بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰

شبیه سازی سالیتون روشن در فیبرهای نوری

سعید میرزایی

کارشناس ارشد مهندسی فتونیک و دانشجو ارشد مهندسی برق مخابرات

چکیده –در این مقاله اثرات غیرخطی، پاشندگی و نحوه تشکیل سالیتون روشن در فیبرهای نوری مطالعه شده است و همچنین با استفاده از نرم افزار Optisystem شبیه سازی سالیتون روشن انجام شده است. در شبیه سازی از فیبر تک مد SMF و سیستم نوری 40GB/S استفاده شده است . با استفاده از نرم افزار Optisystem می‌توان اثرات غیرخطی ، پاشندگی، طول فیبر و همچنین سطح موثر فیبر را تنظیم کرد.

کلید واژه- اثرات غیرخطی، سالیتون روشن، فیبر نوری ،Optisystem

Simulation of bright soliton in optical fiber

Saeid mirzaei

Master of engineering photonics and master of telecommunication electrical engineering

Abstract- In this paper, has been studied the nonlinear and dispersion effects in the optical fiber and also the bright soliton is simulated using the Optisystem software. In the configuration of simulation setup is used from the single mode fiber (SMF) and optical system. We can adjust the nonlinear and dispersion effects and the fiber length and also the effective area

Keywords: nonlinear effects, bright soliton, optical fiber, Optisystem

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

مقدمه

امروزه گسترش ارتباطات و راحتی انتقال اطلاعات از طریق شبکه‌های مخابرات نوری به بخشی جدا ناشندنی از سیستم‌های ارتباطی جهان تبدیل شده است. سرعت بسیار بالا در انتقال اطلاعات و امنیت مناسب شبکه دو ویژگی خاص شبکه‌های مخابراتی نوری هستند. این نوع شبکه‌ها از ادوات مختلفی تشکیل شده‌اند، مانند: تقویت کننده‌ها، مدولاتورها، فیبرهای نوری.

سالیتون‌های نوری به امواجی گفته می‌شود که ضمن انتشار، شکل خود را حفظ می‌کنند و دچار اعوجاج نمی‌شوند. سالیتون‌ها در نتیجه خنثی‌سازی آثار غیرخطی و پاشندگی در محیط به‌وجود می‌آیند. واژه‌ی سالیتون در سال 1965 برای نشان دادن ماهیت ذره‌گونه‌ی طیف گسترده‌ای از این امواج، به نام امواج سالیتاری، به کار رفت که حتی پس از برخورد با یکدیگر نیز بدون تغییر می‌مانند و این همان خاصیت ذره‌گونه‌ی سالیتون‌هاست.

سالیتون‌های نوری را می‌توان چندین کیلومتر در فیبر نوری هدایت کرد. ثابت ماندن شکل و پهنای این امواج کمک می‌کند تا بتوان از سالیتون‌ها برای انتقال داده‌های دیجیتالی استفاده کرد .

در سال ۱۹۷۳، Akira Hasegawa اولین کسی بود که پیش بینی کرد، می‌توان در فیبرها با ایجاد تعادل مدولاسیون خود فازی (SPM) و پاشندگی سرعت گروه (GVD)، سالیتون ایجاد کرد. در سال ۱۹۸۰ سالیتون به طور آزمایشگاهی مشاهده شد[۱]. در سال ۱۹۸۸، Linn mollenaue و تیمش با استفاده از اثر رامان پالس‌های سالیتون را در فاصله‌ای بیش از ۴۰۰۰ کیلومتر انتقال دادند. سه سال بعد، تیم تحقیقاتی بِل بااستفاده از فیبر نوری اِربیِّم (Erbium)، سالیتون‌ها را بدون خطا در نرخ بیت حدود ۲,۵ Gb/s در فاصله‌ای بیش از ۱۴۰۰۰ کیلومتر انتقال دادند. در همین سال‌ها سالیتون‌ها در عرصه وسیعی از کاربردهای اپتیکی همچون لیزرهای فیبری مُد قفل شده، سیستم‌های مخابرات نوری، تکنیک‌های فشرده‌سازی پالس، سوئیچ‌های اپتیکی و دروازه‌های منطقی اپتیکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند[۲].

اثرات غیر خطی

پاسخ هر دی‌الکتریکی به نور برای میدان‌های شدید الکترومغناطیسی غیرخطی است. رابطه‌ی قطبش (P) و میدان الکتریکی (E) غیرخطی است که با توجه رابطه‌ی زیر نمایش داده می‌شود:

$$p \propto \chi E^3 \qquad (۱)$$

این از آنجایی که فیبرهای نوری دارای تقارن مرکزی‌اند، لذا جمله غیرخطی غالبا از مرتبه سوم است که اثر کِر را می‌توان از آن نتیجه گرفت.

