بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

مطالعه‌ی ترکیبی جدید از تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل

آرش ثباتیان، سیده ژوان حسینی

دانشگاه ارومیه -دانشکده فیزیک ، دانشگاه ارومیه- داشکده فیزیک

چکیده – ترکیبی از تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل همگرا و واگرا مورد بررسی قرار گرفته است. نشان داده می شودکه ترکیب آنها باعث تغییر در عملکرد پراشی این عنصر جدید می شود. از طرف دیگر افزایش عمق کانون این عنصر پراشی جدید از مزایای دیگر آن است. توزیع شدت عرضی و طولی این عنصر پراشی هم بصورت تئوری هم بصورت تجربی بررسی شده است. تاثیر فواصل کانونی و شعاع‌های مختلف بر توزیع های شدت عرضی و طولی نیز مورد بررسی قرار گرفته است.کارهای تجربی، نتایج شبیه سازی را کاملا تایید می‌کند.

کلید واژه- پراش، عدسی پراشی، تیغه ی منطقه ای فرنل.

Studying of a novel combination of Fresnel zone plate

Sabatyan, Arash; Hoseini, S.Zhovan

Department of physics, University of Urmia, Department of physics, University of Urmia

Abstract- Combination of convergence and divergence Fresnel zone plate is studied. It is shown that their combination is a new diffractive element with a novel diffractive properties. Transverse and longitudinal intensity distribution was studied theoretically and experimentally. The effect of the focal length and radius on the intensity distribution was investigated. Experimental works completely verify simulation results.

Key world: Diffraction,diffractive lens, Fresnel zone plate

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

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

۱- مقدمه

تیغه منطقه‌ای فرنل، در سال ۱۸۲۲ توسط فرنل طراحی گردید.عنصر پراشی همگرا کننده است.تیغه منطقه‌ای فرنل از دایره‌های هم مرکز روشن و تاریک متوالی با پهناهای متفاوت ساخته می‌شود[2]. عمده‌ترین استفاده از آن به عنوان عدسی پراشی است که در صنعت و علوم و پزشکی کاربرد های فراوانی دارد. به عنوان عدسی در مقایسه با عدسی های مرسوم شکستی دارای معایبی است.از جمله قدرت تفکیک پایین و عمق کانونی کم برای بهبود خواص کانونی این عنصر روشهای مختلفی پیشنهاد شده است[3]. در این مقاله نیز سعی بر این است تا با ترکیبی منحصر بفرد از دو قطعه پراشی همگرا و واگرا کننده قطعه جدیدی ایجاد شود که خاصیت پراشی آن یهینه شده باشد. نشان داده می‌شود که این عدسی پراشی دارای عمق کانونی بالایی با قابلیت کنترل شوندگی است.

۲- تئوری

تیغه منطقه ای فرنل عنصر تناوبی با دوره‌ی تناوب مربعی است توزیع فازی آن در تقریب پیرامحوری به صورت زیر است

$$\exp\left[-2\pi i\left(r'^2/2\lambda f\right)\right] \qquad (1)$$

که همان توزیع فازی عدسی شکستی همگرا است. با داشتن پارامترها، شعاع قطعه(R) فاصله کانونی (f) و طول موج (λ) نور فرودی به طراحی عددی تیغه منطقه‌ای فرنل دست خواهیم یافت. پهناو شعاع حلقه‌ها با روابط زیر تعریف می‌شوند. (شکل a ۱)

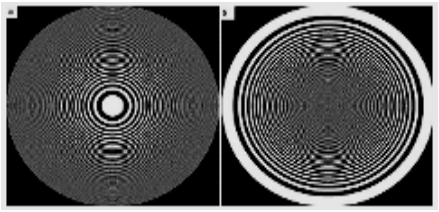
$$r_n=\sqrt{n\lambda} \quad \text{و} \quad W_n=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{\lambda f}{n}}=\frac{r_1}{2\sqrt{n}} \qquad (۲)$$

در این روابط n شماره مناطقه فرنل است. پرواضح است که شعاع حلقه ها با افزایش n کم می‌شود. براساس توزیع فازی رابطه ۱ می‌توان توزیع شدت را به کمک انتگرال پراش فرنل-کیرشهف در چیدمان تصویر گیری همدوس محاسبه کرد [3].

$$I(r,x)=\left(\frac{2\pi r}{\lambda z}\right)^2\left|\int_0^1 \exp\{2\pi i(r'^2/2\lambda z-r'^2/2\lambda f)\}\times J_0(2\pi r r'/\lambda z)\,r'dr'\right|^2$$

