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

بررسی جایگزیدگی اندرسون در آرایه دو حلقه‌ای با فیبر مرکزی

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

[۱]گروه فیزیک و فوتونیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی، صنعتی و فناوری‌های پیشرفته کرمان
[۲]گروه فیزیک،دانشگاه صنعتی شریف تهران

چکیده - در این مقاله انتشار نور در آرایه دو حلقه‌ای با فیبر مرکزی مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی‌های انجام شده براساس حل معادلات انتشار که از تئوری مد جفت شده به‌دست می‌آیند، می‌باشد. بررسی انتشار نور در آرایه برای دو حالت منظم و حالت آرایه نامنظم انجام شده است و تاثیرات این بی‌نظمی بر انتشار نور در سیستم، مورد مطالعه قرار گرفته است. تمامی بررسی‌های انجام شده از طریق شبیه‌سازی و حل عددی معادلات است و نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده، مورد بحث قرار گرفته است.

کلید واژه- آرایه دو حلقه‌ای با فیبر مرکزی، بی‌نظمی، تئوری مد جفت شده، جایگزیدگی نور.

Study about Anderson Localization in Two Centrally Coupled Circular Array

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

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

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

Abstract- In this paper, we examine light propagation in two centrally coupled circular arrays. Study of light propagation was done by solving the propagation equations derived from the coupled-mode theory. Light propagation in the case of order and disorder array and effect of disorder situation in light propagation has been studied ،All examinations are done by simulations and numerical solutions for equations and results are discussed in details.

Keywords: Coupled-mode theory, Disorder, Light localization, Two centeraly coupled circular array

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-01]

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

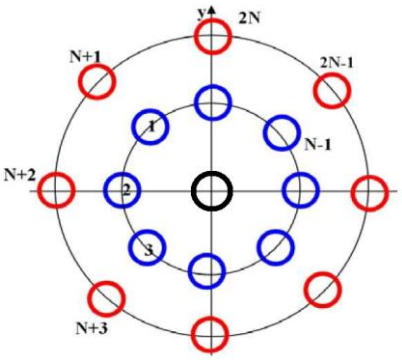
۱- مقدمه

امروزه مطالعه‌ی آرایه‌های موجبری به دلیل کاربرد زیاد آن‌ها در صنعت از اهمیت زیادی برخوردار است. از این‌رو که آرایه دو حلقه‌ای با فیبر مرکزی می‌تواند یکی از انواع مهم آرایه‌ها باشد، مطالعه‌ی خصوصیات و نحوه‌ی انتشار نور در آن نیز می‌تواند بسیار جالب و با اهمیت باشد. معادلات مورد نیاز برای مطالعه انتشار نور در موجبرهای جفت شده، از تئوری مد جفت شده به‌دست آمده است. آغاز بررسی‌های جفت‌شدگی در موجبرها از سال ۱۹۵۰ بوده است [۱]. امروزه شبکه‌هایی که شامل نواحی همانند نواحی جفت شده هستند در شاخه‌های مختلفی از علم و تکنولوژی مثل بیولوژی، شیمی، شبکه‌های ارتباطی و به‌خصوص در قسمت‌های مختلف فیزیک از مکانیک کلاسیک تا حالت جامد، شبکه‌های الکترونیکی و نوری، کاربردهای فراوانی پیدا کرده‌اند [۲].

در سال ۱۹۵۸ بود که برای اولین بار کلمه‌ی جایگزیدگی توسط آقای فیلیپ وارن اندرسون[1] مطرح شد [۳] و چون این جایگزیدگی بر مبنای خاصیت موجی بود، به سرعت در دنیای امواج مورد توجه قرار گرفت. جایگزیدگی اندرسون در تمام فیزیک موجی وجود دارد. این فرایند به طور طبیعی در هر سیستم شبکه‌ای نامنظم رخ می‌دهد و به عنوان نتیجه‌ی تداخل بین پراکندگی‌های زیاد شناخته می‌شود. تحت حالت‌های بی‌نظمی قوی این تداخل‌ها می‌توانند بسیار شدید باشند تا حدی که می‌تواند حرکت تمام بسته‌ی موج را متوقف کند. در این ناحیه است که جایگزیدگی اندرسون رخ می‌دهد [۴]. ایجاد محیط نامنظم به‌منظور بررسی تاثیر بی‌نظمی بر روی نحوه‌ی انتشار نور کاری مهم است که به روش‌های گوناگونی اجرا می‌شود [۵] و تاکنون بررسی‌های متنوعی بر روی محیط‌های نامنظم یک بعدی و دو بعدی [۶] و شبکه‌های فوتونیکی [۷] انجام شده است.

