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

طراحی قطعه اپتیک پراشی با قابلیت تشکیل الگوی پراش برای دو طول موج

مجتبی رحیمی*، سهراب منوچهری، ابوالحسن مبشری و محمد عبودیت

دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی علوم کاربردی، دانشکده فیزیک و مهندسی الکترواپتیک

چکیده – یکی از کاربردهای گسترده‌ی قطعه‌های اپتیک پراشی استفاده از این قطعه‌ها به عنوان قطعه الگوساز است. در این مقاله فرآیند طراحی قطعه الگوسازی ارائه می‌شود که هنگام فرود دو طول موج مجزا بر آن قادر به تولید دو الگوی پراش متفاوت در میدان دور است. دستیابی به این هدف با استفاده از قطعه‌های پراشی کار ساده‌ای نیست، زیرا این قطعه‌ها اساساً برای یک طول موج خاص طراحی می‌شوند و عملکرد آن‌ها وابسته به طول موج مورد استفاده است. فرآیند طراحی قطعه مورد نظر با استفاده از ویژگی تناوبی بودن فاز جبهه موج، توسط الگوریتم تکرار شونده صورت می‌گیرد.

کلید واژه- الگوریتم تکرار شونده، الگوی پراش، قطعه اپتیک پراشی

Design of a diffractive optical element with ability of producing two color diffraction patterns

Mojtaba Rahimi*, Sohrab Manouchehri, Abolhasan Mobasheri, and Muhammad Oboudiat

Faculty of Physics and Electroptics Engineering, Science Department, Maleke-ashtar University of Technology

Abstract- One of applications for diffractive optical elements (DOEs) is pattern formation. In this paper we present an approach to design elements that can produce distinct intensity patterns for two wavelengths in the far field region. To achieve this with DOEs is not simple, as they are inherently wavelength specific. The technique that used to design the element is based on the periodicity of the phase and iterative algorithm.

Keywords: Iterative Algorithm, Diffraction Pattern, Diffractive Optical Element

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-03]

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

۱- مقدمه

قطعه‌های اپتیک پراشی را می‌توان نوعی مبدل جبهه موج در نظر گرفت که با اعمال تغییراتی در دامنه یا فاز جبهه موج فرودی، جبهه موج خروجی را تولید می‌کنند. از جمله کاربردهای گسترده‌ی قطعه‌های اپتیک پراشی استفاده از این قطعه‌ها به عنوان قطعه الگوساز است. این الگوهای تولید شده چنانچه بیش از یک رنگ داشته باشند، کاربرد بیشتری خواهند داشت. وابستگی عملکرد این قطعه‌ها به طول موج مورد استفاده باعث دشواری فرآیند طراحی قطعه‌ای با قابلیت کار در چند طول موج می‌شود[۱].

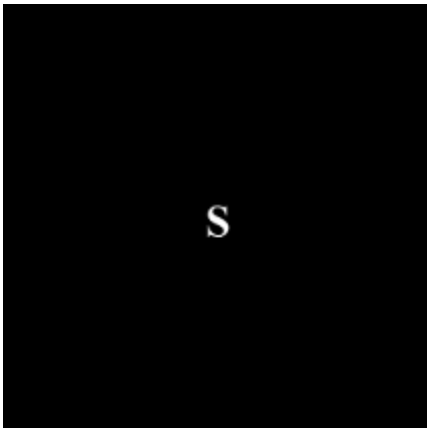
در این مقاله فرآیند طراحی قطعه پراشی با قابلیت تشکیل دو الگوی پراش مجزا برای دو طول موج فرودی بر آن در میدان دور معرفی می‌شود. اساس طراحی قطعه با ویژگی کار در دو طول موج، بر این اصل استوار است که افزودن مضارب صحیح 2π به مقادیر فاز قطعه، تأثیری بر عملکرد آن نخواهد داشت[۲]. با استفاده از این مقادیر فاز جدید، می‌توان قطعه‌ای طراحی نمود که در هر دو طول موج عملکرد مطلوب را داشته باشد.

۲- فرآیند کلی طراحی

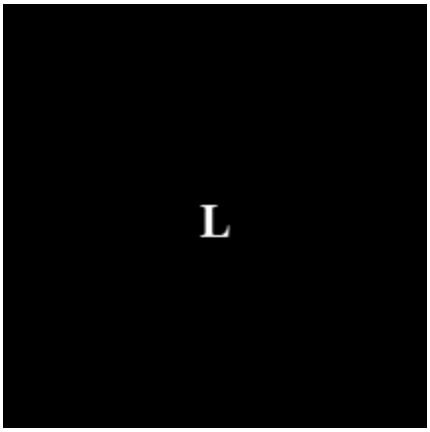
فرآیند طراحی شامل دو مرحله‌ی اصلی است. در مرحله اول با انتخاب دو طرح پراش دلخواه، با استفاده از یک الگوریتم تکرار شونده، نقشه فاز قطعه برای طول موج مورد نظر حاصل می‌شود. مرحله دوم شامل یافتن قطعه مشترکی است که برای هر طول موج فرودی طرح پراش متناظر با آن را در فاصله‌ی مورد نظر ایجاد کند.

