



## بررسی خواص کانونی تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل گلبرگی

آرش ثباتیان، مرجان گل‌بندی

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه

چکیده - در این کار عدسی پراشی بر مبنای تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل معرفی می‌شود که تیغه‌ی ناحیه‌ی گلبرگی نامیده می‌شود. این عنصر جدید قادر است که موج تخت فرودی را به انواع متنوعی از باریکه‌های نوری مثلاً حلقوی، نقطه‌ای یا گلبرگی تبدیل کند. خواص کانونی و خارج کانونی این عنصر بررسی می‌شود. به عنوان نتیجه، نشان داده می‌شود که شکل باریکه‌ی تولید شده به تعداد گلبرگ‌های این عنصر بستگی دارد. نتایج شبیه‌سازی با کارهای تجربی تایید می‌شود.

کلیدواژه- پراش فرنل، تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل گلبرگی، عدسی پراشی، تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل.

## Focusing characteristics of petal-like zone plate

Arash sabatyan, Marjan golbandi

Department of physics, Faculty of science, Urmia university, Urmia

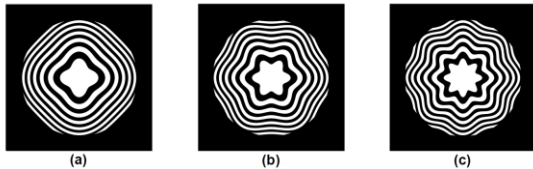
Abstract- In this work, we propose a novel diffractive lens base on Fresnel zone plate, which is called petal-like zone plate. This diffractive element can turn on incident plane wave into variety of shapes, for example annular, dot or petal beam, in general. We probe its focusing and defocusing properties. As a result, it is revealed that the shape of the generated beam depends directly on the number of the petals. All simulation results are verified by experiments.

Keywords: Fresnel diffraction, Diffractive lens, Fresnel zone plate, Petal-like zone plate.

## ۱- مقدمه

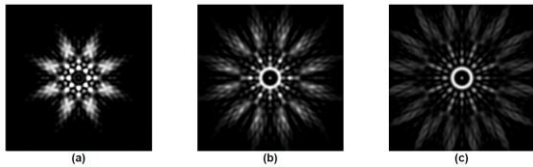
شده با تعداد گلبرگ های متفاوت را در صفحه کانون ، قبل و بعد از کانون بررسی کنیم و نتایج حاصل را با هم مقایسه کنیم.

در ابتدا تعداد گلبرگها را برابر ۴ ، ۶ و ۸ در نظر می گیریم که نمونه ای از آنها در شکل ۱ نشان داده شده اند



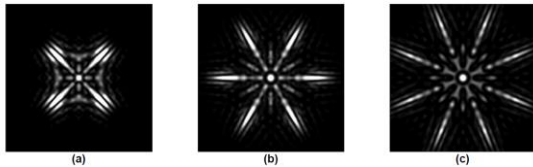
شکل ۱: نمونه ایی از عناصر طراحی شده با تعداد گلبرگ های (a) چهار (b) شش (c) هشت.

توزیع شدت کانونی این عناصر در شکل ۲ داده شده است.



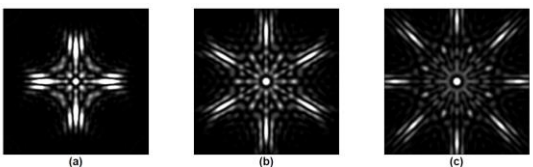
شکل ۲: توزیع شدت در فاصله کانونی برای گلبرگ های (a) چهار (b) شش (c) هشت

برای بررسی خواص خارج از کانون این عناصر توزیع شدت در فاصله ۴۷۵ mm در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: توزیع شدت در فاصله ۴۷۵ mm برای گلبرگ های (a) چهار (b) شش (c) هشت

همچنین توزیع شدت ها در فاصله ۵۲۵ mm در شکل ۴ قابل مشاهده است :



شکل ۴: توزیع شدت در فاصله ۵۲۵mm برای گلبرگ های (a) چهار (b) شش (c) هشت

سپس با افزایش تعداد گلبرگها به ۱۲ ، ۱۸ ، ۲۵ عناصر جدید طراحی شدند که نمونه ایی از آنها را در شکل ۵ نشان داده ایم :

