بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰

طراحی طیف‌سنج کم هزینه با استفاده از تلفن هوشمند

نجما معصومی[۱]، مجتبی ابراهیمی [۲]، عبدالناصر ذاکری[۳]*

[۱]بخش فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران، hidee.felavin@gmail.com
[۲] بخش فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران، mojtaba.ebrahimi۲۰۰۱@gmail.com
[۳*]بخش فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران، zakeri@susc.ac.ir

چکیده – در این مقاله مزیت‌های استفاده از توری پراش دایره‌ای متحدالمرکز با فواصل مساوی نسبت به توری پراش خطی در روش‌های مبتنی بر گوشی هوشمند بررسی شده‌است. ویژگی‌های شکل‌دهی تصویر آن‌ها شرح داده می شود و اثرات ابیراهی‌های توری‌های پراش خطی و دایره‌ای را برای طیف سنج های مبتنی بر گوشی هوشمند بررسی می‌کنیم. جمع آوری داده‌ها توسط دوربین گوشی هوشمند انجام می شود، بنابراین لازم است تصویری با کمترین میزان ابیراهی و بالاترین کیفیت داشته باشیم. در توری‌های پراش دایره‌ای ابیراهی انحنای میدان، ابیراهی اعوجاج و ابیراهی جبهه موج کاهش می‌یابد. بنابراین مناسب‌ترین سیستم برای ساخت این نوع طیف سنج‌ها استفاده از توری‌های پراش دایره ای است.

کلید واژه- طیف سنج کم هزینه، توری پراش دایره‌ای، زیمکس

Design of Low Cost Smartphone Spectrometer

Najma maasoomi[۱], Mojtaba Ebrahimi[۲], AND Abdolnaser Zakery[۳]

[۱]Department of Physics, College of Science, Shiraz University, Shiraz ۷۱۹۴۶-۲۴۷۹۵, Iran, hidee.felavin@gmail.com
[۲]Department of Physics, College of Science, Shiraz University, Shiraz ۷۱۹۴۶-۲۴۷۹۵, Iran, mojtaba.ebrahimi۲۰۰۱@gmail.com
[۳]Department of Physics, College of Science, Shiraz University, Shiraz ۷۱۹۴۶-۲۴۷۹۵, Iran, *zakeri@susc.ac.ir

Abstract- In this paper, the advantages of using concentric circular diffraction grating with equal spaces compared to linear diffraction grating in smartphone-based methods are investigated. Their image-formation properties are described, and we examine the effects of linear and circular diffraction grating aberrations for spectrometer-based smartphones. Data collection is done by the smartphone camera, so we need to have the image with the least amount of aberration and the highest image quality. With circular diffraction gratings, the curvature of the field, the distortion aberration, and the wavefront aberration are reduced. Therefore, the most suitable system for making this type of spectrometer is the use of circular diffraction gratings.

Keywords: Low cost spectrometer, circular diffraction grating, Zemax

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

مقدمه

تصویربرداری با تلفن‌های هوشمند به طور گسترده‌ای در حوزه-های مختلف علمی استفاده شده‌است(۱). طیف سنجی یک روش بسیار موثر برای تجزیه و تحلیل داده‌های بیولوژیکی بر اساس گوشی‌های هوشمند است. در سال‌های اخیر، تلفن هوشمند با حسگرهای زیستی نوری پیشرفت گسترده‌ای در کاربرد مراقبت نقطه‌ای داشته است (۲). طیف سنجی نقش حیاتی در حسگرهای زیستی نوری ایفا می‌کند زیرا طیف یک منبع نور در یک نمونه به ما این امکان را می‌دهد که بسیاری از ویژگی‌های غیر تهاجمی آن نمونه زیستی را بدانیم.

