بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

انتشار سالیتون‌های تاریک در حضور پراکندگی رامان درون پالسی

رویا عطارزاده[۱]، محسن حاتمی[۲] ، عبدالرسول قرائتی[۳] و آزاده زیرراهی [۳]

[۱] دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بهبهان، باشگاه پژوهشگران جوان، بهبهان، ایران

[۲] دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شیراز

[۳] گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور شیراز

چکیده - انتشار سالیتون‌های تاریک در سیستم‌های فیبرنوری در حضور پراکندگی رامان درون پالسی را با استفاده از شبیه‌سازی عددی بررسی کرده‌ایم. فیلتر نازک باند و بهره غیرخطی برای کنترل جابجایی خودفرکانسی و ناپایداری پس‌زمینه استفاده می‌شود. نشان می-دهیم که، با استفاده از فیلتر نازک باند و بهره غیرخطی می‌توان انتشار سالیتون‌های تاریک پایدار را در سیستم‌های فیبر نوری در حضور پراکندگی رامان درون پالسی تحقق بخشید.

کلید واژه- سالیتون های تاریک، پراکندگی رامان درون پالسی.

Dark soliton propagation in the presence of intrapulse Raman scattering

Roya Attarzadeh[1], Mohsen Hatami [2], Abdolrasoul Gharaati[3] and Azadeh Zirrahi[3]
[1]Young Researchers Club, Behbahan Branch, Islamic Azad University, Behbahan, Iran
[2]Physics Department, School of science, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran
[3]Department of Physics, Science and Research Branch, payame noor University,Fars, Iran

Abstract- The propagation of dark solitons in fiber-optic systems in the presence of intrapulse Raman scattering is investigated by numerical simulation. Narrowband filtering and nonlinear gain are used to control the self-frequency shift and the background instability. We show that, using narrowband filtering and nonlinear gain, stable dark solitons propagation can be realized in fiber optic systems in the presence of intrapulse Raman scattering.

Keywords: Dark solitons, Intrapulse Raman scatterig.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]

۱- مقدمه

در حالت کاربردی، هنگامی‌که پالس‌های نوری فوق کوتاه درون فیبر منتشر می‌شوند، با انواع زیادی اختلال از جمله پاشندگی مرتبه سوم، خودسرازیری و اثر جابجایی خودفرکانس سالیتون (SSFS) مواجه می‌شوند که لازم است این اثرات شناخته و جبران شوند [۱].

پدیده SSFS یک خودالقایی تغییر رنگ قرمز در طیف است که ناشی از پراکندگی رامان درون پالسی (IRS) می‌باشد. SSFS اثری مخرب بر سیستم‌های ارتباطی نوری دارد و منجر به ناپایداری سالیتون می‌شود [۱-۳]. در این مقاله، امکان دست‌یابی به انتشار پایدار سالیتون-های تاریک فوق کوتاه تحت تاثیر اثر SSFS را مورد تحقیق قرار می‌دهیم. فیلتر نازک باند و بهره غیرخطی به منظور کاهش تغییر فرکانس به سیستم اضافه شده‌است تا ناپایداری پس‌زمینه را کنترل کنیم [۴-۷].

۲- نظریه

معادله شرودینگر غیرخطی اختلالی (NLSE) که انتشار سالیتون‌های تاریک تحت اثر پراکندگی رامان درون پالسی و بهره غیرخطی همراه با بهره خطی و فیلتر طیفی را توصیف می‌کند توسط

$$i\frac{\partial u}{\partial Z}+\frac{1}{2}\frac{\partial u^2}{\partial T^2}+|u|^2u=i\delta u+i\beta\frac{\partial u^2}{\partial T^2}+ i\varepsilon|u|^2u+i\mu|u|^4u+u\frac{\partial|u|^2}{\partial T}\tau_R \qquad (۱)$$

داده شده‌است.

که در آن Z فاصله انتشار نرمال، T زمان تاخیری، u پوش بهنجار میدان الکتریکی، δ بهره‌خطی یا ضریب اتلاف می‌باشد، ε فرآیندهای بهره جذب غیرخطی را بیان می‌کند، μ نشان دهنده تصحیح مرتبه بالاتر بهره جذب غیرخطی و τ_R ضریب مربوط به پراکندگی رامان درون پالسی می‌باشد β. نیز به‌عنوان فیلتر طیفی می‌باشد زیرا استفاده همزمان از فیلتر نازک باند $(\beta \succ 0)$ و بهره غیرخطی باعث به وجود آمدن جواب‌های پایدار سالیتون در فاصله‌های طولانی می‌شود.

