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

کلیدزنی سالیتون گسسته در سیستم کاواک‌های تزویج شده دوبعدی در حضور نقص

بهاره حدادپور خیابان، [۱] کیوان محمود اقدمی[۲] ، رضا خردمند[۱]

[۱]گروه فوتونیک، پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره‌شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز

[۲] گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵ ، تهران

چکیده - در این مقاله به بررسی تئوری کلیدزنی سالیتون‌ها در آرایه دوبعدی از کاواک‌های تزویج شده با عامل غیرخطی کر که در حضور یک نقص محلی به شکل گاوسی در پارامتر نامیزانی کاواک ایجاد شده است پرداخته می‌شود. در ابتدا سالیتون‌ها از حل عددی معادله شرودینگر غیرخطی گسسته شبیه‌سازی شد و شاخه‌های سالیتونی در پارامترهای مناسب رسم گردید. سپس همچنین پایداری سالیتون‌ها از طریق مشاهده رفتار دینامیکی آنها بررسی گردید و مشخص شد حضور نقص مثبت سبب گسترش محدوده پارامتری شاخه سالیتونی و همچنین برخلاف انتظار باعث کاهش شدت ماکزیمم آن گردیده است. در نهایت روشن و خاموش کردن (کلیدزنی) سالیتون با اعمال یک پرتو کنترلی شبیه‌سازی شد و تحولات زمانی سالیتون در این حین بررسی گردید.

کلید واژه- دوپایایی، سالیتون کاواک گسسته، شبیه‌سازی عددی، غیرخطیت کر، کلیدزنی، نقص محلی

Switching of discrete soliton in the coupled cavity system at the presence of defect

Mahmud Aghdami, Keivan[1, 2]; Kheradmand, Reza[1]; Haddadpour Khiaban, Bahareh[1]

[1] Photonic group, Research institute for applied physics and Astronomy University of Tabriz, Tabriz,

2 Department of Physics, Payame Noor University, (PNU), P.O.Box, 19395-3697 Tehran

Abstract–In this paper switching of soliton in the two-dimensional array of coupled optical cavities with Kerr nonlinearity at the presence of a local Gaussian defect in cavity detuning parameter is studied theoretically. Firstly solitons are simulated by numerical solution of discreet Schrödinger equation and their branches are plotted for appropriate parameters. Then their stability were studied through observing their dynamical behaviors and it is found that a positive defect expands the stability domain and also unexpectedly reduces the peak intensity of solitons. Finally successful on/off switching is simulated by injecting a control beam and it's time evolution is investigated.

Keywords: Bistability, Discrete cavity soliton, Numerical simulation, Kerr nonlinearity, Switching, Local defect

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

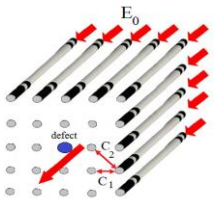
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

