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

پراش گسسته در آرایه‌ی دایروی فیبرنوری جفت شده با فیبرنوری مرکزی

امید کهوندی[۱]، معین مهرپرور[۱]، محمد طهرانی[۱] و علیرضا بهرامپور[۲]

[۱]گروه فیزیک و فوتونیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان.

[۲]گروه فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

چکیده – این مقاله بررسی چگونگی انتشار نور در آرایه‌ی دایروی فیبرنوری و آرایه‌ی دایروی جفت شده با فیبرنوری مرکزی می‌باشد. با حل تحلیلی معادلات انتشار برگرفته از تئوری مد جفت شده و همچنین تابانده نور به فیبرهای روی حلقه و فیبر مرکزی برای حالتی که نور ورودی نسبت به محور فیبر زاویه‌دار تابیده شده باشد و یا با محور فیبر زاویه نداشته باشد، انتشار نور در آرایه‌ها مورد مطالعه قرار گرفته شده است. تحول و توزیع فضایی نور ورودی در این آرایه‌ها هنگامی که با در نظر گرفتن زاویه فیبرها تحریک شوند با حالتی که بدون زاویه تحریک شوند به روشنی متفاوت است.

کلید واژه– آرایه‌ی دایروی فیبرنوری، آرایه‌ی دایروی جفت شده با فیبرنوری مرکزی، پراش گسسته، جفت شدگی، زاویه‌ی ورودی.

Discrete Diffraction In Centrally Coupled Circular Optical Fiber Array

Omid Kahvandi[1], Moein Mehrparvar[1], Mohammad Tehrani[1] and Alireza Bahrampour[2]

[1]Physics and Photonic Department, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

[2]Physics Department, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

Abstract- In this article we study propagation of light in a circular array optical fiber and centrally coupled circular array optical fiber. Study the propagation of light in this structure was done by solving the propagation equations derived from the coupled-mode theory. When a single or few input Optical fibers are excited, light spreads over more and more optical fibers as it propagates through discrete diffraction. Evolution and spatial light distribution when input beam launched into Optical fiber on the ring or centrally fiber with or without the input angle of relative to the optical fiber the axis is very different.

Keywords: Centrally coupled circular fiber array, Circular fiber array, Coupling, Discrete diffraction, Input angle.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-30]

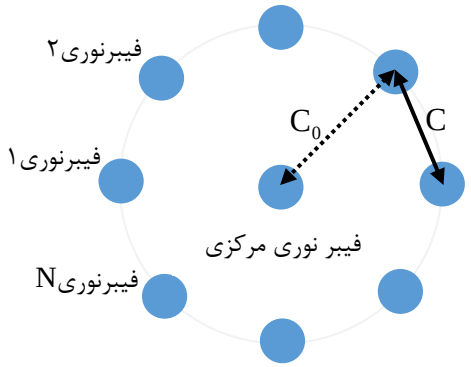
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

۱- مقدمه

در اپتیک آرایه موجبرهای جفت شده بستر عالی را برای تحقیق و مشاهده‌ی پدیده‌های متفاوت فراهم می‌کند. انتشار نور در آرایه‌ی جفت شده از موجبرهای نوری را با پدیده‌ی پراش گسسته توصیف می‌کنند. اصطلاح پراش گسسته نخستین بار در سال ۱۹۶۵ زمانی که جونز و سُمِخ و همکارانش از دیدگاه نظری این موضوع را در آرایه‌های فیبرنوری یک بعدی مشاهده کردند، به کار برده شد. چند سال بعد پراش گسسته در آرایه‌های موجبر ساخته شده از گالیم آرسنایدِ از دیدگاه تجربی نیز مشاهده گردید. با این حال، به دلیل عدم شناخت برای استفاده از این فرآیند، زمینه‌ی دست نخورده‌ای برای سالهای زیادی باقی ماند تا هنگامی که در سال ۱۹۸۸ این ایده که نور می‌تواند در آرایه‌های غیرخطی موجبرنوری خود جایگزیده شود دوباره مطرح گردید[۱]. در الگوی پراش گسسته دو شاخه‌ی اصلی نور مشاهده می‌شود که به تدریج از مرکز دور شده و بیشتر انرژی نوری در این دو شاخه متمرکز می‌گردد[۲]. در سال‌های اخیر بررسی انتشار نور در آرایه موجبرهای جفت شده توجه زیادی را به خود جلب کرده است، همچنین می‌توان نشان داد که این ساختارها کاربرد فراوانی در پردازش تمام نوری داده‌ها و ارتباطات نوری را دارا می‌باشند. آرایه‌های دایروی از موجبرهای جفت شده به منظور ساخت سوئیچ‌های تمام نوری بطور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. انواع مختلفی از سوئیچ، رهیاب، مقسم توان و گیت‌های منطقی بر اساس آرایه‌های دایروی از موجبرهای جفت شده پیشنهاد شده است[۳]، همچنین استفاده از این نوع آرایه‌ها به عنوان ماشین نانولیتوگرافی می‌تواند سرعت نوشتن داده‌ها را افزایش دهد[۴]. با توجه به مزیت‌های ذکر شده، تحریک فیبرها با شرایط ورودی متفاوت و بررسی چگونگی انتشار نور در این گونه آرایه‌ها می‌تواند به ما کمک کند تا با کاربرد این آرایه‌ها بیشتر آشنا شویم.