قطعه دیگری که بکار گرفته شده است. در سال ۱۳۹۱ شمسی قطعه پراشی واگرا کننده (IFZP) معرفی شد. که بر خلاف قطعه همگرا کننده روند پهنای نواحی تاریک و روشن آن معکوس است[1].(شکل b۱)

$$W_n=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{\lambda f}{(N-n'+1)}} \qquad (3)$$

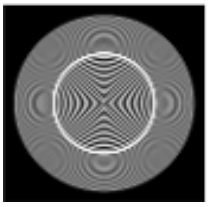


شکل ۱: a) تیغه منطقه فرنل b)تیغه منطقه فرنل معکوس

بدین ترتیب تغییرات پهنای حلقه‌ها با افزایش شعاع، روندی افزایشی خواهد داشت بنابراین شعاع حلقه ها به صورت زیر خواهد بود.

$$r'_{n'}=\sum_{i=1}^{n'} w'_i=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{\lambda f}{(N+1)}}\sum_{i=1}^{n'}\left(1-\frac{i}{N+1}\right)^{\frac{-1}{2}} \qquad (9)$$

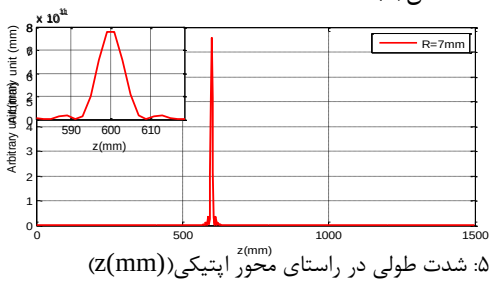
حال با ادغام این دو قطعه همگرا و واگرا کننده قطعه‌ی پراشی جدیدی بوجود می‌آید (شکل۲). نام اختصاری CFZP را برای آن در این مقاله بکار برده شده است.



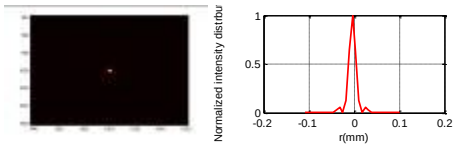
شکل ۲: تیغه منطقه فرنل ترکیبی (CFZP)

۳- شبیه سازی

ابتدا با مدل سازی ریاضی نمونه‌های مورد نظر طراحی شدند تا توزیع های شدت طولی و عرضی مورد مطالعه قرار گیرند. پروفایل شدت طولی در راستای محور اپتیکی امکان بررسی عمق کانونی را داده است. شکل(۵) پروفایل شدت عرضی امکان مقایسه داده های تجربی و عملی را نیز به ما می‌دهد. شکل(۶)



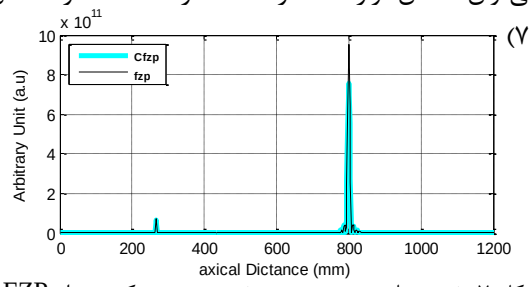
شکل ۵: شدت طولی در راستای محور اپتیکی(z(mm))



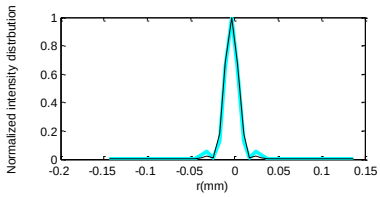
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04]

شکل۶: پروفایل عرضی در یک نقطه از عمق کانونی

با مقیاس کردن پروفایل بدست آمده برای CFZP و FZP می‌توان کاهش تراز شدت را تا ۲۳٪ را مشاهده کرد. شکل (۷)

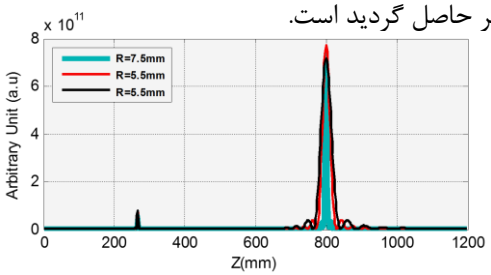


شکل ۷: شبیه سازی عددی توزیع شدت محوری که نمودار FZP با رنگ قرمز و CFZP با رنگ آبی مشخص شده که شعاع کل نمونه R=7mm

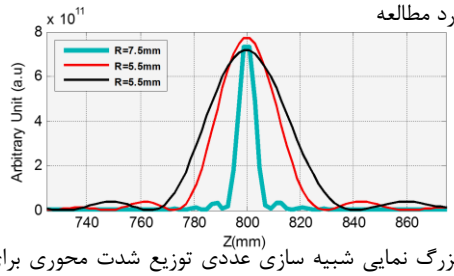


شکل ۸: شبیه سازی عددی توزیع شدت عرضی که نمودار FZP با رنگ سیاه و CFZP با رنگ‌آبی مشخص شده با شعاع کل R=7mm

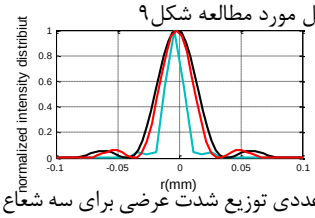
در مطالعات روی CFZP با گام 0.5mm روی شعاع از 3.5mm تا ۷,۵ mm، و به ترتیب عمق کانون60تا 4 میلیمتر حاصل گردید است.