۱- مقدمه

پرتو نوری، امواج آب و غالب پدیده‌های موجی در حین انتشار به دلیل پراش و پاشندگی تمایل به پهن‌شدگی در فضا و زمان دارند ولی حالتهایی در طبیعت وجود دارد که امواج در حین انتشار شکل اولیه خود را حفظ می‌کنند که به آنها امواج سالیتونی گفته می‌شود. در واقع اگر پهن شدگی ناشی از پراش و پاشندگی توسط عوامل غیرخطی مانند خودکانونی و مدولاسیون خود فاز از بین برود، امواج خودجایگزیده تحت عنوان سالیتون فضایی و زمانی بوجود می‌آید [۱]. بررسی سالیتون کاواک فضایی در سال‌های اخیر در سیستم‌های گسسته مورد توجه قرار گرفته است [۲]. در اپتیک ساده‌ترین مثال کلاسیکی سیستم گسسته استفاده از آرایه موجبری است که بصورت ضعیف جفت شده‌اند و هرکدام شامل یک ویژه مد هستند. در این صورت میدان کل بصورت برهم‌نهی از همه مدها خواهد بود و تحولات میدان با درنظر گرفتن جفت‌شدگی بین مدهای انفرادی مدل‌بندی می‌شود. در عمل بخاطر کوچک بودن همپوشانی بین موجبرها، ضریب جفت‌شدگی بین آنها کم بوده و برای مشاهده پدیده پراش گسسته نیاز است که طول موجبرها بلند باشد و به علت اینکه این موضوع مانع از کوچک‌سازی می‌شود در ابتکاری جدید با قرار دادن آینه‌هایی در ابتدا و انتهای موجبرها مسیر نوری تا شده و سیستم به‌صورت آرایه‌ای از کاواک‌های جفت شده در می‌آید [۲]. حال به دلیل بازتاب‌های متوالی بین آینه‌ها اندرکنش نور با ماده بطور موثری افزایش می‌یابد. اتلاف توان درون کاواک‌ها توسط پرتو نگهدارنده خارجی تامین می‌گردد که فرآیند خلق و نابودی و تحولات سالیتون کاواک گسسته را کنترل می‌کند.

تحولات سیستم تحت شرایط گفته شده توسط معادله شرودینگر غیرخطی گسسته بیان می‌شود. معادله شرودینگر غیرخطی گسسته شامل دسته‌های متفاوتی از سیستم‌ها است که هر کدام در نوع خود جالب‌اند و مدل های مهم فیزیکی برای اپتیک غیرخطی را شامل می‌شوند. جوابهای سالیتونی معادله شرودینگر غیرخطی گسسته در یک و دو و سه بعد مدهای جایگزیده در محیط گسسته هستند. این نوع سالیتون‌ها درسیستم‌های اپتیکی غیرخطی مختلفی مطالعه شده‌اند [۲]. نقص‌های محلی عناصر مهمی در مدهای معادله شرودینگر غیرخطی گسسته می‌باشند و بعنوان عناصر اضافه شده به شبکه جالب بوده و مفاهیم فیزیکی جدیدی را بیان می کنند[۴]. سالیتون‌های کاواک گسسته در آرایه دوبعدی از کاواک های جفت شده بدون نقص در کارهای قبلی مطالعه شده است [۵ -۷].

در این مقاله به بررسی کلیدزنی سالیتون‌های کاواک گسسته در آرایه دوبعدی از کاواک های جفت شده با غیرخطیت کر پرداخته می‌شود که در آن نقص محلی بشکل گاوسی در پارامتر نامیزانی کاواک در برخی از آرایه ها ایجاد گردیده است. ابتدا مدلی برای کاواک‌های جفت شده دوبعدی (شکل۱) ارائه شده و سپس سالیتون شبیه سازی و شاخه سالیتونی رسم شده و در نهایت کلیدزنی موفق سالیتون‌ها بررسی می‌شود.



شکل ۱: آرایه دوبعدی از کاواک‌های موجبری جفت‌شده دارای نقص.

۲- مدل نظری

تحولات زمانی پرتو خروجی از آینه‌های انتهایی را می‌توان توسط معادله شرودینگر غیرخطی گسسته تعمیم یافته زیر در محیط غیرخطی کر در حالت دوبعدی بدست آورد[۵, ۷]:

$$i\dot{u}_{n,m}+C_1(u_{n+1,m}+u_{n-1,m}+u_{n,m+1}+u_{n,m-1}-4u_{n,m})+C_2(u_{n+1,m+1}+u_{n-1,m+1}+u_{n+1,m-1}+u_{n-1,m-1}-4u_{n,m})+(\Delta_{n,m}+i)u_{n,m}+\gamma\left|u_{n,m}\right|^2u_{n,m}=E_0 \quad (۱)$$

