بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

سوییچ‌زنی سالیتون‌های کاواک گسسته‌ی یک بعدی در محیط غیرخطی لیزرزا

تالونه ، کامل[۱] ؛ محمود اقدمی، کیوان[۲] ؛ خردمند، رضا[۱]

[۱] گروه فوتونیک، دانشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

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

چکیده - در این مقاله سوییچ‌زنی سالیتون‌های روشن و تاریک در آرایه‌ای از کاواک‌های لیزرزای فعال جفت شده با غیرخطیت کر که بوسیله-ی یک میدان پمپ ورودی برانگیخته می‌شود، مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این راستا ابتدا معادله‌ی مدل مورد نظر که انتشار نور را در این محیط شرح می‌دهد (معادله‌ی شرودینگر غیر خطی گسسته)، و پارامترهای دخیل در آن معرفی و سپس جواب‌های همگن و غیرهمگن آن به دست می‌آید. در ادامه با بررسی پایداری جواب‌های غیرهمگن مورد نظر روی منحنی چند پایایی، با استفاده از روش‌های عددی، شاخه‌های وجودی سالیتون‌های روشن و تاریک مشخص می‌شود. در انتها با تزریق یک پرتو گاوسی با دامنه و پهنای مناسب و با زمان تزریق کافی به آرایه‌ی کاواک‌های مورد نظر، امکان سوییچ‌زنی سالیتون‌های روشن و تاریک در این سیستم مطالعه می‌شود.

کلید واژه- **محیط لیزرزا، سالیتون‌های روشن و تاریک ، کاواک‌های جفت شده، پایداری، سوییچینگ.**

The Switching of 1D Discrete Cavity Solitons in Lasing Nonlinear Medium

Talouneh, Kamel[1]; Mahmoud Aghdami, Keivan[2]; Kheradmand, Reza[1]

[1] Photonics group, Research Institute for Applied Physics and Astronomy, University of Tabriz, Tabriz, Iran

[2] Department of Physics, Payame Noor University, PO Box19395-3697, Tehran, Iran

Abstract- In this paper we study the switching of Bright and Dark solitons in an array of coupled active lasing cavities with Kerr nonlinearity, that excite by an incident pump field. In this way, first we introduce a model equation explaining propagation of light in this medium (discrete nonlinear Schrödinger equation) and parameters of that, then obtain the homogeneous and inhomogeneous solutions of this system. In continuous, we specify the existence of Bright and Dark solitonic branches by obtaining stability regions of inhomogeneous solutions on bistability curve by numerical simulations. At the end of this work, we study the possibility of switching of Bright and Dark solitons in this system by inject a Gaussian beam with proper amplitude and width and sufficient injection time into considered array of cavities.

Keywords: lasing medium, Bright and Dark solitons, coupled cavities, stability, switching.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

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

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، مطالعه‌ی سالیتون‌های کاواک گسسته (DCSs) توجه بسیاری از محققان را در حوزه‌ی اپتیک غیر خطی به خود جلب کرده است [۱]. گسستگی سیستم‌های دینامیکی غیر خطی، ویژگی‌های جالبی را دربردارد که از آن جمله می‌توان وجود سالیتون‌های گسسته و ویژگی‌های منحصر بفرد پایداری آن‌ها را نام برد [۲]. یکی از معادلات مدل اساسی برای تشریح دینامیک سیستم‌های گسسته‌ی اپتیکی مختلف، معادله‌ی شرودینگر غیر خطی گسسته (DNLS) است.

سالیتون‌های کاواک گسسته حالت‌های جایگزیده‌ای هستند که در آرایه‌ای از کاواک‌های گسسته‌ی به صورت ضعیف جفت شده تشکیل می‌شوند. انتشار نور در این کاواک‌ها از طریق جفت شدگی باعث تشکیل نمونه‌های تازه‌ای از این سالیتون‌ها می‌شود که از برهم‌کنش بین پراش گسسته و خواص غیر خطی [1] ناشی می‌شود. سوییچ‌زنی این نمونه از سالیتون‌ها برای کاربردهای سوییچ‌زنی تمام اپتیکی در مدارات مجتمع، برای مثال در انتقال داده‌های اپتیکی، از اهمیت بسزایی برخوردار است. در مورد خاص محیط لیزرزای فعال، که در آن از یک سو بین بهره‌ی موجود در محیط و اتلافات خطی و غیر خطی و از سوی دیگر بین غیر خطیت موجود در محیط و پراش گسسته تعادل برقرار است، نمونه‌های تازه‌ای از سالیتون‌های گسسته می‌تواند وجود داشته باشد.