۲-۱- گام اول

نخستین مرحله، یافتن نقشه‌ی فاز متناظر با الگوی از پیش تعیین شده به صورت مجزا برای هر طول موج است. این نقشه‌ی فاز باید قادر باشد هنگام فرود یک موج تخت تکفام با طول موج از پیش تعیین شده به آن الگوی پراش دلخواه را تولید نماید. فاصله‌ای که برای ایجاد این طرح در نظر گرفته شده است، فاصله‌ی ۵۰ سانتی‌متر است. به این منظور دو الگویی که در شکل‌های ۱ و ۲ نمایش داده شده‌اند به ترتیب، متناظر با طول موج‌های ۴۰۰ و ۶۰۰ نانومتر استفاده می‌شوند. این الگوها دو حرف انگلیسی انتخاب شده‌اند. ابعاد قطعه پراشی برابر ۲×۲ میلی‌متر مربع و با تقسیم‌بندی ۵۰۰ قسمتی در هر دو راستا، ابعاد پیکسل المان برابر ۴×۴ میکرومتر مربع خواهد بود.



شکل ۱: الگوی پراش انتخاب شده متناظر با طول موج ۴۰۰ نانومتر

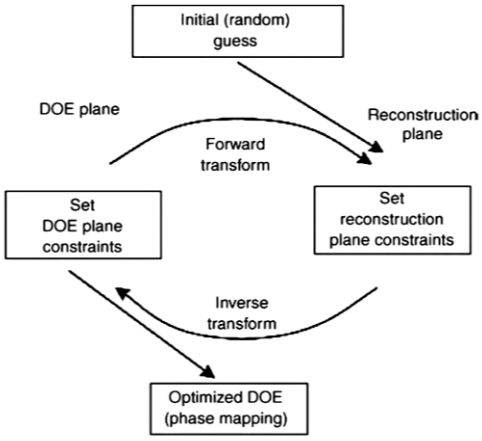


شکل ۲: الگوی پراش انتخاب شده متناظر با طول موج ۶۰۰ نانومتر

چون به دنبال تشکیل الگوی پراش در میدان دور هستیم، با استفاده از ویژگی تبدیل فوریه‌ی عدسی نازک و به کمک تبدیل فوریه‌ی سریع در نرم افزار MATLAB، ارتباط بین توزیع میدان در صفحه‌ی دربرگیرنده‌ی قطعه و صفحه‌ی الگوی پراشیده قابل حصول است. طرح کلی الگوریتمی که برای حصول نقشه‌ی فاز متناظر با هر کدام از الگوها به طور مجزا استفاده شده، در شکل ۳ نمایش داده شده است. مقادیر دامنه میدان در صفحه تصویر از جذر مقادیر شدت الگو بدست می‌آید. الگوریتم با اعمال یک دسته فاز تصادفی به این مقادیر دامنه‌ی میدان شروع می‌شود. سپس با اعمال تبدیل فوریه وارون توزیع میدان در صفحه قطعه بدست می‌آید. در این مرحله با حذف اطلاعات دامنه و حفظ مقادیر فاز، با اعمال تبدیل فوریه به مختصات الگو باز می‌گردیم. دور بعدی با جایگزینی مقادیر

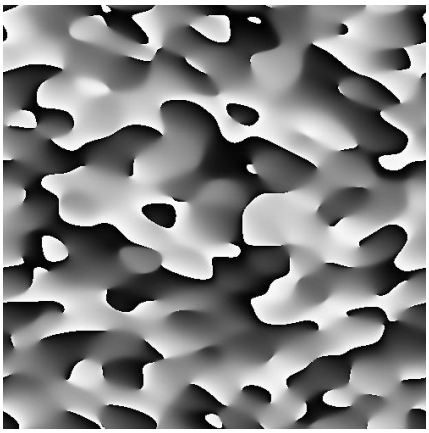
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-03]

دامنه‌ی دلخواه شروع می‌شود و الگوریتم تا رسیدن به نتیجه مطلوب تکرار می‌شود.

