بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸

# بررسی خواص کانونی عدسی مربعی برون محوری

**آرش ثباتیان، ساناز هادی**

**ارومیه، دانشگاه ارومیه، دانشکده علوم، گروه فیزیک**

a.sabatyan@urmia.ac.ir , sanaz_hadi@yahoo.com

**چکیده - در این مقاله نوع خاصی از تیغه ی منطقه ای فرنل مربعی معرفی می‌شود که موج تخت فرودی را در نقطه ایی خارج از محور نوری کانونی می کند. این تیغه ی جدید، تیغه ی مربعی برون محوری نامیده می‌شود. در این مقاله خواص کانونی این قطعه پراشی بررسی شده است. نشان می دهیم که با تغییر پارامتری به نام پارامتر انتقال، پرتوی متمرکز شده بر روی صفحه کانونی جابجا می شود.همچنین با بررسی نمودار توزیع شدت، مشاهده می شود که عرض نقاط کانونی، تقریبا برابر هستند. نتایج شبیه سازی با آزمایش های تجربی تایید می‌شود.**

کلید واژه- پراش- عدسی پراشی– ساختار دهی باریکه– عدسی برون محوری

# Exploring focusing features of off-axis square zone plate

Arash Sabatyan, Sanaz Hadi

The Physics Department, Faculty of Sciences, Urmia University

**Abstract- In this article, a square zone plate is introduced which focuses a plane incident wave into a point located out of the optical axis. This new plate is called off-axis square zone plate. The focusing properties of the element is studied. We show that by changing a parameter called as shifting parameter the focused beam is displaced over the focal plane. As a result, by examining the intensity profile, it can be seen that the widths of the focal spots are approximately the same. All simulation results are verified by the corresponding experiments.**

Keywords: Diffraction- Diffractive lens– Beam Structuring– Off-axis Lens

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04 ]



این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

## مقدمه

استفاده از عدسی های پراشی به دلیل هزینه تولید پایین و کاربردهای بسیار متنوع آنها در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته اند. شناخته ترین عدسی پراشی تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل است که از نواحی متقارن و هم مرکز روشن و تاریک یا منطقه های فرنل تشکیل شده است. عدسی های پراشی گوناگونی مانند تیغه‌ی منطقه‌ای گلبرگی[۱]، صلیبی[۲] و مربعی سمتی[۳] و غیره در سالهای اخیر معرفی شده اند. در این مقاله عدسی پراشی جدیدی به اسم تیغه ی منطقه‌ای مربعی برون محوری معرفی می گردد. این عدسی پراشی منحصر به فرد همانطور که اسمش پیداست دارای کانونی خارج از محور نوری در داخل صفحه ی کانونی است. تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل برون محوری کاربردهایی نظیر تصویرگیری با زاویه‌ی دید بزرگ و تولید تصاویر سه بعدی با استفاده از قطعات پراشی در میکروسکوپ‌ها را می تواند داشته باشد [۴].

## روش تهیه مقاله

تیغه منطقه‌ای فرنل مربعی در واقع همان نوع کلاسیک خود یعنی تیغه فرنل دایره‌ای $(FZP)$ است با این تفاوت که در آن نواحی فرنل مربعی جایگزین نواحی دایره ایی می شوند[5]. تیغه فرنل مربعی برون محوری نیز بر پایه تیغه فرنل مربعی بنا نهاده می شود. بطوریکه تابع عبور آنرا می توان بصور زیر بیان نمود

$$p(x,y)=(1+sign\{k\times\max[x+\alpha_1\cos(2\theta)]^2 .[y+\alpha_2\cos(2\theta)]^2)\}/2f) \quad (۱)$$