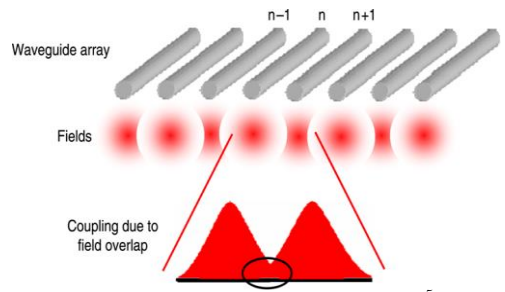
در بخش ۲ یک معادله ی مدل را در نظر می‌گیریم که آرایه‌ای از سالیتون‌های کاواک گسسته‌ی بصورت ضعیف جفت شده را در محیط غیر خطی لیزرزای فعال توصیف می‌کند که بوسیله‌ی یک پرتو همدوس خارجی تحریک می‌شود. در ابتدا جواب‌های همگن سیستم بعنوان زمینه‌ای برای تشکیل این سالیتون‌ها و همچنین مجموعه‌ای از جواب‌های سالیتونیک روشن و تاریک معرفی و پایداری این جواب‌های همگن و غیرهمگن با استفاده از شبیه سازی‌های عددی مورد بررسی قرار می‌گیرند. در بخش 3 یک پرتو کنترلی گاوسی با دامنه و پهنای مناسب و همچنین با زمان تزریق خاص، به منظور سوییچ‌زنی (نوشتن و پاک کردن) سالیتون‌های کاواک گسسته‌ی روشن و تاریک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲- مدل ریاضی

معادله‌ی شرودینگر غیر خطی گسسته برای توصیف تحول زمانی دامنه‌ی میدان در هر یک از موجبرهای مشخص، A_n، در یک آرایه‌ی یک بعدی از کاواک‌های جفت شده‌ی شامل محیط غیر خطی لیزرزا (شکل ۱)، که بوسیله‌ی یک میدان پمپ خارجی، P، تحریک می‌شوند، بفرم زیر است [3]:

$$\left(i\frac{d}{dt}+\Delta+i\delta+\alpha|A_n|^2-\frac{i\gamma}{1+|A_n|^2}\right)A_n + C(A_{n+1}+A_{n-1}-2A_n)=Pe^{ikn} \qquad (۱)$$

که در آن Δ نامیزانی از میدان محرک با توجه به فرکانس تشدید کاواک، δ و γ بترتیب اتلاف خطی و بهره‌ی اشباع، و α ضریب غیر خطیت کر است که متناسب با پارامتر کر n_2 است. هر یک از کاواک‌ها بوسیله‌ی پارامتر ثابت جفت شدگی C به نزدیک‌ترین کاواک همسایه‌ی خود جفت شده است.



شکل ۱ : آرایه‌ای از کاواک‌های گسسته که بوسیله‌ی میدان الکترومغناطیسی به یکدیگر جفت شده‌اند [۱].

در اینجا محیط به شرطی خواص لیزرزایی دارد که بهره‌ی موجود در محیط بر اتلافات خطی موجود غلبه کند، بعبارت دیگر باید $\gamma>\delta$ باشد. در این مقاله مجموعه‌ی پارامترهای مورد استفاده عبارتند از:

$$\alpha=-0.2, \delta=0.4, \gamma=0.5, \Delta=3.5, C=0.2$$

۲-۱- جواب‌های همگن و غیرهمگن و پایداری

معمولاً دو دسته جواب حالت پایا برای معادله‌ی شرودینگر غیر خطی مورد نظر وجود دارد: ۱- جواب‌های همگن (امواج تخت) و ۲- جواب‌های غیر همگن. جواب‌های غیر همگن معمولاً به دو دسته جواب‌های جایگزیده و متناوب تقسیم می‌شوند، که بترتیب مربوط به جواب‌های سالیتونی و طرحواره‌ها می‌شوند.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