۲- معرفی سیستم

سیستم مورد بررسی از دو حلقه‌ی دایره‌ای تشکیل شده است که یک تعداد فیبر بر روی این حلقه‌ها قرار گرفته‌اند و فیبری در مرکز این سیستم قرار داده شده است. می‌توان بر روی هر حلقه تعداد متفاوتی فیبر نسبت به حلقه‌ی دیگر قرار داد اما در این‌جا برای تعداد حلقه‌های کم، تعداد برابری از فیبرها را بر روی هر حلقه در نظر گرفته‌ایم. تمامی فیبرها با فیبرهای اطراف خود از طریق جفت شدگی ارتباط دارند. فرض اولیه این بوده است که هر فیبر با اولین فیبر نزدیک به خودش جفت می‌شود و با فیبرهای بعدی جفت شدگی ضعیف‌تری دارد که می‌توان آن را نادیده گرفت. یعنی برای هر فیبری که روی حلقه‌ای قرار دارد، جفت شدگی بین این فیبر و فیبرهای سمت راست و چپ همان فیبر بر روی همان حلقه و فیبر بالا و/یا پایین آن در حلقه‌های دیگر است. در شکل ۱ نمایی از این سیستم را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱: نمایی از آرایه دو حلقه‌ای با فیبر مرکزی.

معادلات میدان سیستم [۵] به صورت زیر است:

$$-i\frac{dE_n}{dz}=\beta_n E_n+(C_{n,n+1}E_{n+1}+C_{n,n-1}E_{n-1}+C_{n,n+N}E_{n+N}+C_{n,0}E_0) \quad (۱)$$

$$-i\frac{dE_n}{dz}=\beta_n E_n+(C_{n,n+1}E_{n+1}+C_{n,n-1}E_{n-1}+C_{n,n-N}E_{n-N}) \quad (۲)$$

$$-i\frac{dE_n}{dz}=\beta_0 E_0+\sum_{1}^{N}C_{0,n}E_n \quad (۳)$$

و شرط دایره بودن این معادلات به شکل زیر است:

$$E_{n+N}=E_n \quad (۴)$$

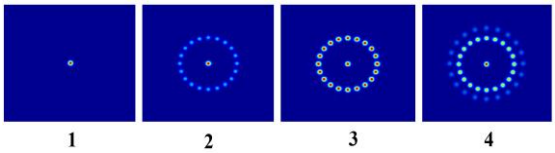
در معادلات (۱) تا (۴)، E_n نشان‌دهنده‌ی میدان در درون فیبر nام، β_n نشان‌دهنده‌ی ثابت انتشار فیبر nام، $C_{n,n'}$ نشان‌دهنده‌ی ضرایب جفت‌شدگی بین فیبر nام و فیبر n´، N نشان‌دهنده‌ی تعداد کل فیبرها بر روی هر حلقه و نماد صفر برای فیبر مرکزی است.

[1] Philip Warren Anderson

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-01]

۲-۱- بررسی انتشار نور در آرایه

برای بررسی سیستم، تعداد فیبر بر روی هر حلقه را ۲۰ عدد در نظر گرفته‌ایم. در حالت منظم، ورودی را در فیبر مرکزی اعمال می‌کنیم. نمایی از نحوه‌ی انتشار در شکل ۲ نمایش داده شده است.

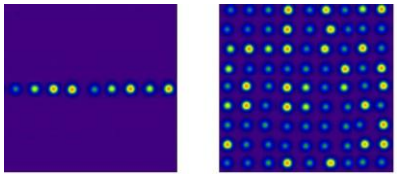


شکل ۲: نحوه‌ی انتشار نور در آرایه در حالت منظم زمانی که ورودی در فیبر مرکزی اعمال شده است.

همان طور که در شکل ۲ دیده می‌شود نور بیشتر بین فیبر مرکزی و فیبرهای حلقه‌ی اول جابه‌جا می‌شود. درصد کمی از میدان وارد فیبرهای حلقه‌ی دوم می‌شود. دلیل آن هم این است که فیبر مرکزی با ۲۰ فیبر حلقه‌ی اول به طور همزمان در ارتباط است. در حالی که برای حلقه‌ی دوم، هر فیبر حلقه‌ی دوم از یک فیبر تغذیه می‌شود که در طول انتشار در مجموع درصد کمی از کل نور را شامل می‌شود. اما نکته‌ی قابل تامل این است که نور با درصد بالایی بین فیبر مرکزی و حلقه‌ی اول در حال جابه‌جا شدن است. بدین معنی که درصد بالایی از نور از فیبر مرکزی خارج می‌شود و در حلقه‌ی اول قرار می‌گیرد و مجددا با درصد بالایی از حلقه‌ی اول خارج می‌شود و به فیبر مرکزی برمی‌گردد، و این روند تا آخر مسیر ادامه دارد.