۲- معرفی سیستم

آرایه‌ی مورد بررسی از یک تعداد هسته‌ی فیبر که بر روی حلقه دایروی و همچنین یک فیبر که در مرکز این آرایه قرار دارد تشکیل شده است. هسته‌ی فیبر همان فیبرنوری بدون غلاف است، همچنین می‌توان بر روی حلقه تعدادی متفاوت هسته‌ی فیبر قرار داد. تمامی فیبرها با فیبرهای اطراف خود از طریق جفت‌شدگی وابستگی دارند و فرض اولیه ما این است که هر فیبر با اولین فیبر نزدیک به خودش جفت می‌شود و با فیبرهای بعدی جفت‌شدگی ضعیفتری دارد که می‌توان آن را نادیده گرفت، یعنی برای هر فیبری که روی حلقه قرار دارد، جفت‌شدگی بین این فیبر و فیبرهای راست و چپ همان فیبر وجود دارد، همچنین باید اشاره کرد که فیبر مرکزی با تمام فیبرهای روی حلقه دارای جفت شدگی است.



شکل۱. نمایی از چیدمان آرایه‌ی دایروی فیبرهای نوری جفت شده با فیبرنوری مرکزی.

۲-۱- معادلات حاکم بر سیستم

معادلات میدان حاکم بر آرایه‌ی دایروی و مرکزی فیبرنوری به شکل زیر است:

$$-i\frac{dE_m}{dz}=\beta_m E_m+(C_{m,m+1}E_{m+1}+C_{m,m-1}E_{m-1})+C_{m,0}E_0 \qquad (۱)$$

$$-i\frac{dE_0}{dz}=\beta_0 E_0+(\sum_{1}^{N}C_{0,m}E_m) \qquad (۲)$$

$$m=1,2,3,\ldots,N$$

در معادله‌ی (۱) که برای فیبرهای روی حلقه نوشته شده است، z نشان دهنده‌ی راستای انتشار در طول فیبر، E_m نشان دهنده‌ی میدان در فیبر mام، β_m نشان دهنده‌ی ثابت انتشار در فیبر mام، $C_{m,m+1}$ نشان دهنده‌ی ضرایب جفت‌شدگی بین فیبر mام و فیبر بعد از خودش، $C_{m,m-1}$ نشان دهنده‌ی ضرایب جفت‌شدگی بین فیبر mام و فیبر قبل از خودش و $C_{m,0}$ نشان دهنده‌ی ضریب جفت‌شدگی بین فیبر mام و فیبر مرکزی می‌باشد. در معادله‌ی (۲) که برای فیبر مرکزی نوشته شده است، E_0 نشان دهنده‌ی میدان در فیبر مرکزی، β_0 نشان دهنده‌ی ثابت انتشار در فیبر مرکزی، $C_{0,m}$ نشان دهنده‌ی ضرایب جفت‌شدگی بین فیبر مرکزی و فیبر mام می‌باشد که این جمله برای آرایه‌ی دایروی به دلیل اینکه فیبر مرکزی وجود ندارد حذف می‌شود.