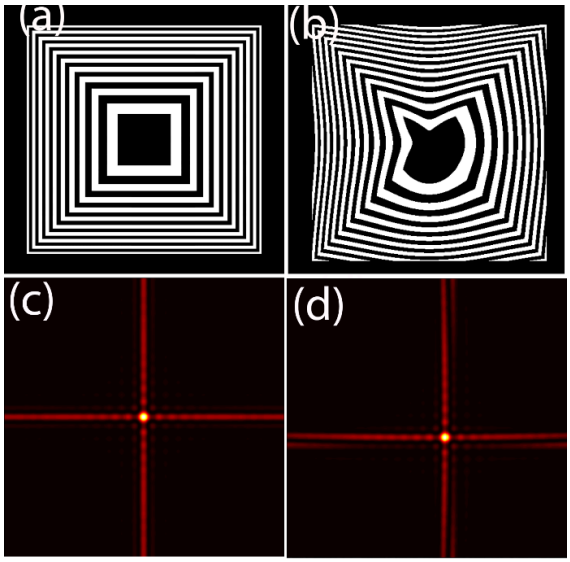
در این رابطه sign تابع پله، f فاصله‌ی کانونی، k عدد موج، $\alpha_1$ و $\alpha_2$ پارامترهای انتقال مربوط به انحراف می‌باشد. اعمال پارامتر انتقال در تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل مربعی برون محوری موجب انحراف کانون از محور اپتیکی به اندازه دلخواه می شود.

برای انجام محاسبات شبیه سازی از انتگرال فرنل-کیرشهف استفاده شد. با توجه به این که انتگرال فرنل - کیرشهف را می توان به صورت همتافتگی تابع عبور جسم با تابع پاسخ فضای آزاد نوشت بنابراین داریم:

$$u(x,y;z)=\frac{2\pi e^{ikz}}{i\lambda z}\left[p(x,y)\otimes e^{\frac{ik(x^2+y^2)}{2\pi}}\right] \quad (۲)$$

z فاصله جسم تا صفحه مشاهده است.

در این تیغه نیز نواحی فرنل طوری انتخاب شدند که هر منطقه نسبت به منطقه‌ی مجاور خود تا نقطه به اندازه $\lambda/2$ اختلاف راه داشته باشد. این انحراف از محور اپتیکی موجب برهم زدن تقارن ساختاری تیغه ی منطقه‌ای فرنل می‌شود. در این کار خواص کانونی این عنصر پراشی بصورت تئوری و تجربی مورد بررسی قرار می گیرد. قبل از انجام شبیه سازی ابتدا دو نمونه تیغه‌ی منطقه‌ای مربعی محوری (a) و برون محوری (b) در شکل (۱) نشان داده شده اند. همچنین توزیع شدت‌های متناظر ان ها نیز به ترتیب در شکل‌های(c) و (d) نشان داده شده است.




شکل ۱: در ردیف بالا به ترتیب دو تیغه ی فرنل شبیه سازی شده محوری و برون محوری و در ردیف پایین نیز توزیع شدت متناظر هر دو تیغه مربوطه درشکل های پایین نشان داده شده است.

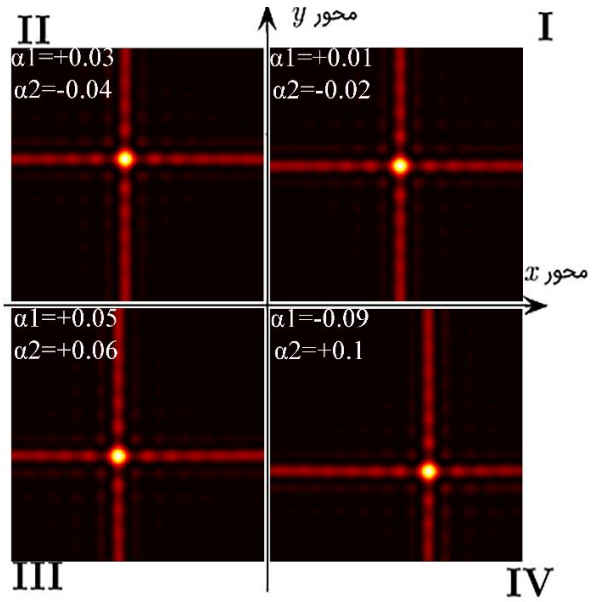


این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04 ]

برای شبیه‌سازی تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل مربعی برون محوری در این روش طراحی چهار پارامتر فاصله‌ی کانونی، طول موج فرودی و شعاع عدسی و پارامتر انتقال اعمال می‌شود، در ابتدای کار مقادیر معینی برای این پارامترها به این شرح که فاصله‌ی کانونی برابر ۵۰۰ میلیمتر، طول موج ۶۳۲/۸ نانومتر و شعاع عدسی ۱۴ میلیمتر در نظر گرفته شد.