در اثر کِر، ضریب شکست وابسته به شدت می‌باشد که معادله‌ی آن به صورت زیر نمایش داده شده است:

$$n(I) = n_0 + n_2 \frac{P}{A_{eff}} \qquad (۲)$$

در رابطه‌ی فوق، n_2 را ضریب ثابت کِر می‌نامند، همچنین معادله‌ی (۲) نشان می‌دهد که با مینیمم کردن توان P و ماکزیمم کردن ناحیه‌ی سطح موثر فیبر A_{eff}، می‌توان آثار غیر خطی را از بین برد. افزایش سطح مقطع موثر به نسبت کاهش توان راه مرسوم در طراحی فیبرهای نوری می‌باشد [۳].

پاشندگی

وابستگی ضریب شکست به فرکانس، مشخصه‌ی محیط پاشنده است. در این محیط موج‌هایی با فرکانس مختلف، با سرعت‌های متفاوتی حرکت می‌کنند، بنابراین مولفه‌های فرکانسی یک پالس نوری در عبور از یک محیط پاشنده، سرعت‌های متفاوتی به خود می‌گیرند.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

اگر سرعت گروه از سرعت فاز کمتر باشد، محیط دارای پاشندگی نرمال می‌باشد، درحالی‌که در محیط با پاشندگی غیرنرمال، سرعت فاز کمتر از سرعت گروه است[۴].

معادله حاکم بر سالیتون روشن

در این مرحله با در نظر گرفتن هر دو اثر پاشندگی و اثر غیرخطی و همچنین با اعمال تغییر متغیرها، معادله‌ی شرودینگر غیرخطی برای سالیتون روشن به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$\xi = \frac{z}{L_D},\quad N^2 = \frac{L_D}{L_{NL}},\quad L_D = \frac{T_0^2}{|\beta_2|},\quad L_{NL} = \frac{1}{\gamma P_0} \qquad (۳)$$

در رابطه‌ی(۳)، P_0 توان اولیه‌ی پالس، β_2 پارامتر پاشندگی سرعت گروه، γ ضریب غیرخطی، L_D طول پاشندگی، L_{NL} طول غیرخطی و N مرتبه‌ی سالیتون نامیده می‌شوند. با در نظر گرفتن N=1، سالیتون مرتبه‌ی اول داریم.

$$-i\frac{\partial u}{\partial \xi} = \frac{1}{2}\frac{\partial^2 u}{\partial \xi^2} + N^2|u|^2 u \qquad (۴)$$

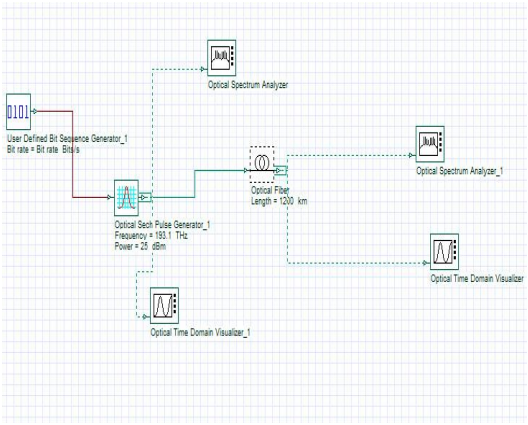
جواب معادله‌ی (۴) به صورت :

$$u(\xi,\tau) = N\,\mathrm{sech}(\tau)\exp(i\xi/2) \qquad (۵)$$

برای تشکیل سالیتون طول فیبر باید خیلی بزرگ‌تر از طول پاشندگی و طول غیرخطی در نظر گرفته شود $L \succ\succ L_{NL}$ و $L \succ\succ L_D$ [۵].

شبیه سازی

شکل (۱)، پیکربندی شبیه‌سازی سالیتون روشن با استفاده از نرم افزار Optisystem را نشان می‌دهد.