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

جواب پایای همگن (HSS) که در اصل بعنوان زمینه‌ای برای سالیتون‌ها استفاده می‌شود، می‌تواند با جایگزینی $A_n = A$ در معادله‌ی (۱) بدست آید که نتیجه عبارت است از:

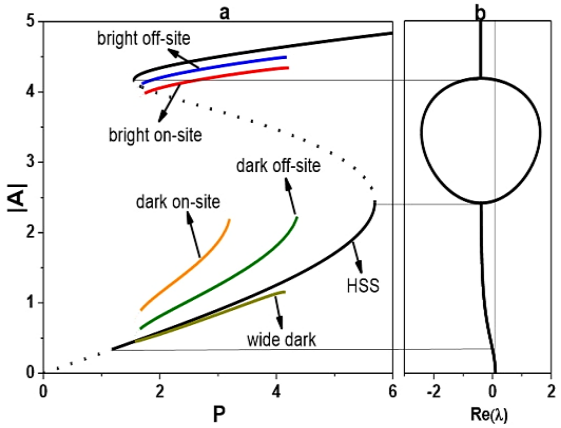
$$P = \left(\Delta + i\delta + \alpha |a_n|^2 - \frac{i\gamma}{1+|A_n|^2} \right) |A| \qquad (۲)$$

با رسم منحنی مربوط به $|A|$ بر حسب P یک منحنی دوپایایی که در شکل (۲a) با HSS مشخص شده است، به دست می‌آید. بخش پایین و بالای منحنی HSS با شیب مثبت بالقوه پایدارند، در حالی که بخش میانی با شیب منفی ناپایدار است. برای بررسی پایداری جواب‌های همگن ایستا ($\frac{dA_n}{dt} = 0$) در اینجا می‌توان از روش تحلیل پایداری خطی استفاده کرد، که بر مبنای اضافه کردن یک اختلال کوچک بفرم زیر به جواب موج تخت استوار است:

$$A_n' = A + \varepsilon e^{\lambda t + iqn} \qquad (۳)$$

که در آن ε و q بترتیب دامنه و زاویه‌ی اختلال تابیده می‌باشند. پارامتر رشد اختلال λ با حل معادله‌ی ویژه مقدار نتیجه شده به دست می‌آید. هر گاه قسمت حقیقی λ بزرگتر از صفر باشد، جواب مورد نظر ناپایدار است، در غیر اینصورت هر گاه قسمت حقیقی λ کوچکتر از صفر باشد، جواب مورد نظر پایدار است.

همچنین برای بدست آورده نواحی پایدار و ناپایدار جوابهای غیر همگن، چون در این مورد $\frac{dA_n}{dt} \neq 0$ است، از یک روش دینامیکی، روش رانگ – کوتای مرتبه‌ی چهار، که بر مبنای اضافه کردن یک اختلا کاتوره‌ای به جواب‌های غیر همگن معادله‌ی (۱) و تعیین λ از معادله‌ی ویژه مقداری بدست آمده استوار است، استفاده میشود. نواحی پایدار و ناپایدار جواب‌های همگن و غیر همگن به همراه نمودار دوپایایی مربوط به جواب‌های همگن و همچنین شاخه‌های وجودی سالیتون‌های مورد نظر (جواب‌های غیر همگن پایدار) در شکل (۲a) نشان داده شده است. همچنین منحنی نمایانگر تغییرات λ بر حسب دامنه‌ی میدان خروجی در شکل (۲b) نشان داده شده است.



شکل ۲ : a- منحنی دوپایایی جواب‌های همگن به همراه منحنی چند پایایی جواب‌های غیر همگن (جواب‌های سالیتونی) با نواحی پایدار (خطوط پر) و ناپایدار (خطوط خط چین) مشخص. b- منحنی مربوط به قسمت حقیقی پارامتر رشد اختلال λ بر حسب اندازه‌ی دامنه‌ی میدان خروجی $|A|$.

