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

کنترل ناهمدوس سولیتون کاواک تپنده در لیزر سولیتون کاواک

حمید واحد[۱] و محسن فتح الهی[۲]

[۱] دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین،دانشگاه تبریز، تبریز

واحد بازرسی فنی برق و ابزاردقیق، مجتمع پتروشیمی ایلام، ایلام

چکیده – قابلیت حرکت کنترل شده سولیتون‌های کاواک، بعنوان خواص منحصربفرد سولیتون‌های کاواک، جهت استفاده در طراحی میکروسکوپ‌های مدرن و خطوط درنگ تمام نوری، مورد توجه قرارگرفته است. در این مقاله، با استفاده از محاسبات و شبیه سازی عددی نشان داده شده است که مکان سولیتون کاواک تپنده در لیزر سولیتون کاواک با انتخاب مناسب پارامترهای باریکه تزریقی ناهمدوس در نزدیکی سولیتون کاواک تپنده کنترل شده است. این حرکت کنترل شده با تزریق ناهمدوس سریعتر از حرکت کنترل شده با تزریق نیمه همدوس است.

کلید واژه- تزریق ناهمدوس، سولیتون کاواک تپنده، لیزر سولیتون کاواک

Incoherent controlling of the self-pulsing Cavity Solitons in the Cavity Soliton Laser

H. Vahed[1] and M. Fathollahi[2, 3]

[1]School of Engineering-Emerging Technologies, University of Tabriz, Tabriz

[2]Aras International Campus, University of Tabriz, Tabriz

[3]Technical Inspection Unit, Ilam Petrochemical Company, Ilam

Abstract- Controlled motion of the cavity solitons (CS) is exclusive property of the CSs for application in designing of modern microscopes and all optical delay lines. In this paper, we showed that the position of the self-pulsing CSs in the Cavity Soliton Laser has been controlled with incoherent injection in near of self-pulsing CS by using of the numerical calculation and simulations. This controlled motion by using of incoherent injection is faster than the semicoherent injection used.

Keywords: Incoherent injection, Self-Pulsing Cavity Soliton, Cavity Soliton Laser

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-14]

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

۱- مقدمه

سولیتون‌های کاواک با تاباندن پالس‌های لیزری به داخل کاواک نوری حاوی ماده غیرخطی، در اثر اندرکنش غیرخطی نور و ماده به صورت لکه‌های روشن در زمینه تاریک در صفحه عرضی عمود بر راستای انتشار میدان الکترومغناطیسی شکل می‌گیرند[۱]. این ساختارهای موضعی توسط معادلات مختلط گیزنبورگ لاندائو برای هیدرودینامیک لیزر توصیف می‌شوند و دلیل نامگذاری آنها به عنوان سولیتون کاواک تمایزشان از سولیتون‌های فضایی معمولی است که در چهارچوب معادله غیر خطی شرودینگر (NLS) قابل توصیف است[۲]. پایداری و مستقل از هم بودن سولیتون‌های کاواک، قابلیت نوشته شدن و همچنین پاک شدن آنها توسط باریکه کنترلی نوری، پتانسیلی قدرتمند در آنها برای کاربرد در پردازش نوری اطلاعات بوجود آورده است[۳]. کاواک‌های لیزر نیم رسانا از نوع نشر کننده از سطح با کاواک عمودی (VCSEL) که در حال حاضر نیز کاربردهای وسیعی در فناوری ارتباطات نوری یافته‌اند، محیطی بسیار مناسب برای تحقق سولیتون‌های کاواک هستند. زیرا علاوه بر امکان دمش نوری و الکتریکی در آنها، امروزه این لیزرها در سطوح لیزرزایی بزرگ (چند صد میکرومتر) در دسترس هستند[۴]. در مطالعاتی که در اوایل دهه اخیر در این زمینه انجام گردیده بود، محیط فعال لیزرزا تا حد زیر آستانه لیزرزایی دمش الکتریکی یا نوری می‌شد. در این حالت VCSEL بعنوان یک وسیله تقویت کننده و مدوله کننده فضایی برای پرتو نسبتاً تختی که از خارج بصورت عمود بر کاواک می‌تابد عمل می‌کند، که این پرتو را اصطلاحا پرتو نگهدارنده می نامند[۳و۴]. اخیرا تکنیک-های جدیدی چه بصورت نظری و چه آزمایشگاهی توسعه یافته‌اند که قابلیت تولید سولیتون در VCSEL ها حتی در بالای آستانه لیزرزایی را فراهم نموده، بطوریکه دیگر نیازی به تابش پرتو نگه‌دارنده از بیرون نباشد[۵و۶]. این وسیله بدیع که امکان تولید باریکه‌های لیزری با خواص منحصربفرد سولیتون‌ها را فراهم آورده است لیزر سولیتون کاواک نامیده می‌شود. امکان حرکت کنترل شده سولیتون‌های کاواک، قدم بزرگی در پتانسیل کاربردی سولیتون‌های کاواک بعنوان بیت‌های اطلاعاتی می‌باشد [۵]. در این کارتحقیقی، نشان داده شده است که با تزریق ناهمدوس در لیزر سولیتون کاواک با جاذب اشباع پذیر و با انتخاب مناسب پارامترهای باریکه تزریقی، امکان حرکت کنترل شده و جابجایی سولیتون کاواک تپنده در امتداد مشخص در صفحه عرضی کاواک و بین نقاط مورد نظر وجود دارد.