با فرض این که تمام ضرایب سمت راست معادله (۱) کوچک هستند، می‌توانیم از نظریه اختلال سالیتون آدیاباتیک برای به‌دست آوردن تحول دینامیکی پارامترهای سالیتونی، دامنه η و فرکانس ω، استفاده کنیم [۸،۹]. جواب سالیتون تاریک به‌صورت

$$u(\xi,\tau)=\eta(\xi)tanh[\eta(\xi)(\tau-q(\xi)]\, exp[i\varphi(\xi)-i\omega(\xi)\tau] \qquad (۲)$$

داده شده‌است.

با استفاده از روش اختلال، زیرمجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل معمولی را به‌دست می‌آوریم:

$$\frac{d\eta}{d\xi}=18\delta\eta-\frac{4}{3}\beta\eta^3-9\beta\eta\omega^2+\frac{52}{3}\varepsilon\eta^3+\frac{254}{15}\mu\eta^5 \qquad (۳)$$

$$\frac{d\omega}{d\xi}=\frac{4}{3}\beta\eta^2\varphi+\frac{4}{5}\tau_R\eta^4 \qquad (۴)$$

جواب‌های حالت پایدار از معادله (۳) و (۴) با توجه به $\frac{d\eta}{d\xi}=\frac{d\omega}{d\xi}=0$ به دست می‌آیند و شرایط

$$18\delta-9\beta\omega^2+\frac{1}{3}\eta^2(-4\beta+52\varepsilon)+\frac{254}{15}\mu\eta^4=0 \qquad (۵)$$

$$\frac{1}{3}\beta\omega+\frac{1}{5}\tau_R\eta^2=0 \qquad (۶)$$

را ارضا می‌کنند.

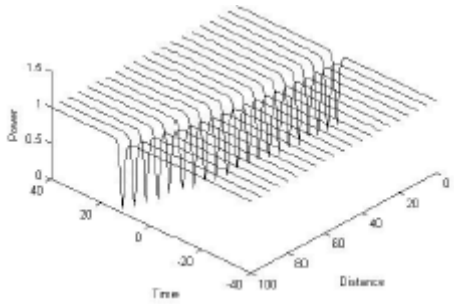
۲-۱- مورد $\delta=\beta=\varepsilon=\mu=0$

درصورت عدم وجود هرگونه مکانیزم کنترل، با توجه به روابط (۳) و (۴) دامنه سالیتون ثابت می‌ماند، اما تغییر فرکانس با توجه به $\omega(Z)=\frac{4}{5}\tau_R\eta^4Z+\omega(0)$ متناسب با توان چهارم دامنه سالیتون می‌باشد.

شکل ۱ انتشار پالس با استفاده از حل عددی معادله (۱) و $\delta=\beta=\varepsilon=\mu=0$ و $\tau_R=0.01$ و با در نظر گرفتن پالس ورودی داده شده به-

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]

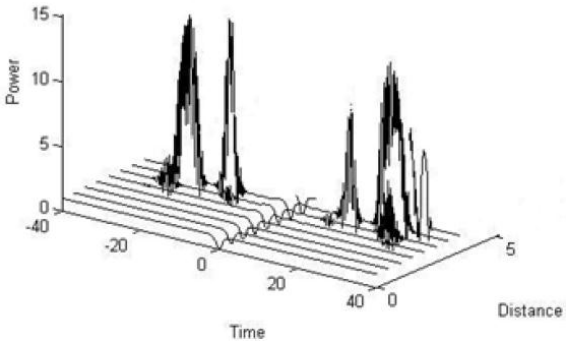
صورت $u(0,T)=tanh(T)$ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل تایید می‌کنیم که دامنه پالس ثابت می‌ماند.



شکل ۱: انتشار سالیتون هنگامی‌که $\delta=\beta=\varepsilon=\mu=0$ و $\tau_R=0.01$

۲-۲- مورد $\delta\neq0$, $\beta\neq0$, $\varepsilon=\mu=0$

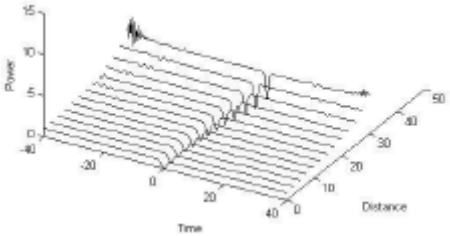
در حضور فیلترینگ طیفی ($\delta\neq0$, $\beta\neq0$) و در غیاب بهره غیرخطی $(\varepsilon=\mu=0)$، و با فرض مقدار پارامترهای $\beta=0.1$ $\tau_R=0.025$, و $\delta=0.0343$ جواب تعادلی با توجه به روابط (۳) و (۴) به‌صورت نزولی می‌باشد، که منجر به ناپایداری پس‌زمینه و در نهایت به فروپاشی پالس سالیتونی می‌شود. شکل ۲ این نتیجه را تایید می‌کند.



