بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

# تولید دو نقطه کانونی توسط تیغه منطقه‌ای فرنل مدوله شده با فاز خطی

آرش ثباتیان، زیبا جعفری اصل

ارومیه، دانشگاه ارومیه، دانشکده علوم، گروه فیزیک

**چکیده- با ترکیب ساختار تیغه منطقه ای فرنل دایره ای و خطی، عنصر پراشی جدیدی ایجاد می شود بطوریکه قابلیت تولید دو کـانون نقطـه ای را داراست، تئوری عنصر ارائه شده مورد مطالعه قرار گرفته و رفتار کانونی آن با استفاده از شبیه سازی نشان داده شده است. ما دو نقطه ی کانونی تولید شده را به راحتی نشان داده ایم . علاوه بر این آزمایش هایی برای تایید نتایج شبیه سازی انجام شده است.**

**کلید واژه- پراش فرنل، تیغه منطقه‌ای فرنل ،توزیع شدت،عدسی‌های پراشی.**

# Generation of double focal points by a linear phase modulated Fresnel zone plate

Arash Sabatyan, Ziba Jafari Asl

Physics department, Faculty of science, Urmia University, Urmia, Iran

Abstract- By combining circular and linear structure of Fresnel zone plate a novel diffractive element is created which is able to generate double focal points. The presented element is theoretically studied and its focusing behavior is demonstrated by simulation. We illustrated that the generated double focal points are easily manipulated. Besides, some experiments arranged to verify the simulation results.

Keywords: Fresnel diffraction, Fresnel zone plate, Intensity Distribution, Diffractive lens

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04 ]



این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

## ۱- مقدمه

در سال‌های اخیر قطعه جدیدی در زمینه اپتیک توسط دانشمندان که خاصیت کانونی کردن باریکه نور را با توجه به ویژگی پراشی نور دارد، معرفی شده است که بسیار پرکاربرد می‌باشد. این قطعه پراشی نور که برای اولین بار توسط فرنل با مناطق حلقوی شکل مطرح گردید، بیشترین کاربرد را در زمینه تصویر گیری، میکروسکوپ اشعه X ایفا می‌نماید[2-1]. به دلیل استفاده و نوع کاربری گوناگون از این قطعه پراشی، FZP با توجه به طول موج مورد آزمایش به صورت ساختارهای یک-بعدی‌و دو-بعدی‌طراحی می‌شوند[5-4-3]. تیغه منطقه ا ی فرنل کلاسیک، عدسی پراشی است که از نوارهای حلقوی روشن و تاریک هم مرکز تشکیل شده است که در صفحه ی کانونی خود تنها فقط یک نقطه کانونی را تشکیل می دهد این در صورتی است که در فرایند تصویر گیری چند-گانه نیازمند بیش ازیک نقطه‌ی کانونی هستیم.

## ۲- طراحی تیغه منطقه فرنل ترکیبی[1](CFZP)

در این مقاله نوع جدیدی از تیغه منطقه‌ای فرنلی معرفی شده، که ترکیبی از دو تیغه منطقه‌ای فرنل دایره‌ای و خطی که مدوله می شودو نتیجه‌ی آن ، تولید دو نقطه‌ی کانونی همسان در صفحه‌ی کانونی است. در ادامه با بررسی و تغییر پارامترهای مختلف نشان داده شده، می توان فاصله‌ی جدایی این دو نقطه‌ی کانونی را نسبت به یکدیگر تغییرداد، بطوری که این تغییرات قابل کنترل باشند.

### ۲-۱- تئوری

در تیغه منطقه ای فرنل دایره‌ای کلاسیک(FZP)[2]، توزیع شدت نور در صفحه‌ی کانونی بصورت یک نقطه(لکه) کانونی است[6]، در صورتی که در تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل خطی(LFZP)[3] یک بعدی، همانند یک عدسی استوانه‌ای عمل می‌کند،و توزیع شدت در صفحه‌ی کانونی بصورت یک خط ظاهر می‌شود[4] .