روش‌های طیف سنجی

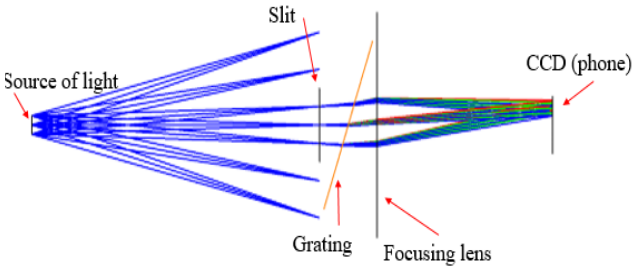
در مقالات مختلف چندین روش کم‌هزینه برای طیف‌سنجی مبتنی بر گوشی‌های هوشمند با وضوح بالا (۰/۳-۱ نانومتر) پیشنهاد شده است(۳). از CD یا DVD فشرده به عنوان یک المان پراکندگی در یک سیستم طیف‌سنجی مبتنی بر گوشی‌های هوشمند، برای کاربردهای مختلف استفاده شده‌است. پراکندگی طیف‌ها در یک بعد از آرایه‌های دوبعدی حسگرها کاربرد اولیه آرایه‌های حسگر گوشی‌های هوشمند در تصویربرداری بود، سپس از چاپ سه بعدی برای تولید سخت افزار اپتیکی به منظور کاهش هزینه واحدهای تجاری استفاده شد. طیف‌سنجی‌های اپتیکی مدرن امروزی (به جز چند ابزار مانند طیف‌سنجی توری فیبر براگ و طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه) (۴) بر اساس اصل پراش فرانهوفر بنا شده‌اند. اولین گزارش از یک طیف‌سنج تلفن هوشمند، سیستمی است که در آن یک دیافراگم شکافی بر روی توری پراش با استفاده از دو نوار موازی، که به فاصله ۱ میلی‌متر از هم جدا شده‌اند، تشکیل شده است. وضوح طیفی سیستم ۵-۱۰ نانومتر گزارش شد. نویسندگان این مقاله عملکرد مطلوبی را در مقایسه با طیف‌های همزمان به‌دست‌آمده از یک طیف‌سنج تجاری در دسترس، نشان دادند و برای اثبات عملکرد خود، جمع‌آوری طیف‌های نور منتقل شده از طریق بافت انسانی، و همچنین فلورسانس از محلول رودامین G۶ را گزارش دادند(۵). طیف‌سنج‌های مبتنی بر استفاده از توری‌های CD/DVD، حتی با وجود ویژگی‌های عملیاتی و طیفی قابل مقایسه با ابزارهای تجاری، برای تجزیه و تحلیل کمی مورد استفاده قرار نگرفته‌اند. اولیویرا و همکاران با استفاده از یک دی وی دی برای توری پراش و ساخت یک واحد تخته فیبر چگالی متوسط (MDF) ارزان قیمت، کاربردهایی را در اندازه گیری نمک و یون‌های Fe^{2+}و Na^{+} در نمونه‌های پزشکی و مشاهدات طیف سنجی مبتنی بر فلورسانس و جذب را نشان دادند(۵). بنابراین طیف‌سنجی گوشی‌های هوشمند اکنون امکان ضبط و تجزیه و تحلیل طیف‌ها را با قیمتی بی‌سابقه، با هزینه‌های ساخت نقل‌شده به کمتر از ۱۰ دلار، بر اساس حداقل هزینه‌های مواد مرتبط (به‌عنوان مثال با استفاده از دی‌وی‌دی‌ها برای توری پراش، یا ساخت محفظه دستگاه از مواد خانگی که به راحتی در دسترس هستند، مثل MDF (۶) یا با چاپ سه بعدی فراهم می کنند.

در این مقاله، خواص نوری توری‌های پراش متشکل از خطوط دایره‌ای متحدالمرکز با فاصله‌ی مساوی، مورد بررسی قرار گرفته و ویژگی‌های تشکیل تصویر آن‌ها شرح داده می‌شود و اثرات ابیراهی‌های توری‌های پراش خطی و دایره‌ای را برای گوشی های هوشمند مبتنی بر طیف سنج بررسی می‌کنیم. جمع آوری داده-ها توسط دوربین گوشی هوشمند (با استفاده از آشکارساز آرایه دو بعدی به جای آشکارساز آرایه خطی) انجام می‌شود، بنابراین لازم است تصویری با کمترین میزان ابیراهی و بالاترین کیفیت داشته باشیم. در توری‌های پراش دایره‌ای ابیراهی انحنای میدان، ابیراهی اعوجاج و ابیراهی جبهه موج کاهش می‌یابد. بنابراین مناسب‌ترین سیستم برای ساخت این نوع طیف سنج‌ها استفاده از توری‌های پراش دایره ای است.

شکل ۱ تصویر شماتیک طیف‌سنجی با استفاده از گوشی هوشمند را نشان می‌دهد. نور پس از عبور از شکاف (به پهنای ۳۰ میکرومتر) محدود شده و به توری پراش برخورد کرده و

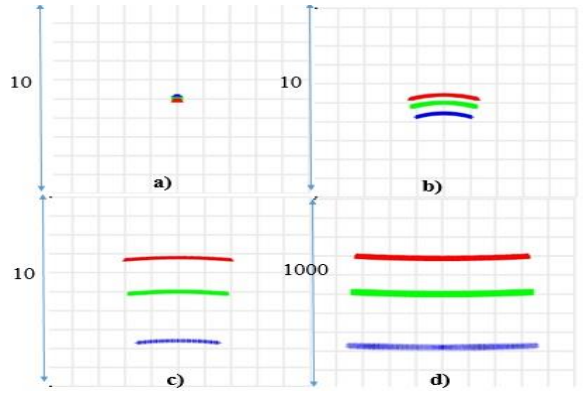
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

طول‌موج‌های مختلف از هم جدا شده‌اند و پس از عبور از لنز متمرکز کننده، به آشکارساز می‌رسند.