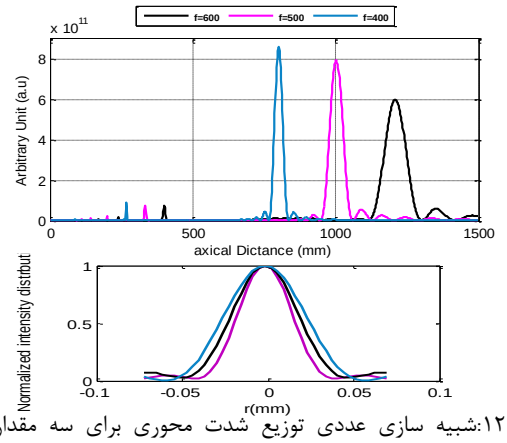
شکل۹: شبیه سازی عددی توزیع شدت محوری برای سه شعاع مختلف نمونه‌ی مورد مطالعه



شکل۱۰: بزرگ نمایی شبیه سازی عددی توزیع شدت محوری برای سه شعاع مختلف سمپل مورد مطالعه شکل۹

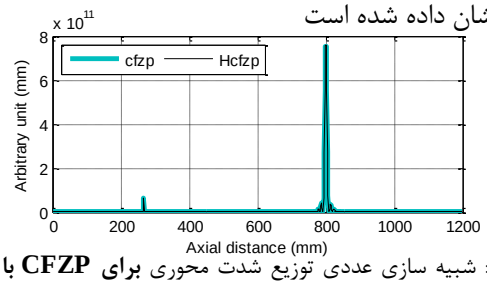


شکل۱۱: شبیه سازی عددی توزیع شدت عرضی برای سه شعاع مختلف مورد مطالعه‌ی شکل۹

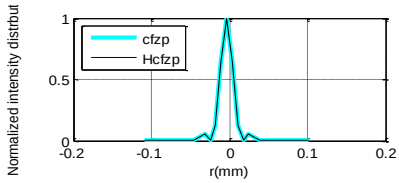


شکل۱۲:شبیه سازی عددی توزیع شدت محوری برای سه مقدار مختلف پارامتر f مورد مطالعه

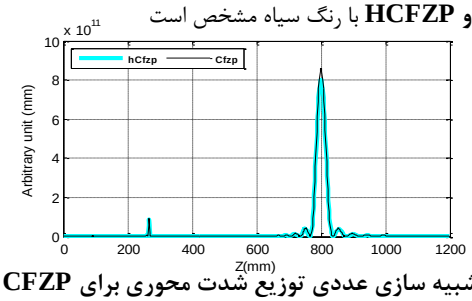
همچنین مطالعاتی بر روی یافتن رابطه منطقی در ما بین نواحی عدسی جدید صورت گرفت. نتیجه آن ایجاد عدسی زوج برای CFZP بوده که نام اختصاری HCFZP بر آن نهاده شده است در در نمونه‌های با ابعاد کمتر از R=5mm بازه شدت کاسته شده. نتایج شبیه سازی در شکل (۱۳ و ۱۵) نشان داده شده است



شکل۱۳: شبیه سازی عددی توزیع شدت محوری **برای CFZP با رنگ آبی و HCFZP** با رنگ سیاه مشخص است

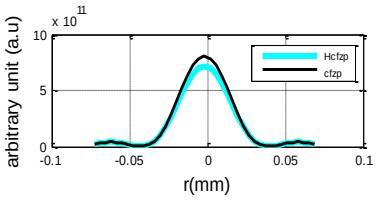


شکل۱۴: شبیه سازی عددی توزیع شدت عرضی **برای CFZP با رنگ آبی و HCFZP** با رنگ سیاه مشخص است



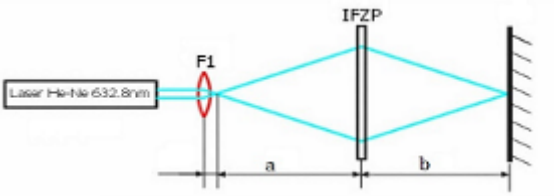
شکل۱۵: **شبیه سازی عددی توزیع شدت محوری برای CFZP با رنگ سیاه و HCFZP با رنگ آبی نمونه‌ی با شعاع R=3.5**