### ۲-۲- معادلات ریاضی

تیغه منطقه‌ای فرنل ترکیبی (CFZP)، نوع خاصی ازتیغه منطقه‌ای فرنلی مدوله شده است که عملکردی مجزا از عملکرد هر دو تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل دایره‌ای و خطی را داراست،بادرنظرگرفتن معادلات فاز دو تیغه‌ی فرنلی به صورت روابط ریاضی،معادله اول برای تیغه منطقه فرنل دایره ای عبارتنداز[4]:

$$\phi_{FZP} = \frac{i\pi}{\lambda f} r^2 \qquad (۱)$$

و اما معادله فازتیغه منطقه فرنل خطی بصورت زیر است[2-3] :

$$\phi_{LFZP} = \frac{i\pi}{\lambda f}(mx + ny) \qquad (۲)$$

که λ طول موج و f فاصله کانونی و $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ شعاع و m و n اعداد حقیقی مختلف هستند،در نتیجه می‌توان تابع عبور این نمونه را بصورت زیر بیان کرد[4]:

(۳)

$$T(x', y') = t_{FZP} \times t_{LFZP}$$

$$T(x', y') = Bin\{[\exp(\frac{i\pi}{\lambda f} r^2)] \times [\exp(\pm \frac{i\pi}{\lambda f}(mx' + ny'))]\}$$

که تابع Bin(t) نیز به صورت رابطه(۴) تعریف می‌شود:

$$Bin(t) = \begin{cases} 1 & imag(t) > 0 \\ 0 & imag(t) < 0 \end{cases} \qquad (4)$$

درنهایت نیز می‌توان توزیع شدت نمونه‌ها را در راستای محور انتشار z با استفاده از انتگرال فرنل‌کیرشهف به صورت رابطه(۵) بدست آورد[4] :

(5)

$$I(x, y, z) = \left| \{ \frac{e^{ikz}}{i\lambda z} \iint T(x', y') \exp[\frac{ik}{2z}[(x - x')^2 + (y - y')^2]] dx' dy' \} \right|^2$$

که (x,y) و (x′,y′) به ترتیب مختصات نقطه مشاهده و مختصات نمونه هستند.

[1] Complex Fresnel Zone Plate
[2] Fresnel Zone Plate
[3] Linear Fresnel Zone Plate

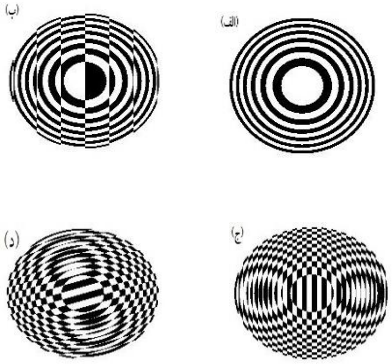


این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04 ]

## ۳-۲- شبیه سازی

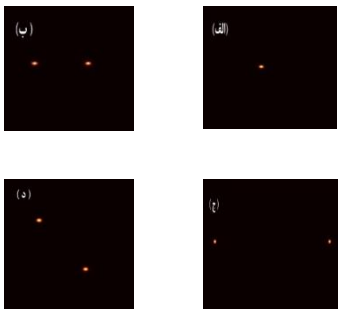
بـه منظـور شـبیه‌سـازی نمونـه‌هـا ،از برنامـه MATLAB استفاده شده است. برای طراحـی نمونـه هـا، فاصـله کـانونی f=500mm، طول موج λ=632/8 nm و شـعاع کلـی تیغـه منطقه ای فرنل ترکیبی برابر R=7mm در نظر گرفته شـده اسـت. شـکل(۱) تـابع عبـوری تیغـه‌ی منطقـه‌ای فرنـل ترکیبی(CFZP) را به ازای m وn های متفاوت نمـایش مـی-دهد.




شکل ۱: نمونه های شبیه سازی شده (الف)برای نمونه (m=n=0) و (ب) برای نمونه (m=0/5,n=0) و(ج) برای نمونه(m=2/5,n=0 )و (د)برای نمونه (m=0/5,n=1/5)

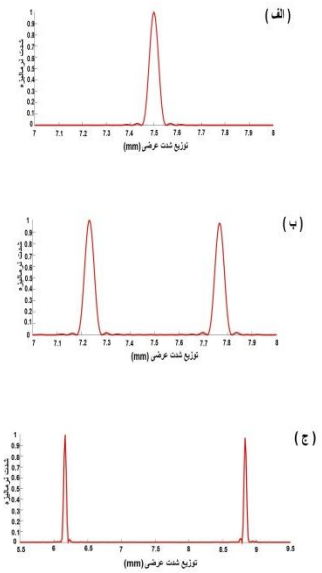
با توجه به شکل(۱) حالت‌هـای (الـف) ، (ب) و (ج) بـرای n های صفر و برای m های متفاوت است و اما حالت(د) که هـر دو پـارامتر m وn آن مخـالف صـفرمی باشـد و بـا اسـتفاده ازرابطه(۵) می‌توان توزیع شدت این نمونه‌هـا را در صـفحه‌ی کانونی($z = f$) بدست آورد.