معادلات را برای حالتی که ضرایب جفت‌شدگی همه‌ی فیبرهای روی حلقه با یکدیگر برابر باشند، $C_{m,m+1}=C_{m,m-1}=C$ و همچنین ثابت انتشار هریک از فیبرها $\beta_m=\beta_0=\beta$ نیز مقداری برابر داشته باشند می‌توان حل کرد. با در نظر گرفتن

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-30]

ضریب جفت‌شدگی برابر بین فیبرها می‌توان طرفین معادله‌ی (۱) را بر ضریب جفت‌شدگی C تقسیم کرد و طول انتشار را به صورت $Z = Cz$ بهنجار نمود.

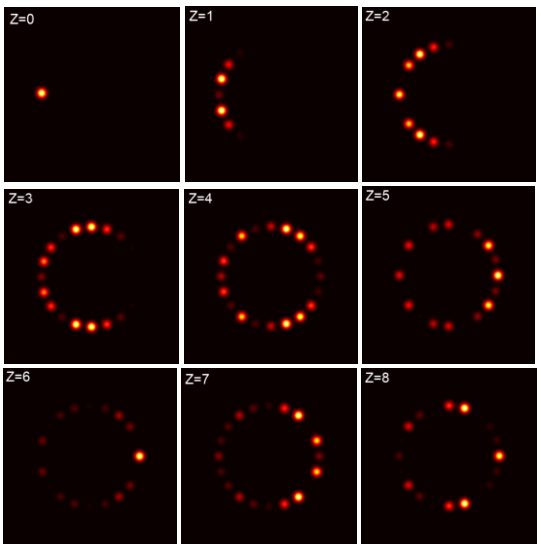
در اینجا نسبت ضریب جفت‌شدگی فیبر مرکزی به فیبرهای روی حلقه برای حالت آرایه‌ی دایروی جفت‌شده با فیبرنوری مرکزی به صورت $\alpha = \frac{C_0}{C} = 0.314$ می‌باشد.

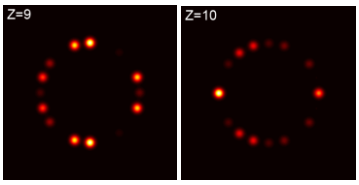
از حل معادله‌ی ذکر شده N ویژه مقدار و N ویژه بردار برای حالت آرایه‌ی دایروی بدست می‌آید[۵]. همچنین برای حالت آرایه‌ی دایروی جفت‌شده با فیبر مرکزی یک ویژه مقدار و ویژه بردار نیز به حالت آرایه‌ی دایروی اضافه می‌شود.

می‌توان هر بردار ورودی را بر حسب ویژه بردارهای سیستم بسط داد و تحول و توزیع فضایی نور را در طول انتشار بخوبی مشاهده کرد، پس جبهه‌ی موج تختی را در ابتدا بدون در نظر گرفتن زاویه ورودی نسبت به محور فیبر و در مرحله‌ی بعد با در نظر گرفتن زاویه‌ی ورودی به تعدادی فیبر می‌تابانیم.

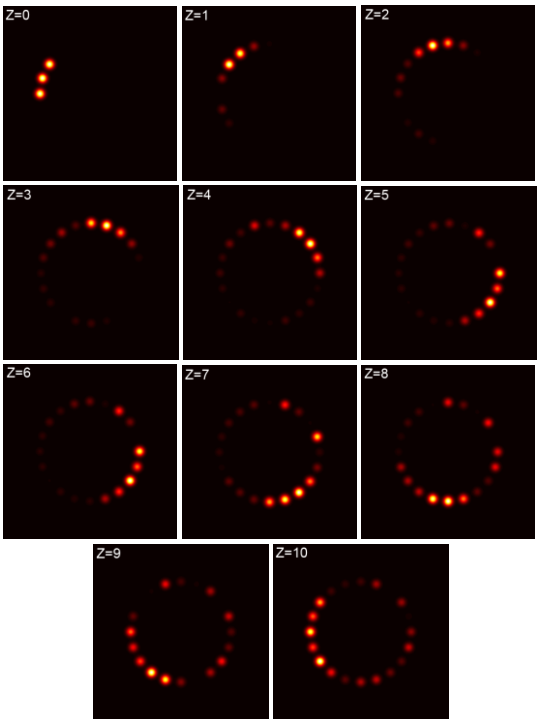
۲-۲- شبیه سازی‌ها

برای شبیه سازی انتشار نور در آرایه‌ی دایروی فیبرنوری تعداد ۲۰ عدد فیبر و برای آرایه‌ی دایروی جفت شده با فیبر مرکزی تعداد ۲۱ عدد فیبر انتخاب شده است. با در نظر گرفتن زوایای ورودی متفاوت و تحریک یک یا چند فیبر، شبیه سازی‌ها انجام شده است. هر یک از شکل‌ها در طول انتشار بهنجار شده‌ی $Z = Cz$، به ترتیب از چپ به راست رسم شده است.