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

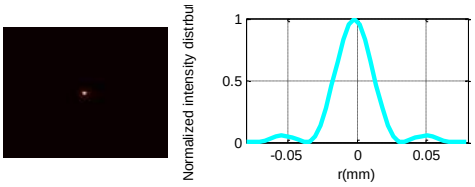


شکل۱۶: شبیه سازی عددی توزیع شدت عرضی برای CFZP با رنگ سیاه و HCFZP با رنگ آبی نمونه‌ی با شعاع R=3.5

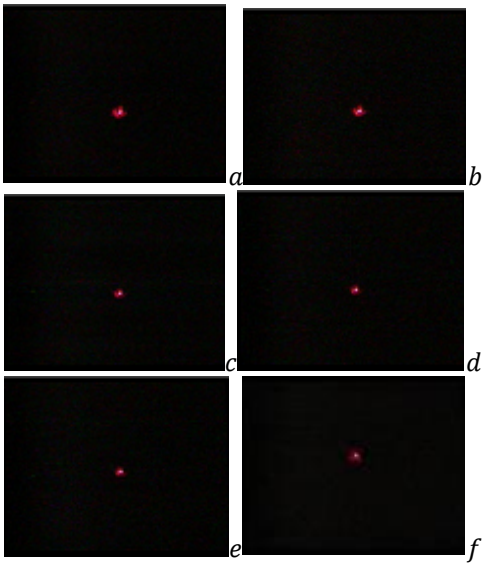
در آزمایشگاه توسط لیزرهلیوم_نئون با چیدمانی تصویرگیری همدوس که در شکل۱۵ نشان داد شده است. جبهه موج تخت ایجاد کرده و در آن سمپل های طراحی شده قرار گرفته و تصویر برداری صورت گرفته است که نتایج ان در شکل ۱۷ قابل مشاهده است.



شکل۱۷: طرح شماتیک چیدمان آزمایشگاهی

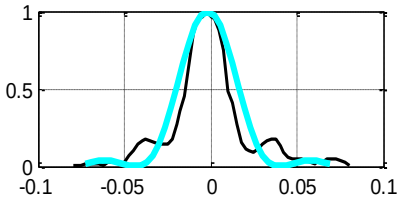


شکل۱۸: شبیه سازی عددی توزیع شدت عرضی برای نمونه R=3.5



شکل۱۹: تصاویر گرفته شده با CCD برای نمونه‌ی R=3.5mm با فاصله 3mm از یک دیگر گرفته شده اند

تصاویر بدست آمده را با نرم افزار ایمیج جی انالیز کرده و نمودار بدست آمده را با نمودار کسب شده از شبیه سازی در برنامه متلب مورد مقایسه قرار می‌دهیم.(شکل ۲۰)



شکل۲۰: شبیه سازی عددی توزیع شدت عرضی برای نمونه R=3.5 با رنگ آبی مشخص شده است و نتیجه تجربی همین نمونه با رنگ سیاه

تطبیق خوبی بین دو نمودار مشاهده می‌شود تنها مشکل وجود خطا دارکارنت است که به دلیل زمان طولانی تصویر برداری ایجاد میگردد.

۳- نتیجه‌گیری

برای نمونه‌های با شعاع بیشتر از R=5mm با افزایش شعاع بازه شدت و عمق کانونی کاسته شده است و در نمونه‌های با ابعاد کمتر از R=5mm بازه شدت کاسته شده ولی عمق کانونی بسرعت در حال افزایش است. رابطه منطقی بین ناحیه تحت پوشش تیغه فرنل و تیغه معکوس فرنل است که این امکان را می‌دهد که عدسی با عمق کانونی دلخواه طراحی گردد حتی با کم کردن چند حلقه از مرکز این نمونه‌ها باز با رعایت رابطه بدست آمده مدتوان عدسی ترکیبی را طراحی کرد. با مقایسه نتایج شبیه سازی و تجربی تطابق نسبتا خوبی در نمایه‌های محور عرضی و طولی قابل مشاهده است، که فرضیات اولیه ما در شبیه سازی و محاسبات را تصدیق می‌کند.

مراجع

[۱] ثباتیان آرش، حسینی سید اکبر،" *ارائه قطعه اپتیکی همگرا کننده موج کروی*،" کنفرانس اپتیک و فوتونیک، ایران، زاهدان ۱۳۹۱.

[2] M. Born, E. Wolf, *Principles of optics*, (pergamon, Oxford 1975)

[3] J. Jia, C. Xie, M. Liu and L.Wan,"*A super-resolution Fresnel zone plate and photon sieve*, "Opt and laser Eng. **48**,460-756, (2010)

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