3679-3681 (2010).

[17] M. T. Tavassoly, R. R. Naraghi, A. Nahal, and Kh. Hassani, “ High precision refractometry based on Fresnel diffraction from phase plates,” Opt. Lett. 37, 1493(2012)

[18] R. Aalipour, M. T. Tavassoly and A. Drrudi, “ Superimposing the waves diffracted from two similar hot and cold wires provides the temperature profile around the hot one,” Appl. Opt. 49, 3768-3771(2010).

[19] F.A Jenkins and H. E. White, Fundamentals of Optics (McGraw-Hill, 1985).