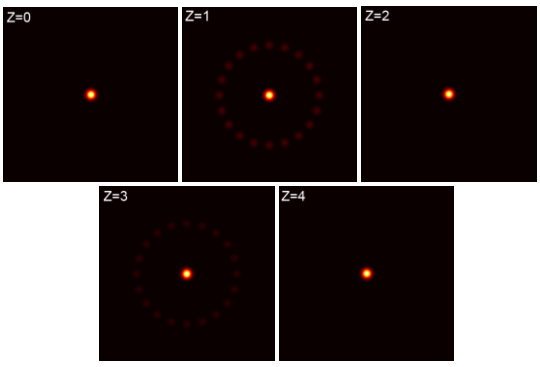




شکل۲. انتشار نور در آرایه‌ی دایروی فیبرهای نوری، فیبر شماره‌ی یک بدون زاویه نسبت به محور فیبر تحریک شده است.

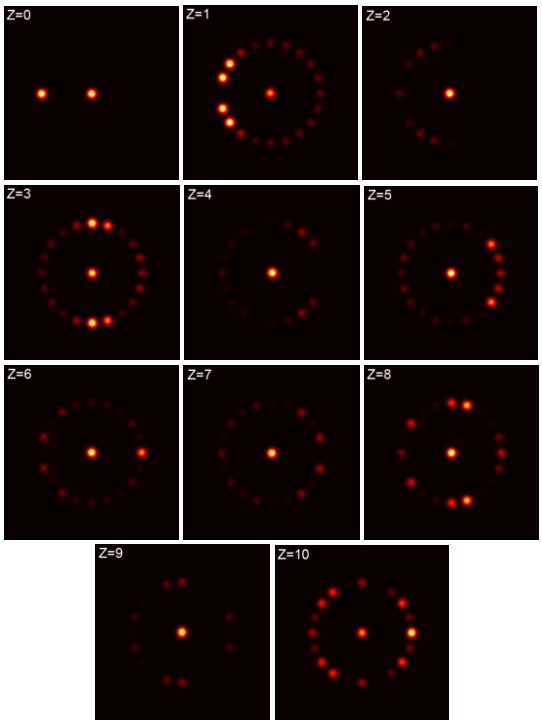


شکل۳. انتشار نور در آرایه‌ی دایروی فیبرهای نوری، فیبرهای شماره-ی یک، دو، سه با زاویه‌ی ۱۰ درجه نسبت به محور فیبر تحریک شده است.



شکل۴. انتشار نور در آرایه‌ی دایروی فیبر نوری جفت شده با فیبر مرکزی، فقط فیبر مرکزی تحریک شده است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-30]



شکل۵. انتشار نور در آرایه‌ی دایروی فیبر نوری جفت شده با فیبر مرکزی، فیبرهای شماره‌ی یک و فیبر مرکزی با زاویه‌ی۱۰ درجه نسبت به محور فیبر تحریک شده است.

در شکل۲ فیبر شماره‌ی یک بدون زاویه‌ی ورودی تحریک شده است، در این حالت میدان همزمان با انتشار در امتداد فیبر به سبب جفت‌شدگی بین فیبرها در صفحه عرضی هم منتشر می‌گردد و همان الگوی پراش گسسته را نشان می‌دهد یعنی وجود دو شاخه‌ی نوری که بیشترین نور در این دو شاخه وجود دارد. با افزایش طول انتشار پخش شدن نور هم در راستای عرضی بیشتر می‌شود و میدان به فیبرهای بیشتری منتقل می‌شود.