که در آن $u_{n,m}$ و $\Delta_{n,m}$ بترتیب دامنه مختلط میدان کاواک و نامیزانی موثر کاواک در سطر و ستون (n,m) ام، γ ضریب غیرخطی کر که در این کار حالت خودکانون ($\gamma=1$) در نظر گرفته شده است. C_1 ضریب جفت‌شدگی بین موجبرهای مجاور در راستای عمودی و افقی و C_2 ضریب جفت‌شدگی بین موجبرهای مجاور قطری می‌باشد که در این مقاله اثرات آن در نظر گرفته نشده است ($C_2=0$) و E_0 دامنه میدان موج تخت ورودی می‌باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

۳- شبیه سازی

جوابهای ایستای همگن (HSS) یکی از جوابهای معادله شرودینگر غیرخطی گسسته هستند که بعنوان زمینه‌ای برای شکل‌گیری سالیتونها می‌باشند. با قرار دادن جواب پیشنهادی همگن در معادله شرودینگر نموداری S شکل برای جواب‌های همگن بنام نمودار دوپایایی بدست می‌آید. با استفاده از تحلیل پایداری خطی می‌توان نواحی پایداری این نمودار را برای شکل‌گیری سالیتون‌ها مشخص کرد. دسته دیگر جوابهای سیستم، جوابهای ناهمگن هستند که در واقع همان جوابهای سالیتونی می‌باشند. این جوابهای استاتیکی به روش نیوتن-رافسون بدست آمده و سپس پایداری آنها با روش دینامیک رانگ-کوتا بررسی می‌شوند.

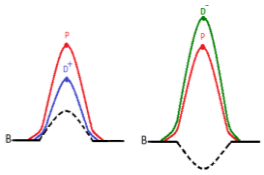
۴- نقص محلی در پارامتر نامیزانی

در این مقاله سیستم دارای نقص محلی در پارامتر نامیزانی کاواک ها نسبت به میدان ورودی بوده که بصورت یک نقص گاوسی شکل در نظر گرفته شده است :

$$\Delta_{n,m} = \Delta + \nu e^{[-(n^2+m^2)/\sigma^2]} \qquad (۲)$$

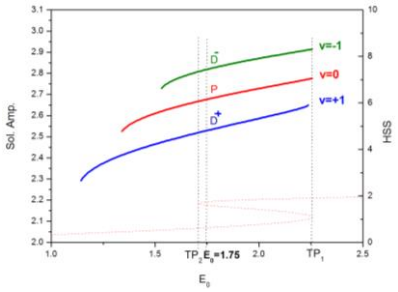
که در آن ν و σ بترتیب ارتفاع و پهنای نقص می‌باشند. این نقص را می‌توان در عمل با اعمال یک پرتو ناهمدوس خارجی به تعدادی از آرایه‌ها ایجاد کرد. تابش پرتو خارجی باعث تغییرات محلی شدت در آرایه‌های مورد نظر و نهایتاً ویژگی ضریب شکست وابسته به شدتِ این محیط غیرخطی (غیرخطیت کر)، سبب تغییرات موضعی ضریب شکست و پارامتر نامیزانی می‌شود.

درشکل(۲) پروفایل دوبعدی سالیتون تشکیل شده بر روی نقص مثبت ($\nu \succ 0$) و نقص منفی ($\nu \prec 0$) را نشان می‌دهد. نقاط P، D^+، D^- و B به ترتیب نشانگر پیک قله سالیتون در حالتهای بدون نقص، نقص مثبت، نقص منفی و زمینه هستند. خطوط توپر سالیتون و خطوط نقطه‌چین نقص ناهمگن را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشخص است دامنه سالیتون در حالت نقص منفی بزرگتر و در حالت مثبت کوچکتر از دامنه سالیتون در حالت بدون نقص است.



شکل۲ : نمایه دوبعدی سالیتون عادی بدون نقص $\nu = 0$ (قرمز) و سالیتونهای نقص برای نقص منفی $\nu = -1$ (راست- سبز) و نقص مثبت $\nu = +1$ (چپ آبی) به همراه زمینه (نقطه چین به ازای $E_0 = 1.75$.

