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

طراحی و تولید عدسی‌های چند سطحی فرنل با استفاده از مدولاتور فضایی دامنه‌ای نور

مریم محققیان[۱]، سعید قوامی صبوری[۲]

[۱] گروه فیزیک، دانشگاه اصفهان، اصفهان، *m.mohagheghian@sci.ui.ac.ir*

[۲] گروه فیزیک، دانشگاه اصفهان، اصفهان، *ghavami@sci.ui.ac.ir*

چکیده - عد سی فرنل به عنوان یک المان اپتیکی پرا شی در کاربردهای متفاوتی ا ستفاده می شود. بزرگترین ا شکال عد سی‌های فرنل، بازده پراش کم آن‌ها ا ست که برای حل آن، تولید عد سی‌های فرنل چند سطحی انجام می‌گیرد. در این پژوهش، با ا ستفاده از نرم افزار متلب، عدسی‌های فرنل چند سطحی طراحی و سپس بر روی یک مدولاتور فضایی دامنه‌ای نور نمایش داده شده اند. سپس توزیع شدت پرتوی کانونی شده توسط این عنصر پراشی ثبت گردیده و عوامل موثر بر المان پراشی مورد بررسی قرار گرفته است.

کلید واژه- المان اپتیکی پراشی، عدسی فرنل، لیزر، مدولاتور فضایی دامنه‌ای نور .

Design and fabrication of the multilevel Fresnel lenses based on amplitude spatial light modulator

Maryam Mohagheghian[1], Saeed Ghavami Sabouri[2]

[1] Department of Physics, University of Isfahan, Isfahan, m.mohagheghian@sci.ui.ac.ir

[2] Department of Physics, University of Isfahan, Isfahan, ghavami@sci.ui.ac.ir

Abstract- The Fresnel Zone Plate (FZP) as a diffraction optical element (DOE) is widely used in a variety of applications. The biggest problem of them is low efficiency that can be solved by fabrication a multi-level FZP. In this paper, a MLFZP is designed **in the** MATLAB environment and displayed on an amplitude spatial light modulator (SLM). Then, the intensity distribution of the focused beam is recorded and the effect of the DOE parameters are investigated.

Keywords: amplitude spatial light modulator, Diffractive optical elements, Fresnel lenses, Laser.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-10]

مقدمه

اولین المان‌های پراشی، از تغییر و اصلاح المان‌های شکست اپتیکی و با دقتی از مرتبه طول موج ساخته شدند. برای مثال عدسی‌های فرنل که معمولا به جای عدسی‌های کروی حجیم استفاده می‌شوند، به عنوان یک المان پراشی به حساب می‌آیند. استفاده از این عدسی‌ها در مقایسه با همتای شکستی آن‌ها، علاوه بر دقت بالاتر، کوچکی ابعاد و حجم کمتر، امکان کنترل بیشتر جبهه موج را فراهم می‌سازد [۱]. عدسی‌های فرنل یا منطقه‌های فرنل وظیفه‌ی کانونی کردن دسته‌ای از پرتوها را دارند. این المان در سامانه‌های اپتیکی متفاوتی مانند میکروسکوپ‌های اشعه ایکس، آنتن‌های میکروموج، شکل‌دهی پالس، تلسکوپ‌های فضایی[۲] و همچنین اندازه‌گیری طول موج لیزر استفاده می‌شود [۳]. بزرگترین اشکال عدسی‌های فرنل، بازده پراش کم آن‌ها است که برای حل آن، طراحی و تولید عدسی‌های فرنل چند سطحی به منظور افزایش بازده پراش انجام می‌گیرد و بنابراین افزایش تعداد سطوح هر منطقه، به افزایش بازده می‌انجامد. برعکس عدسی فرنل معمولی که تنها از دو بخش سیاه و سفید تشکیل شده است، عدسی‌های چند سطحی نسبت به تعداد سطوحی که دارند، علاوه براین دو بخش، شامل بخش‌های خاکستری رنگ هم می‌شوند (شکل۱). تولید این المان پراشی می‌تواند به صورت ثابت یا فعال باشد. عدسی فرنل ثابت از ترکیب مواد مختلف و با استفاده از روشی مانند لیتوگرافی، تولید می‌شود [۴]. از مدولاتورهای فضایی دامنه‌ای نور می‌توان برای ساخت عدسی فرنل فعال استفاده نمود. در المان‌های فعال، امکان تغییر پارامترهای المان پراشی برای ساخت الگوی دلخواه و در نتیجه بررسی سریع نتایج حاصل از آن وجود دارد. مدولاتورهای فضایی نور جزء وسایل اپتوالکترونیک هستند و وظیفه‌ی مدوله کردن فاز [۵] یا دامنه [۶] پرتو لیزر یا هر دو را با هم دارند. این وسیله در زمینه‌های اپتیکی متفاوتی مانند شکل دهی پالس فوق سریع، طرح‌های هولوگرافی، اندازه‌گیری اپتیکی، حسگرها و شکل‌دهی فضایی پرتو لیزر کاربرد دارد [۷]. در این پژوهش سعی شده تا عدسی‌های فرنل با سطوح متفاوت طراحی و به صورت عملی توسط مدولاتور فضایی دامنه‌ای تولید شود و همچنین پارامترهای موثر بر کانونی سازی بررسی گردد.