۲- معرفی مدل تئوری

سیستم انتخابی، لیزر نشر کننده از سطح با کاواک قائم VCSEL است و میکرومشدد نیمه‌هادی آن از نوع فابری پرو با چاههای کوانتومی چندگانه است که عمود بر جهت انتشار پرتو نوری قرارگرفته‌اند. معادلات دینامیکی توصیف کننده برهمکنش نور با ماده برای میکروکاواک حاوی محیط‌های بهره و جاذب را بصورت زیر می‌توان نوشت[۶]:

$$\frac{\partial F}{\partial t}=\left[(1-i\alpha)D+(1-i\beta)d-1+i\nabla_{\perp}^{2}\right]F \qquad (۱-a)$$

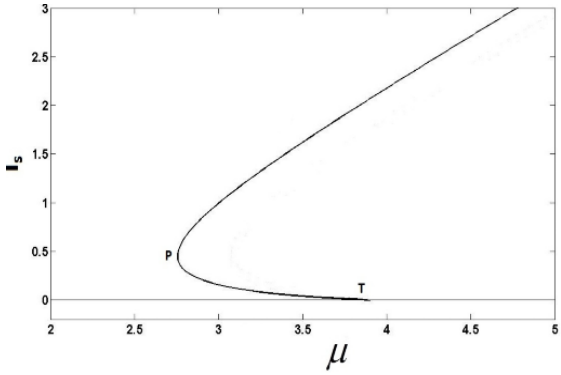
$$\frac{\partial D}{\partial t}=b_1\left[\mu-D\left(1+|F|^2\right)-BD^2\right] \qquad (۱-b)$$

$$\frac{\partial d}{\partial t}=b_2\left[-\gamma-d\left(1+s|F|^2\right)-Bd^2\right] \qquad (۱-c)$$

که F، دامنه کند تغییرات میدان الکتریکی درون کاواک، ، D، و ، d، متغیرهای مربوط به جمعیت حاملین بار که به ترتیب در محیط بهره و جاذب هستند. μ ، پارامتر دمش جریان الکتریکی در محیط بهره و γ ، پارامتر جذب در محیط جاذب اشباع پذیر را نشان می‌دهد. پارامتر α، و b_1 ، (b_2,β) به ترتیب فاکتور افزایش خط و طول عمر فوتون در کاواک به طول عمر غیر نوری حاملین، τ_{ph}/τ_{nr} در محیط بهره (جاذب) هستند. B، ضریب بازترکیب نوری حاملین در نیم رسانا و s، پارامتر اشباع است. در این معادلات زمان بر حسب طول عمر فوتون در کاواک خالی $(\approx 3ps)$ و مکان برحسب طول پراش $(\approx 5\mu m)$ مقیاس‌بندی شده است. حل سه معادله بالا در شرایط ایستای همگن منجر به دو دسته جواب بدیهی (حالت غیر لیزرزا) و غیر بدیهی (حالت لیزرزا) شده است. تحلیل پایداری خطی جوابهای همگن، برای $B=0.1,\alpha=2,\beta=1,\gamma=1.6$ و $S=3$ نتیجه داده

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-14]

است. در شکل(۱)، منحنی شدت همگن ایستا بر حسب پارامتر دمش (μ) رسم شده است و در آن، حالت دوپایایی بین نقاط **P** و **T** دیده می‌شود.