شکل(۲) بترتیب توزیع شـدت تیغـه‌هـای منطقـه‌ای فرنـل ترکیبی(CFZP) را که در شکل(۱) آورده شده است، نمـایش می‌دهد.




شکل ۲: تصاویر کانونی نمونه های شبیه سازی شده : الف) m=n=0 ،ب) m=0/5,n=0 ، ج) m=2/5,n=0 و د) m=0/5 ,n=1/5

همان‌طور که مشاهده می‌شود هرگاه n=0 و m=0 (شـکل۲-الف) باشد، یعنی همان تیغه منطقه‌ای فرنل کلاسیک، طبـق انتظارمان در صفحه‌ی کانونی تنها فقط یک نقطه‌ی کانونی با نوار مرکزی روشن مشاهده می شود ، ولی این در حالی است کـه بـرای m≠۰ و n=0، دو نقطـه‌ی کـانونی در صـفحه‌ی کانونی ایجاد می شود ،که نتیجـه مدولاسـیون تیغـه منطقـه فرنلی کلاسیکی و تیغه منطقه فرنلی با فاز خطی یک بعـدی است طوری که یکی از نقاط با نوارمرکزی روشن ودیگری بـا نوارمرکزی تاریک مشاهده می شود، از طرفـی بـا افـزایش m (شکل۲-ج)، فاصله‌ی جدایی این دو نقطه ی به اندازه (D) از یکدیگر افزایش می‌یابد. با توجـه بـه شـکل(۲-د)، مـی‌تـوان نتیجـه گرفـت کـه پـارامتر n نقـش دوران کننـده دارد و دو نقطه‌ی کانونی را حول محور اپتیکی مـی‌چرخانـد،واما دلیـل چرخش این است که برای حالت (د) تیغه منطقـه ای فرنـل خطی در دو بعد مورد بررسـی قـرار گرفتـه اسـت.به منظـور بررسی بیشتر در مورد پارامتر m و فاصله‌ی جدایی دو نقطه-ی کانونی از یکدیگر، نمودار توزیع شدت عرضی در صفحه‌ی کـــانونی را بـــرای الـــف) m=n=0، ب) m=0/5,n=0 و ج) m=2/5,n=0 بترتیب در شکل(۳) نمایش داده شده است:




شکل ۳: نمودارهای توزیع شدت عرضی شبیه سازی شده در راستای z : الف) **m=n=0** ،ب) **m=0/5,n=0** و ج) **m=2/5,n=0** .

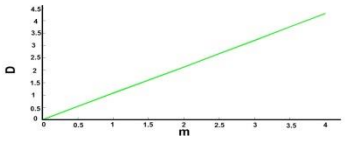
همان‌طور که مشاهده مـی‌شـود، فاصـله‌ی جـدایی دو نقطـه کانونی از یکدیگر(D) با پارامتر m رابطه‌ی مستقیمی دارد بـا بدسـت آورد نسـبت $(\frac{D}{m})$ و رسـم آن در (شـکل۴)، مشـاهده



این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04 ]

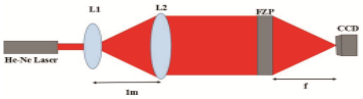
می‌شود که این تغییرات به صورت یک خط راست خواهد بود.




شکل۴ : نسبت **D/m** (تغییرات فاصله بین نقاط کانونی عرضی نسبت به **m** بصورت خط راستی است که برای m مختلف و **n=0** ، یک مقدار ثابت است.