شرح نظری

به طور کلی یک عدسی فرنل با سطوح متفاوت از یک سری حلقه‌های هم مرکز سیاه و سفید و خاکستری متوالی تشکیل شده است که با توجه به فاصله کانونی مدنظر، شعاع هر منطقه با رابطه زیر بدست می آید [۱]:

$$R(\mathrm{n}) = \sqrt{\frac{n^2\lambda^2}{4} + nf\,\lambda} \qquad (۱)$$

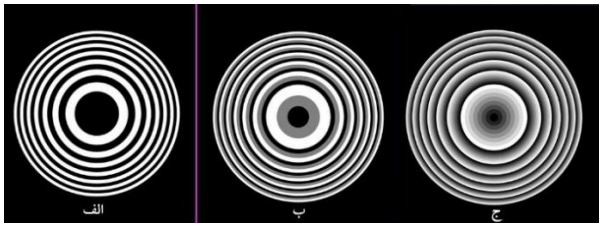
که در آن، $R(n)$ شعاع حلقه n ام، f فاصله کانونی، n شماره حلقه و λ طول موج نور فرودی است. بنابراین با تابش نور به عدسی فرنل، پرتوها در فاصله‌ی f از عدسی با توجه به طول موج λ ، کانونی خواهند شد.

طراحی و تولید عدسی فرنل

با استفاده از رابطه ۱ در نرم افزار متلب، عدسی‌های فرنل در سطوح متفاوت طراحی شده‌اند که در شکل ۱ آمده است. در شکل ۱ عدسی فرنل دو سطحی یا باینری (الف) دارای ۱۵ منطقه و عدسی‌های فرنل سه و هشت سطحی (ب و ج) هرکدام دارای تعداد ۷ منطقه هستند و هر سه برای فاصله‌ی کانونی ۴۰ سانتی‌متر و طول موج ۵۳۲ نانومتر، طراحی شده‌اند. عدسی فرنل (الف) تنها از نواحی سیاه و سفید تشکیل شده است که بیانگر تعداد سطح دو است. در حالی‌که مناطق فرنل در دو عدسی دیگر، علاوه بر نواحی سفید و سیاه، نواحی خاکستری رنگ هم دارند که تعداد رنگ‌ها همان تعداد سطوح در عدسی یا مقادیر متفاوت فاز است.

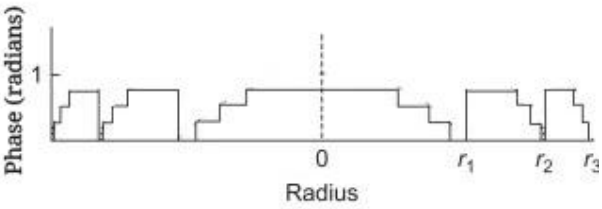
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-10]



شکل ۱-عدسی فرنل الف: ۲ سطحی، ب: ۳ سطحی، ج: ۸ سطحی

همچنین هر سطح در عدسی معادل با یک عدد فاز بر حسب رادیان در نظر گرفته می‌شود. شکل ۲ پروفایل فازی عدسی ۳ سطحی را برحسب شعاع نشان می‌دهد.



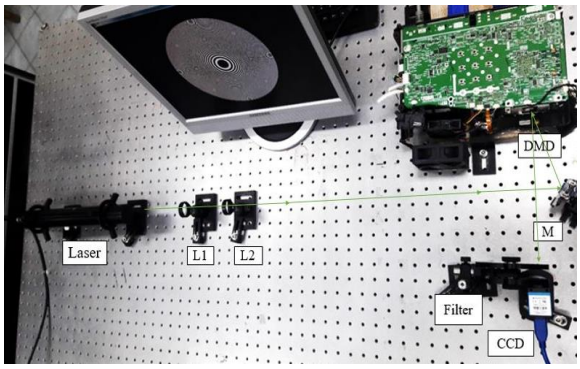
شکل ۲- پروفایل فازی عدسی فرنل ۳ سطحی

همانطور که در شکل مشخص است، تا شعاع r_1 یعنی منطقه‌ی اول فرنل، سه مقدار متفاوت برای فاز داریم که معادل با سه سطح در عدسی است.