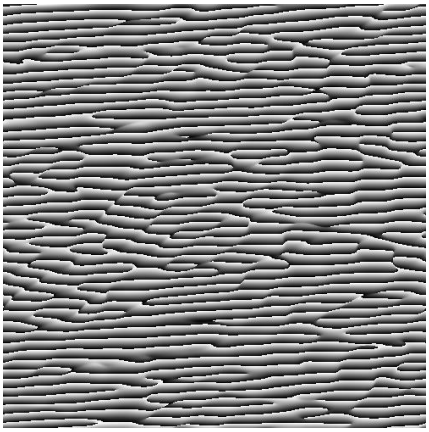


شکل ۳: الگوریتم استفاده شده در گام اول طراحی[۳]

نتیجه‌ی حاصل شده از اجرای الگوریتم شکل ۳ در نرم-افزار، برای دو طول موج متناظر با الگوهای از پیش تعیین شده در شکل‌های ۴ و ۵ نمایش داده شده است.



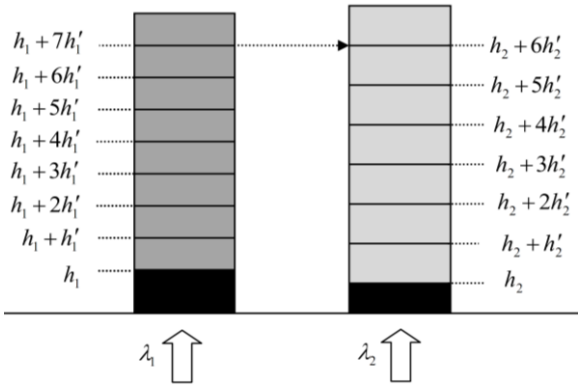
شکل ۴: نقشه‌ی فاز حاصل از الگوریتم و متناظر با طول موج ۴۰۰ نانومتر



شکل ۵: نقشه‌ی فاز حاصل از الگوریتم و متناظر با طول موج ۶۰۰ نانومتر

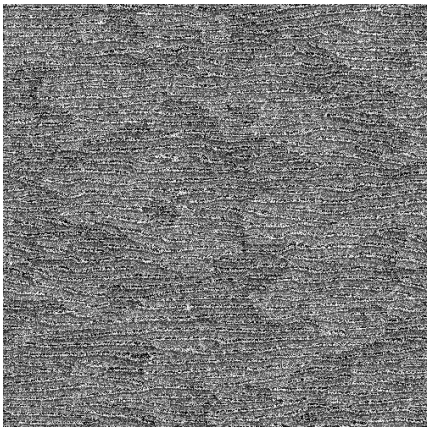
۲-۲- گام دوم

اکنون دو نقشه‌ی فاز که معادل دو نقشه‌ی ارتفاع پیکسل-های قطعه است در اختیار داریم. با استفاده از ویژگی تناوبی فاز موج و به کمک افزودن ارتفاع‌هایی متناظر با اختلاف فاز 2π برای هر طول موج، به دنبال یافتن ارتفاع مشترکی هستیم که با فرود طول موج اول یکی از مضارب اختلاف فاز قطعه اول، و با فرود طول موج دوم یکی از مضارب اختلاف فاز قطعه دوم را ایجاد کند. شکل ۶ فرآیند کلی یافتن ارتفاع مشترک را نمایش می‌دهد.



شکل ۶: فرآیند یافتن مقدار ارتفاع یک پیکسل از قطعه مشترک

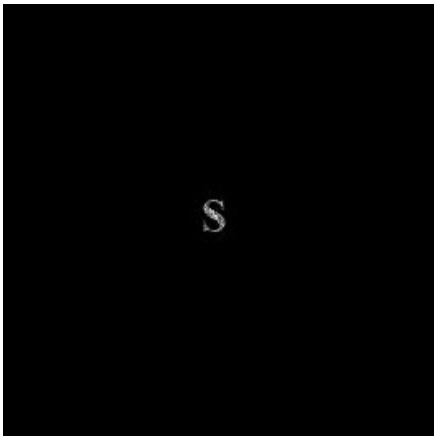
این فرآیند برای هر پیکسل به صورت جداگانه و مستقل از سایر پیکسل‌ها انجام می‌شود. در نتیجه‌ی پیاده‌سازی این روش در نرم‌افزار MATLAB، با استفاده از دو نقشه‌ی فازی که در شکل‌های ۴ و ۵ نمایش داده شده‌اند، نقشه فاز مشترک بدست می‌آید که در شکل ۷ نمایش داده شده است.