در شکل۳ فیبرهای شماره‌ی یک، دو، سه با زاویه‌ی ۱۰ درجه نسبت به محور فیبر تحریک شده است. زاویه‌ی ورودی باعث می‌شود فازی که به هر یک از فیبرها می‌رسد متفاوت باشد، همین اختلاف فاز باعث اختلاف راه و تغییر الگوی انتشار نور در آرایه نسبت به حالتی که بدون زاویه فیبرها تحریک شوند می‌گردد. در اینجا به جای وجود دو شاخه نوری یک تک شاخه‌ی نوری مشاهده می‌گردد، در این حالت انتشار نور در جهت عقربه‌های ساعت بوده و پرتو به صورت مارپیچی درون آرایه و در راستای طول فیبر پیچ می‌خورد و به جلو پیش می‌رود.

در شکل۴ فقط فیبر مرکزی در آرایه‌ی دایروی فیبر نوری جفت‌شده با فیبر مرکزی تحریک شده است، به دلیل جفت‌شدگی که بین فیبر مرکزی و فیبرهای روی حلقه وجود دارد، فیبر مرکزی نور را به صورت مداوم به فیبرهای روی حلقه می‌دهد و دوباره آن را دریافت می‌کند، این حالت از انتشار نور در آرایه را می‌توان به عنوان شکافنده‌ی پرتو مورد استفاده قرار داد.

در شکل۵ فیبر مرکزی و فیبر شماره یک با زاویه‌ی۱۰ درجه نسبت به محور فیبر تحریک شده است. الگوی انتشار در این حالت خاص با وجود تحریک با زاویه، همان الگوی پراش گسسته است، البته به دلیل جفت‌شدگی که فیبر مرکزی با فیبرهای روی حلقه دارد نور با شدت کمتری نسبت به حالتی که فیبر مرکزی وجود نداشت روی حلقه انتشار می‌یابد.

۳- نتیجه گیری

با توجه به شبیه سازی‌های انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که الگوی انتشار نور در آرایه‌ی دایروی و آرایه‌ی دایروی جفت شده با فیبرنوری مرکزی بسته به زاویه‌ی نور ورودی می‌تواند متفاوت باشد. برای حالتی که یک فیبر روی حلقه بدون زاویه تحریک شود نور در دو شاخه‌ی اصلی متمرکز شده و در آرایه منتشر می‌شود و برای حالتی که سه فیبر روی حلقه تحت زاویه‌ی ۱۰ درجه تحریک شوند، نور به صورت یک تک شاخه که بیشترین نور در همین شاخه وجود دارد بصورت مارپیچی درون آرایه و در راستای طول فیبر منتشر می‌گردد. در واقع با تعریف حالت ورودی دلخواه، نور می‌تواند فقط در یک مسیر در امتداد طول فیبرها منتشر شود و دیگر به صورت دو شاخه‌ای منتشر نگردد. همچنین برای حالتی که فیبر مرکزی در آرایه‌ی دایروی فیبر نوری جفت‌شده با فیبر مرکزی تحریک شود، این حالت از انتشار نور در آرایه را می‌توان به عنوان شکافنده‌ی پرتو مورد استفاده قرار داد. در اینجا ما نشان دادیم که با تغییر شرایط حالت ورودی، می‌توان انتشار نور را در هریک از آرایه‌ها به دلخواه کنترل نمود و این همان مدیریت پراش گسسته در آرایه‌ها می‌باشد.

۳- مراجع

[1] Yiling Qi, Guoquan Zhang, Linear, discrete diffraction and transverse localization of light in two-dimensional backbone lattices, **OSA**, Vol. 18, No. 19, 2010.

[2] Christodoulides D.N., Lederer F., Silberberg Y., *Discretizing light behaviour in linear and nonlinear waveguide lattices*, **Nature** Vol. 424, 817-823, 2003.

[3] Tofighi S, Bahrampour A.R, All-optical controlled switching in centrally coupled circular array of nonlinear optical fibers, **Appl. Opt.** Vol. 52, No. 25, 6131-6137, 2013.

[۴] توفیقی، سارا، *بررسی روشهای مختلف لیتوگرافی به منظور افزایش تفکیک پذیری*، رساله دکتری، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ۱۳۹۲.

[5] Hudgings J., Molter L., Dutta M., *Design and Modeling of Passive Optical Switches and Power Dividers Using Non-Planar Coupled Fiber Arrays*. **IEEE Journal of quantum electronics**, Vol.36, No.12, 1438–1444, 2000.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-30]