شکل ۱: شبیه سازی سالیتون روشن با استفاده از نرم افزار optisystem

پارامترهای شبیه سازی

Frequency: ۱۹۳/۱ THz

Power: ۲۵ dB

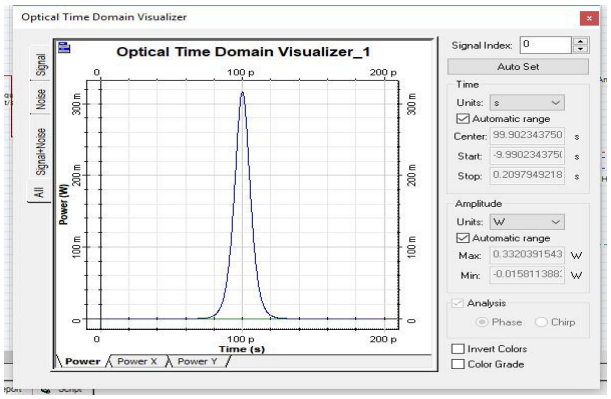
Length: ۱۲۰۰ km

$n_2 = 2.6\times10^{-20}(m^2/W)$

$A_{eff} = 80(\mu m^2)$

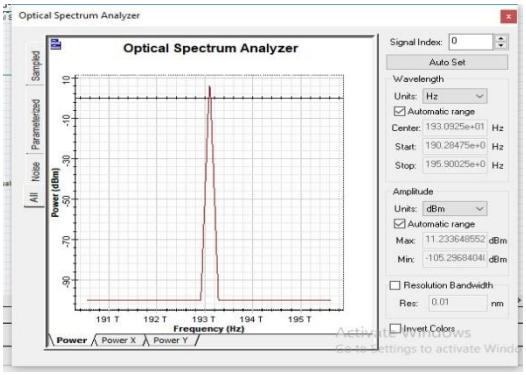
نتایج

در این بخش نمودارهای مربوط به شبیه سازی سالیتون روشن با استفاده از Optical Time Domain Visualize و Optical Spectrum Analyzer قبل و بعد از عبور از فیبر نشان داده شده است.

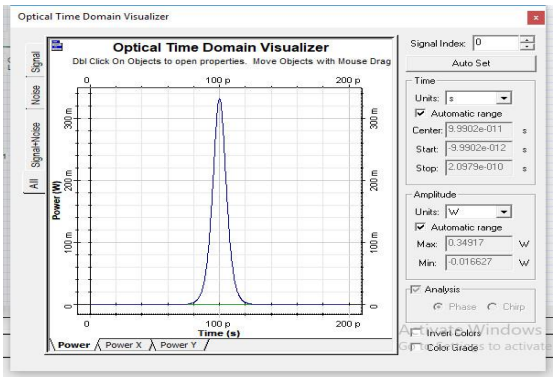


شکل ۲: Optical Time Domain Visualizer قبل از عبور فیبر

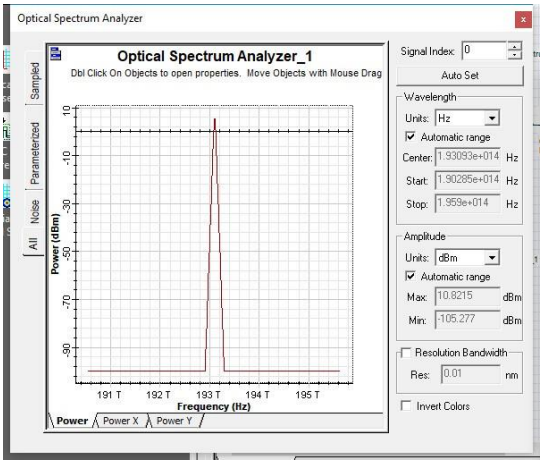
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]



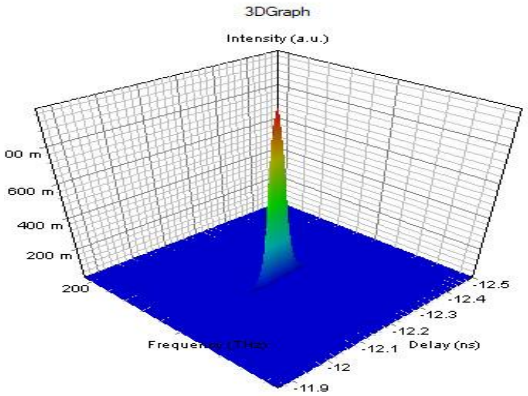
شکل ۳: Optical Spectrum Analyzer قبل از عبور فیبر



شکل ۴: Optical Time Domain Visualizer بعد از عبور فیبر



شکل ۵: Optical Spectrum Analyzer بعد از عبور فیبر



شکل ۶ : حالت سه بعدی Optical Time Domain Visualizer بعد از عبور فیبر

نتیجه

اگر یک پالس Sech وارد فیبر نوری با طول $1200km$ شود، انتظار می‌رود که شکل اولیه‌ی پالس تغییر کند. با تنظیم پارامترهای پاشندگی، اثرات غیرخطی و هچنین توان پالس در نرم‌افزار Optisystem، این امکان فراهم می‌شود تا تعادلی بین پاشندگی سرعت گروه و اثرات غیرخطی کِر برای تولید سالیتون روشن ایجاد شود.

مرجع‌ها

[1] Robert .The super continuum Laser Source, 2016.

[2] M. J. Beesley, Lasers and their applications, London, 1976.

[3] Robert W. Boyd, Nonlinear Optics, second edition.

[۴] محمد محمودی، *فراتر از سرعت نور*، انتشارات دانشگاه زنجان، ۱۳۹۵.

[5] H. Hasegawa. And Y. Kodama, Soliton in optical communications, Oxford University press, New York,19950

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]