۳- بی‌نظمی در آرایه

بی‌نظمی در سیستم‌های واقعی امری اجتناب‌ناپذیر است. سیستم‌های واقعی در زمان ساخت به دلایل بسیاری می‌توانند بی‌نظمی‌های زیادی را دارا باشند. از عدم تقارن کافی در ساختار مولکولی شیشه‌ی سازنده‌ی فیبر تا ناهماهنگی در آرایش جایگیری فیبرها به صورت دایره‌ای. همه‌ی این ناهماهنگی‌ها، بی‌نظمی‌ها و عدم تقارن‌ها می‌تواند روی نحوه‌ی انتشار نور در سیستم تاثیرگذار باشد و می‌توان هر کدام از این بی‌نظمی‌ها را جداگانه مورد بررسی قرار داد و فهمید کدام‌یک نسبت به بقیه، تاثیرگذاری بیشتری و یا تاثیرگذاری کم‌تری دارد. در شکل‌های ۳ و ۴ دو نمونه از محیط‌های نامنظم یک بعدی و دو بعدی نمایش داده شده است.



شکل ۳: نمایی از یک محیط نامنظم یک بعدی و دو بعدی [۶].

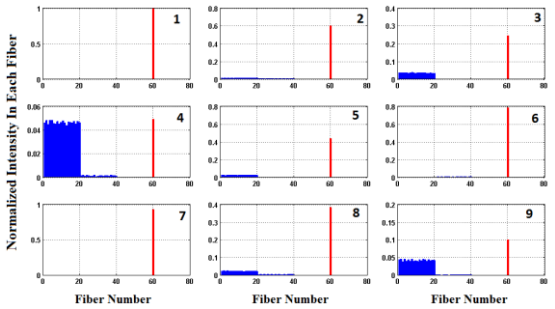
در شکل‌های ۳ و ۴ بی‌نظمی ایجاد شده ناشی از بی‌نظمی در اندازه‌ی ضریب شکست هر موجبر با موجبر کناری خودش و بی‌نظمی در جایگیری بین هر موجبر است.

۳-۱- بررسی انتشار نور در حالت نامنظم

اینک می‌خواهیم سیستم را زمانی که دارای بی‌نظمی است مورد بررسی قرار دهیم. پارامتری که برای بی‌نظمی در نظر گرفته شده است ضریب شکست فیبرها می‌باشد. اگر ضریب شکست یکی از موجبرها را مرجع قرار دهیم، آنگاه ضریب شکست موجبرهای آرایه بی‌نظم یک عدد تصادفی در بازه $n_0 \pm \Delta$ خواهد بود. در این صورت میزان بی‌نظمی را با پارامتر S تعریف می‌کنیم:

$$S = \frac{\Delta}{n_0} \qquad (۵)$$

اگر پارامتر S صفر باشد یعنی یک آرایه منظم داریم. هرچه مقدار این پارامتر بیشتر باشد نشان دهنده بی‌نظمی بیشتر آرایه است. برای اولین بررسی، ورودی را در فیبر مرکزی اعمال می‌کنیم.

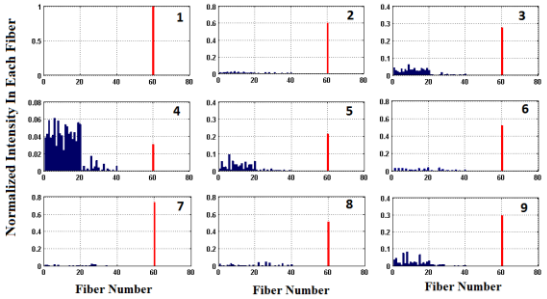


شکل ۵: نمایی از نحوه‌ی انتشار نور در آرایه برای بی‌نظمی S=۰/۱، برای حالتی که ورودی به فیبر مرکزی اعمال شده است.

در شکل‌های پیش رو محور افقی نمایانگر شماره‌ی فیبرها و محور عمودی نمایانگر شدت به‌هنجار شده است. بر روی محور افقی، تا شماره‌ی ۲۰ برای حلقه‌ی اول و از شماره‌ی ۲۱ تا ۴۰ برای حلقه‌ی دوم است. برای متمایز بودن بین فیبرهای حلقه‌ها و فیبر مرکزی، فیبر مرکزی را با رنگ

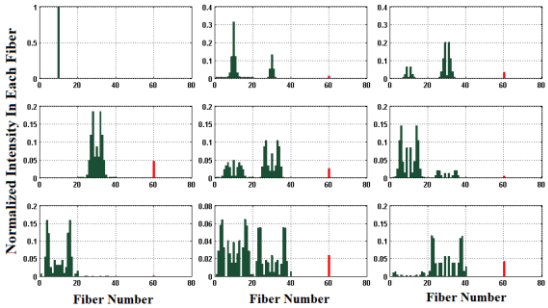
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-01]

متفاوت در شماره‌ی ۶۰ قرار داده‌ایم.