شکل ۲: انتشار سالیتون هنگامی‌که $\delta=0.0343$ ، $\tau_R=0.025$، $\beta=0.1$ و $(\varepsilon=\mu=0)$.

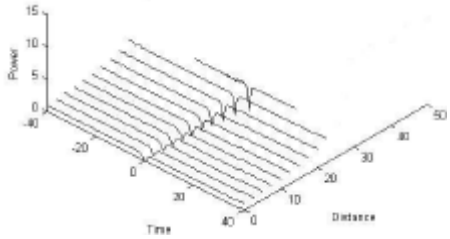
۲-۳- مورد $\mu=0$ ، $\delta\neq0$، $\varepsilon\neq0$, $\beta\neq0$

در این حالت جواب پایدار است. شکل ۳ این واقعیت را با استفاده از حل عددی و مقادیر پارامترهای $\delta=0.0025$, $\beta=0.025$, $\tau_R=0.025$ و $\varepsilon=0.01475$ تایید می‌کند. اما در این مورد نیز ناپایداری پس‌زمینه ایجاد خواهد شد.



شکل ۳: انتشار سالیتون هنگامی‌که $\tau_R=0.025$, $\beta=0.025$, $\delta=0.0025$ و $\varepsilon=0.01475$ و $\mu=0$

تنها درصورتی که بهره خطی δ منفی باشد می‌توان از ناپایداری پس‌زمینه اجتناب کرد. به‌عنوان مثال، با توجه به مقادیر پارامترهای $\beta=0.025$, $\tau_R=0.025$ و $\delta=0.0025$, $\varepsilon=0.0147$, و $\mu=0$ پایداری در شکل ۴ با استفاده از حل عددی نشان داده شده‌است. تایید می‌کنیم که در این حالت ناپایداری پس‌زمینه به‌طور موثری از بین رفته است. امکان پذیر بودن پالس پایدار در یک پس‌زمینه پایدار با حضور اثر IRS نتیجه جالبی است.



شکل۴: انتشار سالیتون هنگامی‌که $\beta=0.025$ ، $\tau_R=0.025$ ، $\delta=0.0025$ ، $\varepsilon=0.0147$ و $\mu=0$

۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله ما انتشار سالیتون‌های تاریک فوق کوتاه در سیستم‌های فیبر نوری در حضور اثر پراکندگی رامان درون پالسی را بررسی کرده‌ایم. فیلتر نازک باند برای کنترل جابجایی خودفرکانسی استفاده شد. سیستم را با استفاده از تئوری اختلال سالیتون آنالیز کردیم و همچنین شرایط ایجاد سالیتون پایدار را به‌دست آوردیم. نتایج تحلیلی با حل عددی معادله انتشار تایید شدند. نشان‌دادیم انتشار سالیتون تاریک پایدار در سیستم‌های فیبر نوری در حضور جابجایی خود فرکانسی تحقق پیدا می‌کند. نتایج به‌دست آمده برای سیستم‌های مخابراتی سالیتونی و برای فیبرهای لیزری سالیتون مهم هستند.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]

مراجع

[1] G. P. Agrawal, "*Nonlinear Fiber Optics*", 3rd edition, Academic Press, California, USA, 2001.

[2] K. Porsezian, V.C. Kuriakose, "*Optical Solitons – Theoretical and Experimental Challenges*", springer, Berlin, 2003.

[3] B. E. A. Saleh, M. C. Teich, "*Fundementals of Photonics*" 2nd edition, 2007.

[4] W. Boyd Rbert, "*Nonlinear Optics*",3rd edition, Academic Press, New York, October 2007.

[5] M.F. Ferreira, M.V. Facao, S.C. Latas, "*Fiber Integrated*", Opt. 19, 31, 2000.

[6] S. C. V. Latas, M. F. S. Ferreira, "*Soliton propagation in the presence of intrapulse Raman scattering and nonlinear gain*", Optics Communications, vol. 251, 2005.

[7] H. Tian, Z. Li, Z. Xu, J. Tian, G. Zhou, J. Opt. Soc. Am. 2003.

[8] A. Hasegawa, Y. Kodama, "*Solitons in Optical Communications*", Clarendon Press, Oxford, 1995.

[9] V.I. Karpman, V.V. Solov_ev, **Physica D 3** , p.487, 1981.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]