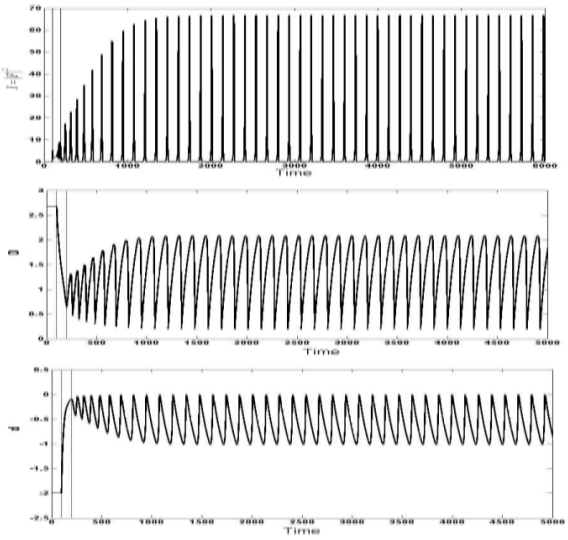
شکل ۱: منحنی شدت همگن ایستا (I_S) برحسب پارامتر دمش (μ) رسم شده است. منحنی بین نقطه P ,T حالت دوپایایی دارد.

۳- کلیدزنی سولیتون کاواک تپنده

برای بررسی رفتار دینامیک سیستم، معادلات (۱) از طریق روش گام مجزا و شبیه‌سازی عددی حل گردید. حل دینامیکی معادلات فضا بصورت گسسته دو بعدی شامل (128×128) خانه درنظر گرفته شد. با تکرار مباحثی که مطرح گردید، ابتدا برای شروع کار، یک سولیتون کاواک تپنده در صفحه عرضی کاواک ایجاد گردید. به منظور نوشتن سولیتون کاوک تپنده، با انتخاب مقادیر $\mu=3.4$، $r=0.97$ و با اعمال یک پرتو نویسنده با توزیع شدت گاوسی بصورت:

$$F_{inj}(x,y)=F_0^{i\varphi 0}e^{[-(x-x_0)^2-(y-y_0)^2/2w^2}\qquad (۲)$$

با دامنه، $F_0=5$، و پهنای، $\omega=2$ ، و فاز، $\varphi_0=0$، به نقطه، $(x_0=0,y_0=0)$، در مدت زمان، $t_{inj}=100$ ، یک سولیتون کاواک تپنده در مرکز صفحه عرضی کاواک نوشته شده است. به ازای این مقدار از $r=0.97$ و با این مقادیر برای پارامترهای دیگر سیستم، فقط امکان تولید سولیتون کاواک تپنده وجود دارد. شکل (۲) دینامیک شدت میدان الکتریکی $|F|^2$، جمعیت حاملین در محیط فعال D و جاذب اشباع پذیر d را در فرآیند نوشتن سولیتون کاواک تپنده نشان داده است. هدف اصلی، حرکت کنترل شده این سولیتون کاواک تپنده در امتداد مشخص در بین نقاط مورد نظر در صفحه عرضی کاواک است بنابراین تلاش شده است، با تزریق ناهمدوس این عمل نشان داده شود.



شکل۲: به ترتیب از بالا به پایین دینامیک شدت میدان الکتریکی($|F|^2$) جمعیت حاملین در محیط بهره(D) و جمعیت حاملین در محیط جاذب اشباع پذیر(d) در فرایند نوشتن سولیتون کاواک تپنده رسم شده است. دو خط عمودی در نقاط ۱۰۰و۲۰۰ واحد زمانی، بازه زمانی تزریق باریکه نویسنده گاوسی را نشان می‌دهد.

۴- حرکت کنترل شده سولیتون کاواک تپنده

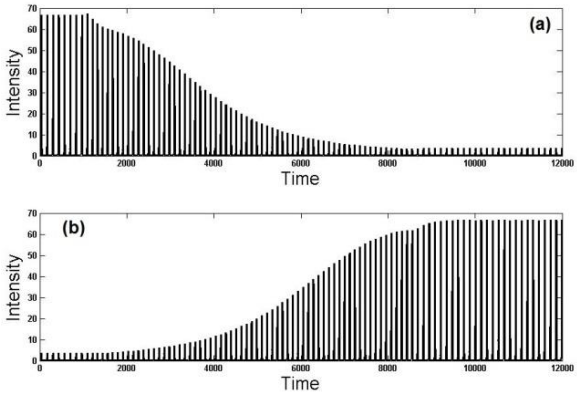
در این بخش هدف، حرکت دادن سولیتون کاواک تپنده از مکان اولیه (0,0) به مکان دلخواه با تزریق باریکه ناهمدوس مناسب در نزدیکی سولیتون کاواک تپنده مورد نظر است. در این حالت، برای شبیه سازی حرکت سولیتون کاواک تپنده در صفحه عرضی VCSEL، پارامتر دمش هموژن، μ_0، با یک پرتو گاوسی بصورت زیر بر هم نهی شده است:

$$\mu_{inj}(x,y)=\mu_0+\eta e^{[-(x-x_0)^2-(y-y_0)^2]/w^2}\qquad (۳)$$

که جمله دوم در سمت راست، تزریق یک پالس گاوسی جریان دمش با دامنه، η، پهنای، ω، را در نقطه، (x_0,y_0)، برای مدت زمان، t_{inj}، را نشان می‌دهد. تزریق ناهمدوس در واقع تزریق حاملین اضافی در نقطه