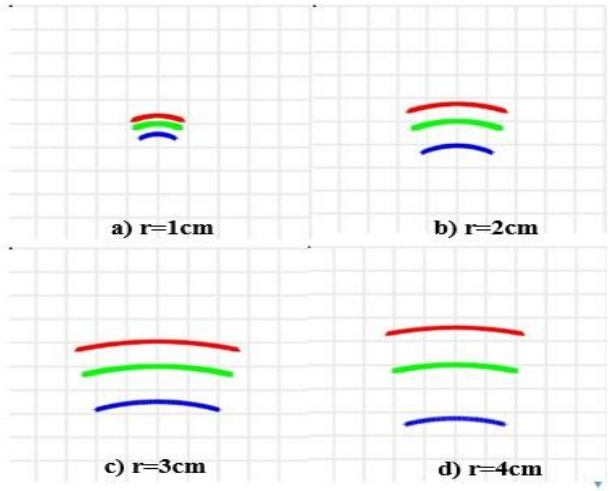


شکل ۱: تصویر شماتیک از طیف‌سنجی با استفاده از تلفن هوشمند

شکل۲ نمودار نقطه‌ای تفاوت خطوط طیفی ناشی از حالت‌های حدی توری پراش از دایره‌ای به خطی در میدان دید ۱ درجه را نشان می‌دهد. مشاهده می‌کنیم که با تغییر توری پراش از حالت دایره‌ای به خطی فاصله خطوط طیفی از هم بیشتر شده است و انحنای خطوط کمتر می‌شود.



شکل ۲: نمودار نقطه‌ای برای میدان دید ۱ درجه، برای (a) گریتینگ دایره‌ای، (b) گریتینگ نیم دایره، (c) تکه ای از گریتینگ دایره ای، (d) گریتینگ با خطوط خطی

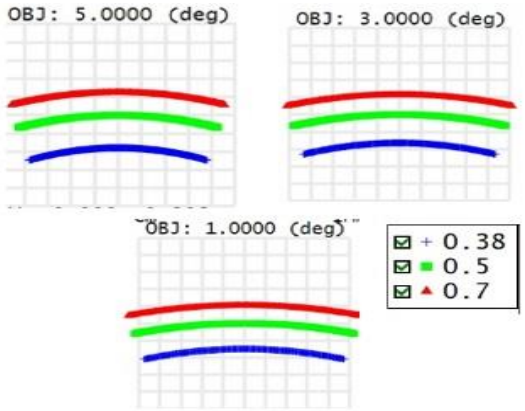


شکل ۳. نمودار نقطه ای را برای برش‌های مختلف توری دایره‌ای با میدان دید یکسان نشان می‌دهد (r فاصله برش دایره از مرکز است).

در شکل۳ تاثیر میدان‌دیدهای مختلف توری پراش دایره ای بر روی خطوط طیفی را بررسی کردیم. نمودار نقطه‌ای نشان می‌دهد که با افزایش فاصله از مرکز توری پراش دایره‌ای، فاصله

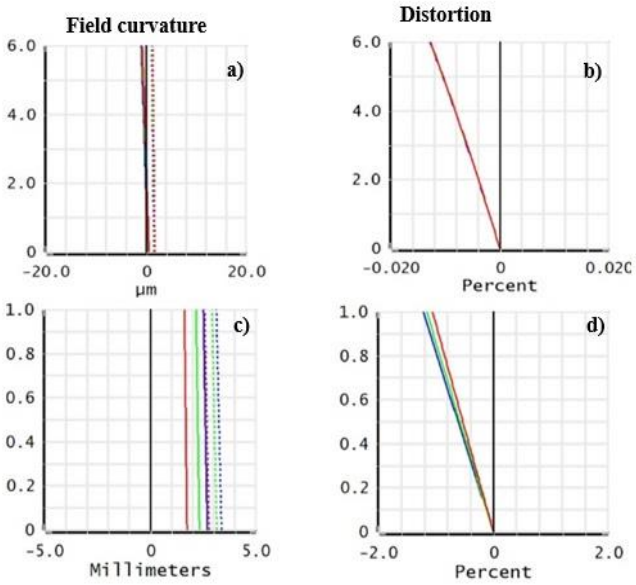
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

خطوط طیفی از هم بیشتر شده و تفکیک طیفی بهتر انجام می-شود.