تیغهی منطقه‌ای فرنل یک قطعه‌ی پراشی همگرا کننده با حلقه‌های روشن و تاریک متحد‌المركز است که نور را در یک نقطه کانونی می‌کند. این قطعه به دلیل دارا بودن وزن و حجم کم ، ارزان بودن و قابلیت ترکیب با سایر عناصر اپتیکی ، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. از جمله کاربردهای تیغهی فرنل ، کانونی کردن اشعه‌ی x و ماورابنفش است که این کار با استفاده از عدسی‌های شکستی به دلیل جاذب بودن آن‌ها امکان پذیر نیست [۱]. قبلا ساختارهای از تیغهی منطقه‌ای فرنل در شکل‌های مربعی ، متعامد و تک بعدی معرفی و مورد مطالعه قرار گرفته بود [۲،۳،۴]. در این مقاله نوع جدیدی از تیغه فرنل معرفی میشود که نواحی فرنل آن به شکل گلبرگ است بنابراین تیغهی فرنل گلبرگی نامیده می‌شود. در ادامه به بررسی خواص این قطعه جدید در کانون و خارج کانون با تعداد گلبرگ های متفاوت می پردازیم.

## ۲- تئوری مقاله و شبیه سازی

تیغهی فرنل را می‌توان به صورت یک تابع شبه تناوبی در نظر گرفت که تابع روزنه‌ی آن را می‌توان به صورت تابع سری فوریه نوشت: [۵]

$$f(r) = \sum_{-\infty}^{+\infty} c_n \exp[-i2\pi r^2 / r_1^2] \quad (1)$$

$C_n$  دامنه میدان پراش یافته مرتبه  $n$ ام است.. همچنین داریم:

$$r_1 = \sqrt{2\lambda f}$$

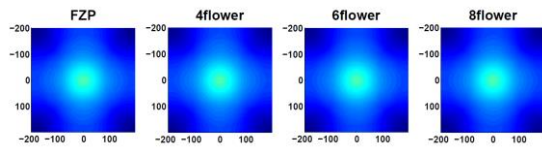
$r_1$  شعاع اولین نوار روشن است.  $\lambda$  طول موج فرودی و فاصله ی کانونی تیغهی فرنل است. برای به دست آوردن تابع عبور تیغهی جدید تابع  $\cos(a\theta)$  را به فاز تابع عبور تیغهی فرنل اضافه کرده در نتیجه تابع عبور تیغهی جدید به صورت زیر در می‌آید:

$$t = \exp[-i\pi((r - \alpha) \cos(a\theta))^2 / \lambda f] \quad (2)$$

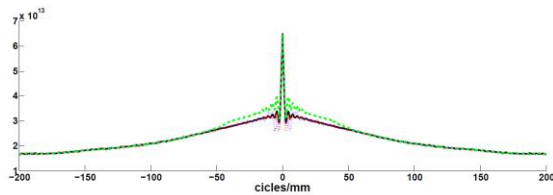
که در آن  $a$  تعداد گلبرگ ها و  $\alpha$  یک کمیت صحیح مثبت است. با داشتن مقدار فاصله کانونی و مقدار طول موج مشخص ، می‌توان عدسی مورد نظر را طراحی کرد.

لازم به ذکر است عناصر مورد نظر دارای فاصله کانونی ۵۰۰ ،  $\alpha$  را برابر ۰٫۱ و طول موج کاری ۶۳۲٫۸ nm در نظر گرفته شدند. می‌خواهیم خواص کانونی عدسی‌های طراحی

عادی در مقایسه با فرنل گلبرگی با تعداد گلبرگهای ۴،۶،۸ به ترتیب رسم شده است .