در این مقاله تعدادی تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل با پارامترهای انتقال مختلف برای چهار ناحیه مثلثاتی شبیه‌سازی و مورد بررسی قرار گرفت که توزیع شدت‌های واقع در صفحه‌ی کانون این عناصر در 4شکل نمایش داده شده است.

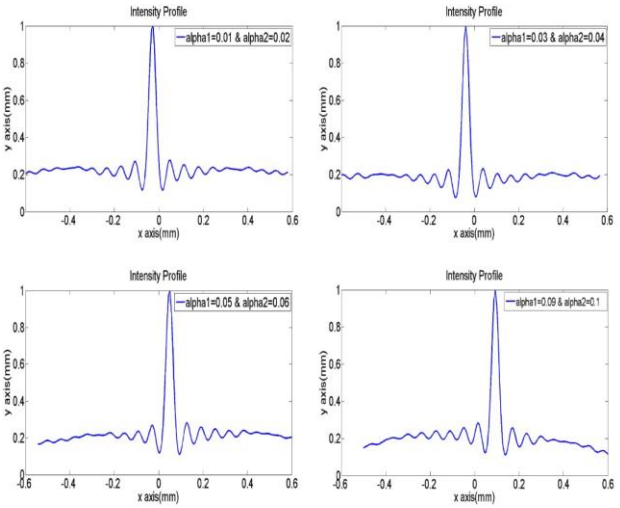



شکل۲ :توزیع شدت نمونه‌های شبیه‌سازی شده در نرم افزار MATLAB با پارامتر های انتقال متفاوت که هر کدام در شکل آورده شده است.

مشاهده می‌شود که با افزایش پارامترهای ثابت انتقال $\alpha_1$ و $\alpha_2$مکان کانون نیز به همان اندازه از محور اپتیکی دور می‌شود.

در ادامه برای بررسی بیشتر، توزیع شدت یک بعدی مربوط به این عناصر پراشی در شکل (3) رسم شده است.

با مقایسه و تجزیه و تحلیل این نمودارها مشاهده شد که پهناهای نقاط کانون و شدت ماکزیمم نقطه‌ی کانون در تمام نمونه‌های شبیه‌سازی شده تقریبا برابر است.




شکل ۳: نمودارهای توزیع شدت یک بعدی مربوط به عدسی‌های پراشی با پارامترهای انتقال متفاوت می‌باشد.

## نتایج تجربی

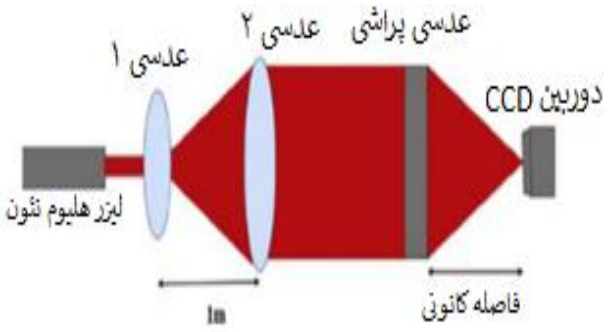
برای بررسی درستی نتایج شبیه‌سازی شده، نمونه‌های طراحی شده به روش لیتوگرافی روی فیلم شفاف چاپ شدند. نمونه‌های پراشی در یک چیدمان آزمایش بی‌کانون همانند شکل(۴) قرار گرفتند. در این چیدمان نور لیزر هلیوم-نئون بعد از تصفیه فضایی پهن و موازی می شود. نور موازی شده بر نمونه های چاپ شده تابیده می شود و سپس شدت نور پراش یافته در کانون توسط دوربین CCD ثبت و ذخیره گردید. در شکل (۵) چهار نمونه از توزیع شدت‌های ثبت شده در آزمایشگاه اپتیک هستند که این تصاویر ذخیره شده مربوط به نمونه‌هایی با پارامترهای، ناحیه‌ی اول: $\alpha_1$و $\alpha_2$ به ترتیب 0/01+ و 0/02- ، ناحیه‌ی دوم: $\alpha_1$و $\alpha_2$ به ترتیب 0/03+ و 0/04- ، ناحیه‌ی سوم: $\alpha_1$و $\alpha_2$ به ترتیب 0/05+ و 0/06+ و ناحیه‌ی چهارم $\alpha_1$و $\alpha_2$ به ترتیب 0/09- و 0/1+ است که در توافق خوبی با نتایج شبیه سازی شده است.