همانگونه که از این شکل مشخص است، جواب‌های همگن سیستم مربوط به شاخه‌ی میانی منحنی HSS ناپایدار و جواب‌های همگن در کل نواحی مربوط به شاخه‌ی بالایی پایدارند. همچنین جواب‌های همگن مربوط به شاخه‌ی پایینی در ابتدای شاخه ناپایدار و در ادامه پایدارند.

در واقع وجه تمایز سیستم لیزرزای مورد نظر با سایر سیستم‌های اتلافی در همین شاخه‌های پایداری و ناپایداری است. در این شکل نواحی پایدار بوسیله‌ی خطوط پر و نواحی ناپایدار بوسیله‌ی خط چین مشخص شده‌اند.

بسته به اینکه ماکزیمم شدت میدان خروجی روی یک موجبر، دو موجبر و یا چندین موجبر توزیع شده باشد، سه نوع سالیتون درون موجبری، بین موجبری و یا پهن می‌تواند وجود داشته باشد. پروفایل چند نمونه مربوط به سالیتون‌های کاواک گسسته‌ی روشن و تاریک در شکل (۳) نشان داده شده است.

۲-۲- سوییچ‌زنی سالیتون‌های کاواک گسسته

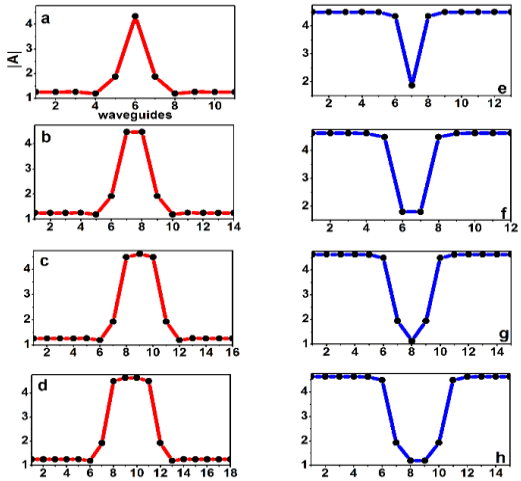
در عمل سالیتون‌های کاواک گسسته می‌توانند بوسیله‌ی یک پرتو کنترلی خارجی، که از طریق وجوه کاواک تزریق می‌شود، نوشته و یا پاک شوند. در اینجا ما عمل سوییچ‌زنی را با در نظر گرفتن یک میدان نگه دارنده‌ی یکنواخت که ترکیبی از زمینه‌ی یکنواخت P_1 و یک پرتو گاوسی شکل که با دامنه‌اش P_{inj} و پهنایش w مشخص می‌شود، و بفرم زیر است، انجام می‌دهیم [4]:

$$P = P_1 + P_{inj} \exp\left(-\frac{n^2}{w^2}\right) e^{i\phi_{inj}} e^{ikn} \qquad (٤)$$

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

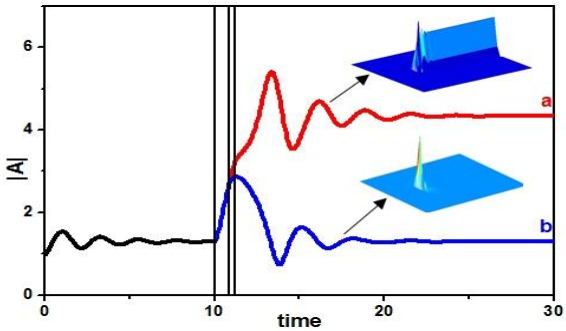
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

که در آن n موجبر مبرکزی است که ماکزیمم پرتو گاوسی به آن تابیده می‌شود، ϕ_{inj} اختلاف فاز بر حسب پرتو نگه دارنده‌ی یکنواخت و k پارامتر تابش پرتو است. این پرتو گاوسی در زمان تزریق مشخص t_{inj} به آرایه‌ی مورد نظر می‌تابد.