نمودار دوپایایی و شاخه‌های سالیتونی برای حالت با و بدون نقص در شکل (۳) نشان داده شده است. با بررسی این نمودار می‌توان تاثیر حضور نقص مثبت و منفی را بر شاخه سالیتونی بررسی کرد. خطوط عمودی نقطه‌چین، نقاط بازگشتی منحنی حالت همگن را مشخص می‌کنند. توضیحات مربوط به علامتگذاری نقاط دقیقاً مطابق با شکل (۲) بوده و در نقطه با $E_0 = 1.75$ بررسی شده است. مقایسه شاخه‌های سالیتونی با نقص برای یک مقدار Δ مشخص ($\Delta = -3$) نشان می‌دهد که وجود نقص مثبت در سیستم موجب کاهش دامنه سالیتونی و همچنین افزایش ناحیه پایداری آن (حضور نقص مثبت تشکیل سالیتون‌ها با دامنه کوچکتر به ازای مقادیر کوچکتری از میدان باریکه نگه‌دارنده را ممکن می‌سازد) و حضور نقص منفی باعث افزایش دامنه سالیتون و کاهش ناحیه پایداری آن می‌شود. همانطور که در شکل مشخص است به ازای مقادیر میدان ورودی بیش از مقدار مرزی نقطه بازگشتی جوابی وجود ندارد و این بخاطر ناپایداری شاخه پایینی منحنی دوپایایی می‌باشد.



شکل۳: نمودار دوپایایی جواب همگن و شاخهای سالیتونی حالتهای بدون نقص ($\nu = 0$) و با نقص‌های مثبت و منفی ($\nu = +1$ و $\nu = -1$) در مقدار نامیزانی کاواک ($C_1 = 1, \sigma = 2, \gamma = 1$).

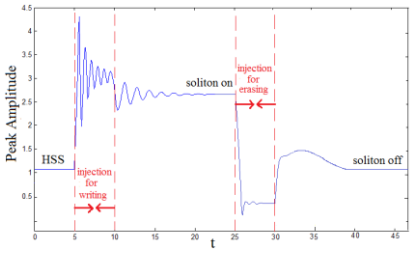
۴-۱- نوشتن و پاک کردن سالیتون‌ها در حضور نقص

برای نوشتن و پاک کردن سالیتون‌ها در هر نقطه مورد نظر(n,m)، میدان نگهدارنده را بصورت ترکیبی از موج تخت و یک باریکه گاوسی E_1 بصورت زیر در نظر میگیریم:

$$E = E_0 + E_1 e^{-\left(\frac{n^2+m^2}{\omega^2}\right)} e^{i\phi} \qquad (۳)$$

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

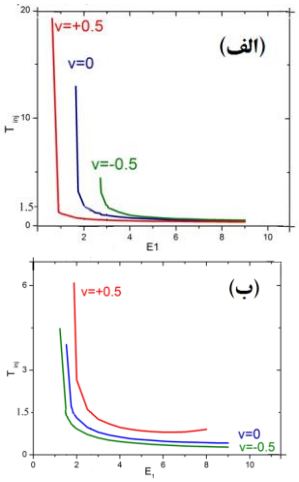
که در آن ω و ϕ به ترتیب پهنا و فاز و میدان نگهدارنده بصورت عمود بر آرایه در نظر گرفته شده است. فرآیند نوشتن و پاک کردن سالیتون‌ها تقریباً یکسان است که در آن باریکه گاوسی در طول زمان T_{inj} با اختلاف فاز ($\phi=0$) برای نوشتن و ($\phi=\pi$) برای پاک کردن تزریق می‌شود. شکل (۴) تحولات دامنه سالیتون را برای فرآیند نوشتن و پاک کردن موفق بر روی نقص مثبت را نشان می‌دهد. همانطور که از نمودار مشخص است فرآیند کلیدزنی شامل دو مرحله است. در مرحله اول میدان نوسانات محلی شدید را نشان می‌دهد و سپس در مرحله دوم به حالت ایستای نهایی خود واهلیده می‌شود.