تصاویر ذخیره شده مربوط با نمونه‌هایی با مشخصات f=500mm و طول موج فرودی $\lambda = 632.8\ nm$ با پارامترهای $\alpha_1$و $\alpha_2$ متفاوت که هر کدام در شکل ذکر شده است.

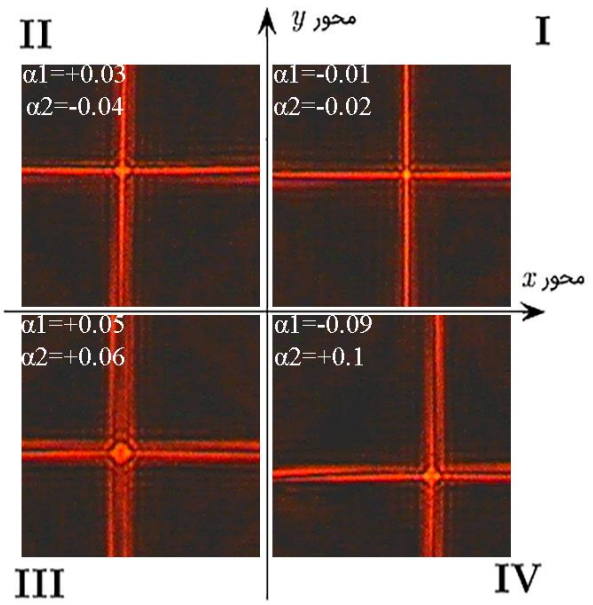


این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04 ]




شکل ۴: چیدمان آزمایش




شکل ۴: نمونه‌های تجربی ثبت شده در آزمایشگاه با فاصله‌ی کانونی f=500mm و طول موج فرودی λ=632.8 nm با پارامترهای $\alpha_1$ و $\alpha_2$ متفاوت که هر کدام در شکل ذکر شده است.

## نتیجه‌گیری

دراین مقاله تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل عادی برون محوری مطالعه، طراحی و ساخته شد. طراحی این عنصر پراشی با استفاده از محاسبات انجام شده در نرم افزار MATLAB انجام گرفت و نمونه‌های تولید شده در آزمایشگاه مورد راستی آزمایی قرار گرفتند. خواص کانونی این قطعه ی پراشی نیز مورد مطالعه قرار گرفت و در ادامه با بررسی نمودار توزیع شدت یک بعدی مشاهده شد که پهناها و شدت نقاط کانونی برای بیشتر نقاط کانونی برون محوری تقریبا برابر هستند.

## مرجع‌ها

**[1]** Sabatyan, A. and M. Golbandi (2018). "Petal-like zone plate: long depth bifocal diffractive lens and star-like beam generator." JOSA A **35**(7): 1243-1253.

**[2]** Sabatyan, A. and J. Rafighdoost (2015). "Focusing specification of cross-like Fresnel zone plate." Optik **126**(24): 4796-4799.

**[3]** Sabatyan, A. and H. Besharatfar (2016). "Focusing behavior of azimuthally structured square zone plate." Optical and Quantum Electronics **48**(8): 383.

**[4]** Raheem, R., et al. (2006). Off Axis Fresnel Zone Plates for White Light 3D Microscopy. Frontiers in Optics, Optical Society of America.

**[5]** Sabatyan, A., et al. (2016). "Square array of optical vortices generated by multiregion spiral square zone plate." JOSA A **33**(9): 1793-1797.



این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04 ]