در این مرحله برای تولید المان عدسی، الگوهای طراحی شده با قدرت تفکیک ۱۰۰۰×۱۰۰۰ نزدیک به قدرت تفکیک مدولاتور در رایانه نمایش داده می‌شود تا توسط مدولاتور دامنه‌ای که دارای یک ریز آینه‌ی دیجیتال است، اجرا شود. ریز آینه دیجیتال یه قطعه الکترواپتیکی است که با توجه به حد تفکیک مدولاتور، از تعداد زیادی پیکسل تشکیل شده است که توسط یک بخش الکترومکانیکی قابلیت چرخش دارند. پیکسل‌های ریز آینه برای نمایش این الگو، در حالت خاموش برای قسمت‌های سیاه، و در حالت روشن برای قسمت‌های سفید تصویر، قرار می‌گیرند و برای بخش خاکستری رنگ، فرکانس چرخش ریزآینه‌ها به صورتی است که بتواند میزان شدت پرتو متناسب با آن را در صفحه پراش بازتاب کند. به این صورت می‌توان برای عدسی‌های فرنل با سطوح متفاوت، المان اپتیکی را با استفاده از مدولاتور دامنه‌ای تولید نمود.

چیدمان آزمایشگاهی

پس از طراحی و تولید عدسی، طرح پراش حاصل از هر عدسی را در صفحه‌ی مشاهده با توجه به چیدمان آزمایشگاه که در شکل ۳ آمده است، بررسی می‌کنیم. در سمت چپ شکل، لیزر سبز هامونیک دوم Nd:YAG با طول موج ۵۳۲ نانومتر، از دو عدسی L1 و L2 با فاصله کانونی ۳۰ میلی متر، عبور می‌کند. دو عدسی از یکدیگر ۱۰ سانتی متر فاصله دارند و نسبت به بقیه‌ی وسایل در مکانی قرار گرفته‌اند تا به خوبی پرتو لیزر واگرا شود و کل سطح ریز آینه را در بر گیرد. پس از آن پرتو لیزر به آینه‌ی M تابیده می‌شود و پس از بازتاب به ریز آینه DMD مدولاتور Sharp 32S با قدرت تفکیک ۸۰۰×۶۰۰ می‌رسد. همزمان، المان عدسی فرنل که برای همین طول موج لیزر و فاصله کانونی ۴۰ سانتی مترطراحی شده است، در مدولاتور تولید می‌شود. پرتو لیزر پس از تابش به عدسی فرنل پراشیده و در صفحه‌ی مشاهده کانونی می شود. برای ثبت تصویر حاصل از پراش، دوربین CCD با مدل DMK 23U274 را در فاصله‌ی کانونی قرار می‌دهیم. از یک فیلتر به منظور کاهش شدت نور لیزر، قبل از دوربین استفاده می‌شود. چراکه نور زیاد لیزر باعث اشباع شدن پیکسل‌های دوربین می‌شود و بنابراین نمی‌توان طرح حاصل از پراش را به خوبی مشاهده نمود.



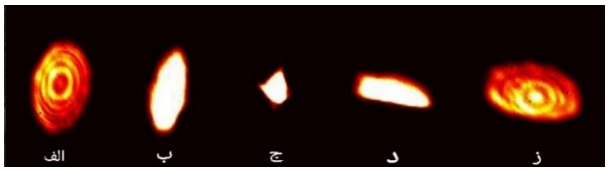
شکل ۳- چیدمان آزمایشگاهی طراحی و تولید المان عدسی فرنل و تصویربرداری طرح پراش حاصل از آن.