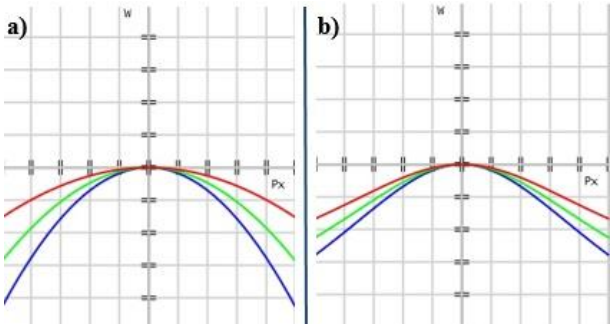
شکل۴. نمودار نقطه‌ای را برای یک برش دایره‌ای ثابت، برای چند میدان دید متفاوت (۱ درجه، ۳ درجه و ۵ درجه) را نشان می‌دهد.

در شکل۴ تاثیر میدان‌دیدهای مختلف بر روی یک برش مشخصی از توری پراش دایره‌ای را نشان می‌دهد. همانطور که می‌بینیم، میدان‌دیدهای مختلف تاثیر زیادی روی خطوط طیفی مختلف ندارد.



شکل۵: نمودار انحنای میدان و اعوجاج برای توری نیم دایره و توری خطی

شکل۵، نمودارهای انحنای‌میدان و اعوجاج را برای توری پراش نیم‌دایره‌ای (a,b) و توری پراش با خطوط خطی (c,d) را نشان می‌دهد. مطابق شکل، در توری پراش نیم‌دایره‌ای ابیراهی انحنای میدان و اعوجاج کمتری نسبت به توری پراش خطی وجود دارد که از مزیت‌های استفاده از توری پراش دایره‌ای نسبت به توری پراش خطی است.



شکل۶. اختلاف راه نوری را برای توری پراش نیم‌دایره (حداکثر مقیاس ۲ طول موج) (a) و توری پراش با خطوط خطی (b) را نشان می‌دهد.

در شکل ۶، اختلاف راه نوری برای توری پراش نیم‌دایره‌ای و خطی بررسی شده‌است. با استفاده از توری پراش نیم‌دایره‌ای، ابیراهی جبهه‌موج کمتری نسبت به توری پراش خطی خواهیم داشت که دلیلی دیگر از مزیت استفاده از توری پراش دایره‌ای نسبت به خطی است.

نتیجه‌گیری

در این مقاله مزیت‌های استفاده از توری پراش دایره‌ای نسبت به توری پراش خطی در روش‌های مبتنی بر گوشی هوشمند بررسی شده‌است. با توجه به نمودارها و نتایج به‌دست آمده، خطوط طیفی ناشی از توری پراش دایره‌ای از ابیراهی انحنای میدان و اعوجاج و اختلاف جبهه‌موج نسبت به جبهه‌موج کروی مرجع کمتری نسبت به توری پراش خطی هستند.

مراجع

۱. Breslauer DN, Maamari RN, Switz NA, Lam WA, Fletcher DA. Mobile phone based clinical microscopy for global health applications. PloS one. ۲۰۰۹;٤(۷):e٦۳۲۰.
۲. Hussain I, Bowden AK. Smartphone-based optical spectroscopic platforms for biomedical applications: a review. Biomedical Optics Express. ۲۰۲۱;۱۲(٤):۱۹۷٤-۹۸.
۳. Xu D, Huang X, Guo J, Ma X. Automatic smartphone-based microfluidic biosensor system at the point of care. Biosensors and Bioelectronics. ۲۰۱۸;۱۱۰:۷۸-۸۸.
٤. Qu H, Ung B, Roze M, Skorobogatiy M. All photonic bandgap fiber spectroscopic system for detection of refractive index changes in aqueous analytes. Sensors and Actuators B: Chemical. ۲۰۱۲;۱٦۱(۱):۲۳٥-٤۳.
٥. de Oliveira HJS, de Almeida Jr PL, Sampaio BA, Fernandes JPA, Pessoa-Neto OD, de Lima EA, et al. A handheld smartphone-controlled spectrophotometer based on hue to wavelength conversion for molecular absorption and emission measurements. Sensors and Actuators B: Chemical. ۲۰۱۷;۲۳۸:۱۰۸٤-۹۱.
٦. Yang Z, Albrow-Owen T, Cai W, Hasan T. Miniaturization of optical spectrometers. Science. ۲۰۲۱;۳۷۱(٦٥۲۸).

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]