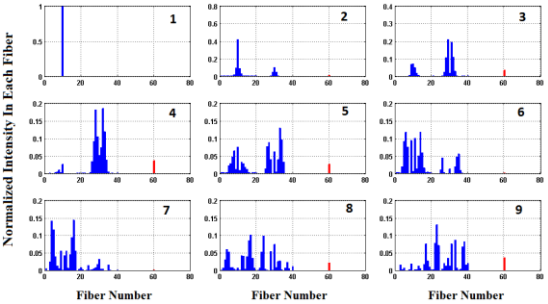
شکل۶: نمایی از نحوه‌ی انتشار نور در آرایه برای بی‌نظمی S=۰/۶ برای حالتی که ورودی به فیبر مرکزی اعمال شده است

شکل ۵ انتشار نور زمانی که محیط دارای بی‌نظمی S=۰/۱ است را نشان می‌دهد و شکل ۶ انتشار نور را در محیطی با بی‌نظمی S=۰/۶ را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش بی‌نظمی در آرایه نور در طول انتشار، تحت تاثیر قرار گرفته است. بررسی دیگر انجام شده، برای زمانی است که ورودی را در یکی از فیبرهای حلقه‌ی اول اعمال کنیم. در ابتدا برای مقایسه‌ی بهتر، نحوه‌ی انتشار نور در آرایه زمانی که آرایه در حالت منظم است را بررسی می‌کنیم. شکل ۷ نمایانگر این بررسی است.

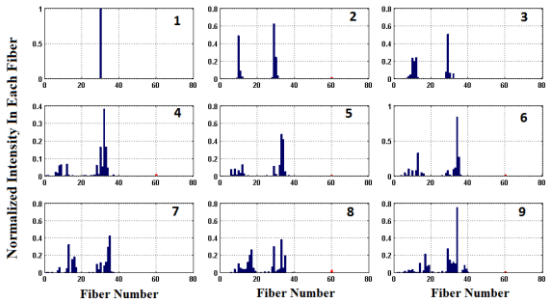


شکل ۷: نحوه‌ی انتشار نور در آرایه برای حالت منظم، برای حالتی که ورودی به یک فیبر از حلقه‌ها اعمال شده است.

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌کنیم در حالت منظم، نور همزمان که بین دو حلقه در حال جابه‌جا شده است، به صورت پخش گسسته، منتشر می‌شود. حال آرایه را در حالت بی‌نظمی مورد بررسی قرار می‌دهیم.



شکل ۸: نمایی از نحوه‌ی انتشار نور در آرایه برای بی‌نظمی S=۰/۱ برای حالتی که ورودی به یک فیبر از حلقه‌ها اعمال شده است.



شکل ۹: نمایی از نحوه‌ی انتشار نور در آرایه برای بی‌نظمی S=۰/۶ برای حالتی که ورودی به یک فیبر از حلقه‌ها اعمال شده است.

شکل ۸ انتشار نور زمانی که محیط دارای بی‌نظمی S=۰/۱ است را نشان می‌دهد و شکل ۹ انتشار نور را در محیطی با بی‌نظمی S=۰/۶ را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش بی‌نظمی در آرایه نور در طول انتشار، تحت تاثیر قرار گرفته است و جایگزیده شده است.

۴- نتیجه‌گیری

در حالت منظم نور در آرایه به صورت پخش گسسته انتشار می‌یابد، در حالی که در حالت نامنظم پدیده‌ی جایگزیدگی اندرسون مشاهده خواهد شد و این جایگزیدگی رابطه‌ی مستقیم با میزان بی‌نظمی سیستم دارد.

مراجع

[1] Haus H.A., Huang W., *Coupled-Mode Theory*, **IEEE**, 79 (1991) 1805-1818.

[2] Marcuse D., *Light Transmission Optics*, New York: Van Nostrand Reinhold, 1972.

[3] Anderson P.W., *Absence of Diffusion in Certain Random Lattice*, **Phys. Rev.** 109 (1958).

[4] Billy J., Josse V., Zuo Z., Bernard A., Hambrecht B., Lugan P., Clement D., Sanchez-Palencia L., Bouyer Ph., and Aspect A., *Direct observation of Anderson localization of matter waves in a controlled disorder*, **Nature,** 453 (2008) 891-894.

[5] Szameit A., Dreisow F., Pertsch T., Nolte S., Tunnnermann A., *Control of directional evanescent coupling in fs laser written waveguides*, **Opt. Express.** 15 (2007) 1579-1587.

[6] Jović D., and Denz C., *Disorder-induced localization of light in one- and two-dimensional photonic lattices*, ***IOP Publishing***, (2012) 1-4.

[7] Jović D., Belić M.R., Kivshar Y.S., Denz C., *Disorder-induced localization of light near edges of nonlinear photonic lattices*, **Opt. Commun,** 285 (2012) 352–355.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-01]