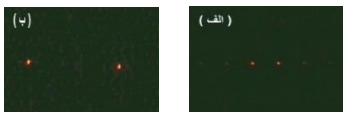
## ۴-۲- نتایج تجربی

برای بررسی صحت نتایج شبیه سازی، نمونه‌های طراحی شده را با استفاده از فرایند لیتوگرافی چاپ و در آزمایشگاه تحت چیدمانی که به صورت شکل(۵)نمایش داده شده ، و توسط نور لیزر هلیوم-نئون (λ=632/8nm) بعد از فیلترینگ و موازی سازی به طور عمود مورد تابش قرار داده شده است. سپس توزیع شدت آن‌ها را در صفحه‌ی کانونی توسط CCD در رایانه ثبت و ذخیره می شود



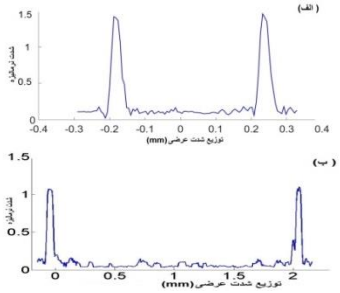

شکل5 : شماتیکی از چیدمان آزمایشگاهی.

اما شکل(۶) بترتیب توزیع شدت تجربی بدست آمده از CFZP ها را بـه‌ازای: الـف)m=0/5,n=0 و ب) m=2/5,n=0 را در صفحه‌ی کانونی نشان می‌دهد. با مقایسه نتایج بدست آمده و نتایج شبیه سازی شده (شکل۳ -ب و ج) شباهت بسیار زیادی بین نتایج عملی و تجربی مشاهده می‌شود که تطبیق بسیار زیادی با یکدیگر دارند.




شکل۶ : توزیع شدت تجربی CFZP را بـه‌ازای:الـف)m=0/5 و n=0،ب) m=2/5 و n=0 .

در ادامه تصاویر بدست آمده را با نرم افزار Image J آنالیز کرده و پروفایل شدت عرضی آن را در شکل(۷) رسم نموده و با نمودار توزیع شدت شبیه سازی شده مورد مقایسه قرار می گیرد.




شکل۷ : نمودار تجربی توزیع شدت عرضی CFZP برای : الـف) m=0/5 و n=0 ، ب) m=2/5 و n=0..

پهنای نمونه شبیه سازی شده (m=0/5,n=0) برابر 29/1 میکرومتر و پهنای تجربی 32میکرومتر و نمونه (m=2/5,n=0) با پهنای شبیه سازی29/9 میکرومتر و تجربی 32/4 میکرومتر مطابقت نزدیکی با یکدیگر دارند.

## ۳- نتیجه‌گیری

با ترکیب دو تیغه منطقه ی فرنل کلاسیک و خطی مدوله شده، یک عدسی پراشی جدیدی می‌توان طراحی که قابلیت تشکیل دو نقطه کانونی را دارد، بطوری که فاصله‌ی جدایی بین این دو نقطه‌ی کانونی با پارامتر معرفی شده‌ی m قابل کنترل بوده ، نسبت فاصله‌ی جدایی دو نقطه‌ی کانونی D به پارامتر m ، یعنی$(\frac{D}{m})$ مقدار ثابتی داردو همچنین مشاهده می شود که نتایج شبیه سازی با نتایج تجربی مطابقت دارد.

## مراجع

[1]. S. Wang, X. Zhang, *and Terahertz Technology:* Terahertz Topographic Imaging with a Fresnel lens, *Opt. Photonics News* **13,** 59 -59, (2002).

[2] Y. Wang, W. Yun and C. Jacobsen ,*Achromatic* "Fresnel optics for wideband extremeultraviolet and X-ray imaging", *Nature* **424,** 50-52, (2003).

[3] A.sabatyan and S. Gharbi, "Generation of double line focus and 1D Non-di_ractive beams using phase shifted linear Fresnel zone plate," *Optics & Laser Tech*. **69**, 65 70 (2015).

[4] A. Sabatyan and J. Ra_ghdoost, "Focusing speci_cation of cross-like Fresnel zone plate," *OPTIK*. **126**, 47964799, (2015).

[5]ثباتیان آرش، ابراهیمی هاله ؛ «مطالعه ی خواص کانونی غربال فوتونی تصحیح »،انجمن اپتیک و فتونیک، ایران، دانشگاه یزد، ۱۳۹۴

[۶]. Qing Cao and Jurgen Jahns; *Optical Socity of America A;***Vol 20**, No 8, (2003)



این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04 ]