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-14]

تزریق است. شبیه سازی انجام شده، نشان می‌دهد که پالس گاوسی جریان با انتخاب $\mu_0 = 3.4$ و با دامنه تزریق $\eta = 0.02$ و پهنای $\omega = 3$ به مدت $t_{inj} = 7500$ واحد زمانی در مکان $(10,0)$ تزریق شده است. بعد از اعمال تزریق، در محل تزریق، تجمعی از حاملین بصورت یک قله ایجاد می‌شود. در محل سولیتون کاواک تپنده نیز یک گودال در جمعیت حاملین شکل گرفته است. اندرکنش دفع کننده بین این دو قله و گودال در جمعیت حاملین سبب حرکت سولیتون کاواک تپنده شده است. با افزایش فاصله بین محل تزریق و مکان اولیه سولیتون کاواک، برای انتقال سولیتون کاواک به تزریق قویتری نیاز است. شکل (۳)، تحول زمانی شدت میدان الکتریکی در طی فرایند حرکت کنترل شده سولیتون کاواک تپنده در مکان اولیه سولیتون کاواک $(10,0)$ و مکان نهایی سولیتون کاواک تپنده $(0,-10)$ نشان داده شده است. دامنه شدت میدان الکتریکی سولیتون کاواک تپنده در شکل ۳ نشان می‌دهد سولیتون بعد حدود ۹۰۰۰ واحد زمانی به محل جدید $(0,-10)$ رسیده است. سرعت حرکت سولیتون کاواک تپنده در این حالت حدودا سه برابر حرکت تحت تزریق نیمه همدوس است.



شکل۳: تحول زمانی شدت میدان الکتریکی در طی فرایند حرکت کنترل شده سولیتون کاواک تپنده، در a) مکان اولیه سولیتون کاواک $(10,0)$ و b) مکان نهایی سولیتون کاواک تپنده $(0,-10)$ نشان داده شده است.

۵- نتیجه‌گیری

با استفاده از شبیه‌سازیهای عددی نشان داده شده است که با استفاده از تزریق ناهمدوس در فاصله مناسب از سولیتون کاواک تپنده و انتخاب مقادیر مناسب برای پارامترهای پالس تزریقی و سیستم، امکان حرکت کنترل شده مکانی سولیتون تپنده از نقطه اولیه به نقطه مورد نظر تزریق در صفحه عرضی کاواک وجود دارد. نکته قابل توجه اینکه، حرکت سولیتون تپنده در حالت تزریق ناهمدوس خیلی سریعتر نسبت به حالت تزریق نیمه همدوس است.

۶- مراجع

[1] L. A. Lugiato. “Introduction to the feature section on cavity solitons: An overview” IEEE J. Quantum Electron. **39** (2003) 193.

[2] Y.S.Kivshar, G.I. Stegman, Spatial optical solitons, IEEE J.Quant. Electron 13,59 (2002)

[3] S. Babland, J.R. Tredicce, M. Brambilla, L.A. Lugiato, S. Balle, M. Giudici, T. Mggipinto, L.Spinelli, G.Tissoni, T.Knodl, M. Miller, and R. Jager, “cavity solitons as pixels in semiconductor Microresonators”, Nature, vol.**419** (2002) 669-702

[4] L.Spinelli, G. Tissoni, M. Brambilla, F. Prati, AND L. A. Lugiato,Spatial solitons in semiconductor microcavities, Phys, Rev, A 58, 2542 (1998).

[5] Y. Tanguy, T. Ackemann and W.J. Firth, Realization of a semiconductor-based Cavity Soliton Laser, Phys, Rev, Lett, 100, 013907 (2008).

[6] F. Prati, , P. Caccia, , G. Tissoni, , L. A. Lugiato, , K. Aghdami, and H. Tajalli, “Effects of carrier radiative recombination on a VCSEL-based cavity soliton laser” Appl. Phys. B: Lasers Opt. **88** (2007.) 405.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-14]