شکل ۳ : پروفایل چند نمونه از سالیتون‌های کاواک گسسته‌ی روشن (سمت چپ) و تاریک (سمت راست) با $P=4$.

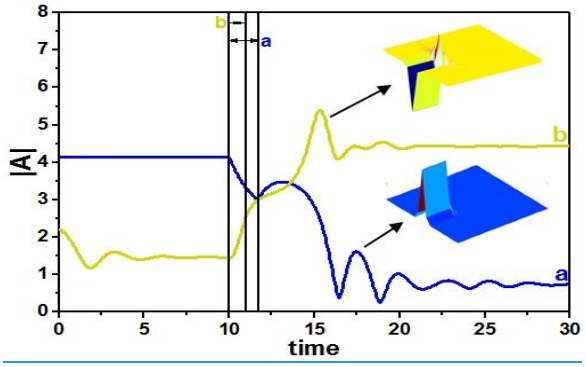
با شروع از شاخه‌ی همگن پایینی (بالایی)، فرآیند نوشتن برای یک سالیتون روشن (تاریک) هنگامی اتفاق می‌افتد که پرتو نویسنده بصورت همفاز (ناهمفاز) با پرتو نگه دارنده (یعنی همفاز وقتی $\phi_{inj}=0$ و ناهمفاز هنگامی که $\phi_{inj}=\pi$) به آرایه تزریق شود. این عمل تزریق باعث یک افزایش (کاهش) شدت موضعی شود. در شکل (۴) تحول زمانی دامنه‌ی میدان خروجی مربوط به موجبرهای مرکزی برای دو مورد سوییچ‌زنی موفق و ناموفق نشان داده شده است.



شکل ۴ : تحول زمانی موجبر مرکزی در طی a- عمل نوشتن موفق و b- عمل نوشتن ناموفق یک سالیتون کاواک گسسته‌ی روشن بین موجبری. پارامترهای مورد استفاده عبارتند از:

$$P_1=4.1, P_{inj}=2, w=1, \phi_{inj}=0,$$
$$(a)t_{inj}=1.2, (b)t_{inj}=0.9$$

جهت پاک کردن یک سالیتون کاواک گسسته، پرتو کنترلی گاوسی باید بصورت ناهمفاز با زمینه‌ی مورد نظر به آرایه تزریق شود (بر عکس مورد نوشتن سالیتون). در شکل (۵) دو نمونه از عمل پاک کردن یک سالیتون روشن و یک سالیتون تاریک نشان داده شده است.



شکل ۵ : تحول زمانی موجبر مرکزی در طی پاک کردن a- یک سالیتون روشن درون موجبری و b- یک سالیتون تاریک درون موجبری. مقادیر پارامتری استفاده شده عبارتند از:

$$P_1=3.2, P_{inj}=3, w=0.5, t_{inj}=1.7,$$
$$(a)t_{inj}=1.7, (b)t_{inj}=1$$

۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله، انتشار نور در آرایه‌ای از کاواک‌های جفت شده در محیط غیرخطی لیزرزا مورد بررسی قرار گرفت. جواب-های همگن و غیر همگن سیستم به دست آمد و پایداری آن‌ها با استفاده از شبیه‌سازی عددی بررسی شد. همچنین سوییچ‌زنی سالیتون‌های کاواک گسسته در این سیستم با موفقیت انجام شد.

مراجع

[1] F. Lederer, G. I. Stegeman, D. N. Christodoulides, M. Segev, Y. Silberberg, "*Discrete Solitons in Optics*, "Physics Reports463 (2008) 1-126.

[2] Milutin Stepic, Ljupco Hadzievski, and Milos M. Skoric, "*Stability of one-dimensional array solitons*," Physical Review E, 65,026604 (2002).

[3] Jaroslaw E. Prilepsky, Alexey V. Yulin, Magnus Johansson, and Stanislav A. Derevyanko, "Discrete Solitons in Coupled Active Lasing Cavities," Optics Letters (2012).

[4] K. M. Aghdami, M. Golshani, R. Kheradmand, "Two Dimensional Cavity Solitons: Switching and All-Optical Gates," Volume 4, Number 4 (2012).

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

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