دوربین در فاصله‌های متفاوت از ریز آینه قرار داده شده و طرح پراش حاصل برای هر الگوی عدسی (شکل ۱) در محل کانون و قبل و بعد از آن ثبت می‌شود تا رفتار پرتوی نور در تابش به این سه عدسی فرنل، بررسی و کانونی شدن نور

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

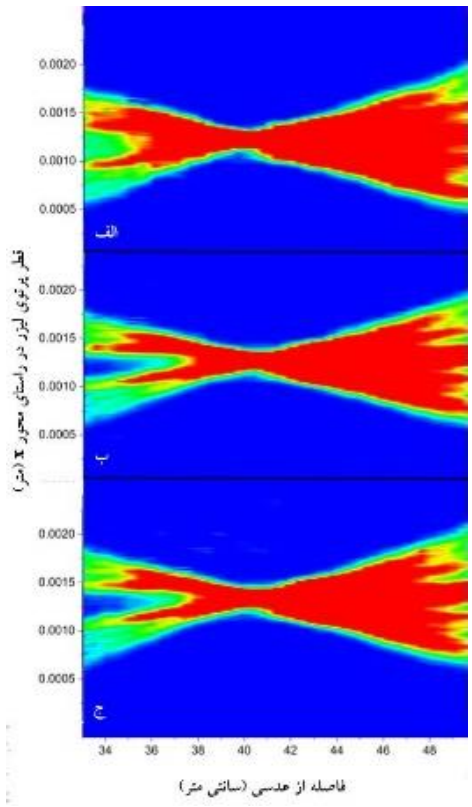
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-10]

توسط آن‌ها ثبت گردد. برخی از این تصاویر برای عدسی دو سطحی در شکل ۴ آمده است.



شکل ۴-طرح پراش ثبت شده در فاصله‌ی الف: ۳۱,۵، ب: ۳۶,۵، ج: ۴۰ (کانون)، د: ۴۳,۵، هـ: ۴۸,۵ سانتی متری از المان عدسی فرنل.

این بار برای هر سه عدسی طرح پراش در فاصله‌های تقریبا ۱۰ سانتی متری قبل و بعد از کانون عدسی و با گام ۰.۵ سانتی‌متر، ذخیره می‌شود. سپس تصویر تغییرات رفتار پرتو در بازه‌ی مورد نظر، تنها در جهت x یا y ، نمایش داده می‌شود. این نمایش برای سه عدسی فرنل در شکل ۵ آمده است.



شکل ۵-تغییرات پرتوی لیزر پس از تابش به عدسی فرنل الف: دو سطحی، ب: سه سطحی، ج: هشت سطحی.

با توجه به شکل ۵، پرتوی لیزر پس از تابش به هریک از سه عدسی فرنل طراحی شده، کانونی می‌شود و قبل و بعد از محل کانون، واگرایی پرتو به خوبی قابل مشاهده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش ابتدا به مقدمه‌ای در مورد عدسی‌های فرنل و همچنین مبانی نظری این المان پرداخته شد. سپس با استفاده از نرم افزار متلب سه المان عدسی فرنل با سطوح مختلف طراحی و توسط مدولاتور فضایی دامنه‌ای نور تولید شد. عدسی‌های چند سطحی به منظور افزایش بازده پراش تولید می‌شوند که البته در این پژوهش به دلیل استفاده از نوع دامنه‌ای مدولاتور و بالا نبودن حد تفکیک، دستیابی به بازده بالاتر نسبت به عدسی‌های معمولی امکان پذیر نبوده و تنها کانونی شدن دسته‌ای از پرتوها توسط این المان و همچنین پارامترهای موثر بر کانونی سازی بررسی شد.

مرجع‌ها

[1] 1. A.Vijayakumar, and S. Bhattacharya, *Design and Fabrication of Diffractive Optical Elements with MATLAB* (2017).

[2] 2. Z. Zhang, C. GUO, "Hybrid-level Fresnel zone plate for diffraction efficiency enhancement," OPTICS EXPRESS **25**, 33676-33687 (2017).

[3] 3. M. Mohagheghian, and S. Ghavami Sabouri, "Laser wavelength measurement based on a digital micromirror device," IEEE photonics technology letters **30**, 1186-1189 (2018).

[4] 4. W. Watanabe, D. Kuroda, K. Itoh, and J. Nishii, "Fabrication of Fresnel zone plate embedded in silica glass by femtosecond laser pulses," Optics Express **10**, 978-978 (2002).

[5] 5. Z. Cao, L. Xuan, L. Hu, Y. Liu, Q. Mu, and D. Li1, "Investigation of optical testing with a phase-only liquid crystal spatial light modulator," Optical Society of America **13**, 1059-1065 (2005).

[6] 6. N. a. F. Zambale, G. J. H. Doblado, and N. Hermosa, "OAM beams from incomplete computer generated holograms projected onto a DMD" Journal of the Optical Society of America B **34**, 1905-1911 (2017)

[7] 7. R. Shi, J. Liu, J. Xu, D. Liu, Y. Pan, J. Xie, and Y. Wang, "Designing and fabricating diffractive optical elements with a complex profile by interference," Optics Letters **36**, 4053-4055 (2011).

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-10]