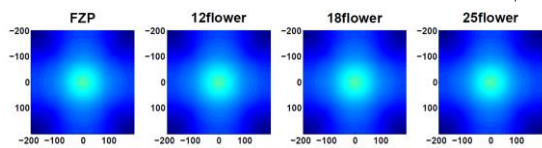


شکل ۹: توزیع شدت تابع انتقال نوری برای فرنل عادی در مقایسه با ۴، ۶ و ۸ برگ

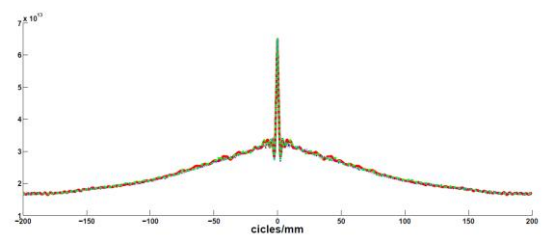


شکل ۱۰: نمودار شدت تابع انتقال نوری برای فرنل عادی در مقایسه با ۴، ۶ و ۸ برگ

نهایتاً برای تعداد گلبرگهای ۱۲، ۱۸، ۲۵ نیز تابع انتقال نوری (OTF) را در مقایسه با فرنل عادی بررسی کردیم . که در شکل ۱۱ و ۱۲ توزیع شدت و نمودار شدت OTF به ترتیب رسم شده است .



شکل ۱۱: توزیع شدت تابع انتقال نوری برای فرنل عادی در مقایسه با ۱۲، ۱۸، ۲۵ برگ

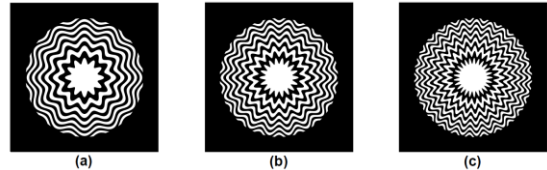


شکل ۱۲: نمودار شدت تابع انتقال نوری برای فرنل عادی در مقایسه با ۱۲، ۱۸، ۲۵ برگ

با مقایسه تابع انتقال نوری فرنل عادی و گلبرگی مشاهده می‌شود که هر چه تعداد گلبرگ بیشتر تابع انتقال نوری فرنل گلبرگی به تیغه‌ی فرنل عادی نزدیکتر می‌شود .

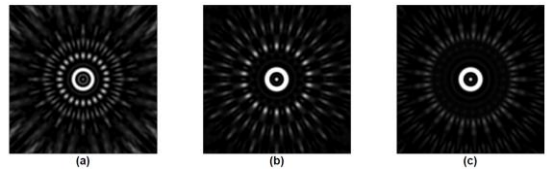
### ۳- نتایج تجربی

نمونه‌های طراحی شده در این مقاله با استفاده از فرآیند



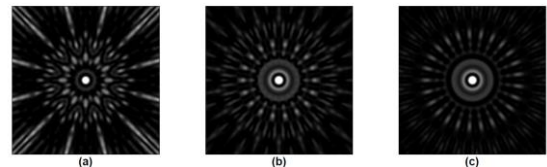
شکل ۵: عناصر طراحی شده با تعداد گلبرگ‌های (a) دوازده (b) هجده (c) بیست و پنج

و مانند قبل، توزیع شدت در نقاط کانون برای عدسی‌های با تعداد گلبرگ‌های ۱۲، ۱۸ و ۲۵ نیز بدست آمده‌اند که در شکل ۶ نشان داده شده است:



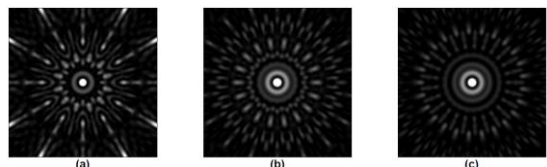
شکل ۶: توزیع شدت در فاصله‌ی کانونی برای گلبرگ‌های (a) دوازده (b) هجده (c) بیست و پنج

در ادامه شکل ۷ توزیع شدت برای گلبرگ‌های ۱۲، ۱۸ و ۲۵ در فاصله ۴۷۵ mm قبل از کانون را نشان می‌دهد:



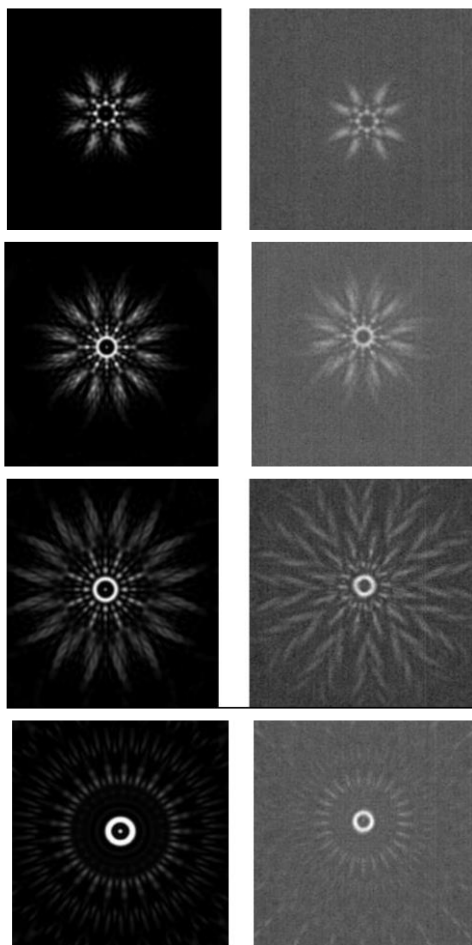
شکل ۷: توزیع شدت در فاصله f-25 برای گلبرگ‌های (a) دوازده (b) هجده (c) بیست و پنج

مرحله آخر توزیع شدت گلبرگ‌های ۱۲، ۱۸ و ۲۵ در فاصله ۵۲۵ mm بعد از کانون است که شکل ۸ آنرا نشان می‌دهد:



شکل ۸: توزیع شدت در فاصله f+25 برای گلبرگ‌های (a) دوازده (b) هجده (c) بیست و پنج

در ادامه یکی از پارامترهای مهم و موثر در کیفیت و وضوح تصویر که تابع انتقال نوری (OTF) است، را برای فرنل عادی در مقایسه با فرنل گلبرگی را بررسی میکنیم. که در شکل ۹ و ۱۰ توزیع شدت و نمودار شدت OTF برای فرنل



شکل ۱۳ : مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی شده

لیتوگرافی چاپ شده اند. سپس نمونه ها تحت تابش نور لیزر ، هلیوم نئون که در چیدمان تلسکوپی ، پهن و موازی شده است قرار میگیرد و توزیع شدت نمونه ها در فواصل کانون و قبل و بعد کانون ، توسط دوربین CCD ثبت میگردد. برای مقایسه، توزیع شدت شبیه سازی شده (ستون سمت چپ) و توزیع شدت تجربی (ستون سمت راست) برای تیغه‌ی فرنل گلبه‌گی به ترتیب از بالا به پایین ۴ ، ۶ ، ۱۸ و ۲۵ در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله نشان دادیم که می توان توسط تیغه‌ی فرنل گلبه‌گی در فاصله کانون و قبل و بعد کانون شدت های متفاوتی ایجاد کرد . بعلاوه تاثیر تعداد گلبه‌گها در شکل دهی به پرتوهای خروجی مورد مطالعه قرار گرفت . همچنین میتوان گفت در فواصل متقارن پیش و پس از کانون ( $f-25$  و  $f+25$ ) توزیع های شدتی متفاوت با آنچه که در کانون ایجاد می شود تولید شد که نشان می دهد هیچ تقارنی برای توزیع شدت وجود ندارد. نتایج شبیه سازی توسط آزمایش تجربی نیز تایید شدند.

#### مراجع

- [1] M. Mihailescu<sup>a</sup>, A. Preda<sup>a</sup>, D. Cojoc<sup>b</sup>, E. Scarlat<sup>a</sup>, L. Preda<sup>a</sup> "Diffraction patterns from a phyllotaxis-type arrangement" Opt. & Laser Eng. **46**, 802-809, (2008).
- [2] Arash Sabatyan, and Hiwa Besharatfar "Focusing behavior of azimuthally structured square zone plate", Opt. Quant. Elect. **48**, 383, (2016).
- [3] Arash Sabatyan, and Jila Rafighdoost "Focusing specification of cross-like Fresnel zone plate", OPTIK, **126**, 4796-4799, (2015).
- [4] Arash Sabatyan and Shima Gharbi "Generation of double line focus and 1D non-diffractive beams using phase shifted linear Fresnel zone plate", Opt. Laser Tech., **69**, 65-70, (2016).
- [5] Arash Sabatyan, Seyyed Mojtaba Taheri Balanoji, and Seyyed Mortaza Taheri Balanoji "Square array optical vortices generated by multi-regioned spiral square zone plate ", JOSAA **33**, 1793-1797, (2016).

مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی شده :