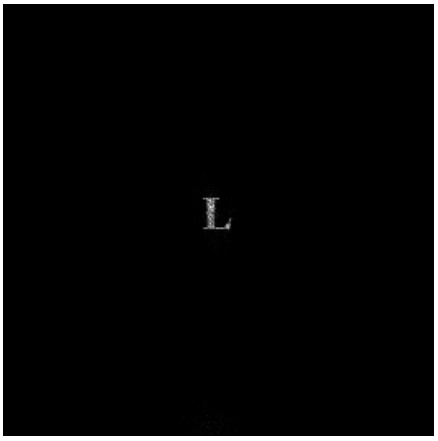
شکل ۷: نقشه‌ی فاز قطعه مشترک، حاصل شده از گام دوم طراحی

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-03]

با فرود دو موج تخت به طور جداگانه با طول موج‌های اول و دوم، الگوهای بازسازی شده‌ی متناظر تشکیل می‌شوند. این دو الگو در شکل‌های ۸ و ۹ نمایش داده شده‌اند.



شکل ۸: الگوی پراش حاصل شده از فرود موج تخت با طول موج ۴۰۰ نانومتر به قطعه مشترک



شکل ۹: الگوی پراش حاصل شده از فرود موج تخت با طول موج ۶۰۰ نانومتر به قطعه مشترک

۲-۳- معیارهای سنجش

عملکرد قطعه طراحی شده با استفاده از دو معیار بازدهی پراش و خطای ریشه میانگین مربع سنجیده می‌شود. بازدهی پراش و خطای ریشه میانگین مربع به ترتیب به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\eta = \frac{\sum_{n\in s}\sum_{m\in s}\left|A'_{n,m}\right|^2}{\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M}\left|a_{n,m}\right|^2} \qquad (۱)$$

$$RMS = \frac{\sum_{n\in s}\sum_{m\in s}\left|A_{n,m} - A'_{n,m}\right|^2}{\sum_{n\in s}\sum_{m\in s}\left|A_{n,m}\right|^2} \qquad (۲)$$

در روابط فوق $A'_{n,m}$ دامنه‌ی میدان در صفحه‌ی الگوی پراشیده، $A_{n,m}$ دامنه‌ی مورد انتظار و $a_{n,m}$ دامنه‌ی میدان فرودی است. ناحیه‌ی s پیکسل‌هایی از صفحه‌ی الگو است که دارای مقادیر شدت است. همچنین N و M تعداد کل پیکسل‌های قطعه در دو راستا هستند.

مقادیر بازدهی و خطای ریشه میانگین برای الگوی پراش حاصل شده در گام اول بعد از فرود طول موج‌های متناظر محاسبه شده‌اند. بازدهی برای این دو الگو به ترتیب برابر ۵۶ و ۷۰ درصد است. خطای ریشه میانگین مربع نیز به ترتیب برابر با ۰/۰۲ و ۰/۱۷ است. این معیارها بار دیگر برای الگوهای حاصل شده از قطعه مشترک محاسبه شدند. بازدهی برای این دو الگو دارای مقادیر ۵۵ و ۴۸ درصد است. مقدار خطای ریشه میانگین مربع نیز به ترتیب برابر با ۰/۰۲ و ۰/۲۴ بدست آمد که در حد قابل قبول در مقایسه با گزارش‌های قبلی است[۴].

۳- نتیجه‌گیری

در نتیجه‌ی این تحقیق طراحی قطعه پراشی فازی با قابلیت تشکیل دو الگوی پراش مجزا برای دو طول موج در نرم‌افزار MATLAB قابل انجام است. شبیه‌سازی قطعه طراحی شده حاکی از بازدهی و خطای ریشه میانگین مربع قابل قبول برای دو الگوی حاصل شده از قطعه مشترک است. این روش قابلیت گسترش با الگوهای پراش پیچیده‌تر و سایر طول موج‌ها را دارا است.

مراجع

[1] Swanson G. J., *Binary optics technology: the theory and design of multi-level diffractive optical elements*, p. 5, MIT Technical Report 854, Lincoln Laboratory, Lexington, *Massachusetts*, 1989.

[2] Barton I. M., Blair P., and Taghizadeh M. R., *Dual-wavelength Operation Diffractive Phase Elements for Pattern Formation*, **Optics Express** 1 (1997) 54-59.

[3] Kress B. C. and Meyrueis P., *Applied Digital Optics: from Micro-optics to Nanophotonics*, p. 131, West Sussex, wiley, 2009.

[4] Caley A. J., Waddie A. J., and Taghizadeh M .R., *A novel algorithm for designing diffractive optical elements for two colour far-field pattern formation*, **Journal of Optics A: Pure and Applied Optics** 7 (2005) 276-279.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-03]