شکل۴ : نمودار تحولات دامنه ماکزیمم سالیتون‌ها در فرآیند نوشتن و پاک کردن موفق بر روی نقص مثبت ($C_1=1,\Delta=-3,\sigma=2,E_0=1.75,v=0.5,w=1$)

پهنا، شدت و زمان تزریق باریکه گاوسی کنترلی سه پارامتر مهم تعیین‌کننده برای کلیدزنی موفق هستند. اضافه کردن نقص به سیستم این پارامترها را بطور موثری تغییر می‌دهد، بنابراین نوشتن و پاک کردن موفق علاوه بر پارامترهای ذکر شده به ارتفاع و پهنای نقص نیز بستگی خواهد داشت.

همچنان‌که قبلاً در مقاله[۵] گزارش شده است ، توان تزریقی که بصورت حاصلضرب ($E_1\times T_{inj}$) تعریف می‌شود یک پارامتر تعیین‌کننده در فرآیند کلیدزنی می‌باشد بطوری که اگر این کمیت از مقدار آستانه بحرانی بیشتر باشد کلیدزنی موفق اتفاق می‌افتد. شبیه‌سازی‌های ما نشان می‌دهد که نقص مثبت (منفی) این مقدار بحرانی را برای فرآیند نوشتن کاهش (افزایش) می‌دهد اما درمورد فرآیند پاک‌کردن برعکس خواهد بود. (شکل ۵)



شکل۵ : زمان تزریق آستانه برحسب شدت باریکه گاوسی برای فرآیند الف) نوشتن و ب) پاک کردن موفق سالیتون‌ها روی نقص مثبت، منفی و بدون نقص ($C_1=1,\Delta=-3,E_0=2,\sigma=2,w=0.5$)

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله سالیتون کاواک گسسته در آرایه دوبعدی از کاواک‌های جفت‌شده دارای نقص محلی گاوسی شکل روی پارامتر نامیزانی شبیه‌سازی شده و شاخه سالیتونی رسم گردید. مشخص شد که حضور نقص مثبت (منفی) باعث کاهش (افزایش) دامنه و افزایش (کاهش) ناحیه پایداری آن می‌گردد. همچنین نشان داده شد که نقص مثبت (منفی) باعث کاهش (افزایش) توان مصرفی برای نوشتن سالیتون شده و عکس این موضوع برای فرآیند پاک کردن صادق است.

مراجع

[1] Kivshar Y. S., Agrawal G. P., *Optical solitons: From waveguides to photonic crystals*, Academic Press, San Diego,540, 2003.

[2] Assanto, Segev M., and Silberberg Y., *Discrete solitons in optics*, **Physics Reports**, 463 (2008) 1-126.

[3] Peschel U., Egorov O., Lederer F., *Discrete cavity solitons*, **Optics Letters**, 29 (2004) 1909-19011.

[4] P. G. Kevrekidis, *The Discrete Nonlinear Schrèodinger Equation: Mathematical Analysis, Numerical Computations and Physical Perspectives* p.232, Springer, 2009.

[5] Aghdami K., Golshani M., Kheradmand R., *Two-Dimensional Discrete Cavity Solitons: Switching and All-Optical Gates*, **Photonics Journal, IEEE**, 4 (2012) 1147-1154.

[۶] ک. م. اقدمی, ر. کریمی و ر. خردمند, "سالیتون‌های کاواک گسسته در آرایه‌ای از کاواک‌های جفت شده با شرط خودکانونی"، **کنفرانس فیزیک ایران**, همدان, ۱۳۸۹.

[۷] ک. م. اقدمی, م. گلشنی و ر. خردمند, "بررسی سالیتون کاواک گسسته در آرایه دو بعدی از کاواک‌های جفت‌شده با غیرخطیت کر,"، **کنفرانس فیزیک ایران**, یزد، صفحات ۲۸۱۷ الی ۲۸۲۰ ،۱۳۹۱.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]