





پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی
گروه فوتونیک

پایان نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته
فوتونیک گرایش مخابرات

عنوان :

بررسی سالیتهای کاواک گسسته در آرایه یک بعدی از
کاواک های جفت شده در حضور نقص در محیط کر

استاد راهنما
دکتر رضا خردمند

استاد راهنما
کیوان محمود اقدمی

پژوهشگر
آرزو رنجی علیشاه

نام خانوادگی دانشجو: رنجی علিশاه	نام: آرزو
عنوان پایاننامه: بررسی سالیتهای کاواک گسسته در آرایه یک بعدی از کاواک های جفت شده در حضور نقص در محیط کر	
استاد راهنما: دکتر رضا خردمند	
استاد راهنما: دکتر کیوان محمود اقدمی	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: فوتونیک
مقطع تحصیلی: فیزیک کاربردی و ستاره شناسی	گرایش: مخابرات
تعداد صفحه: 96	تاریخ فارغ التحصیلی: بهمن 92
کلیدواژه‌ها: سالیتون، سالیتون، کاواک گسسته، غیر خطیت کر، نقص	
<p>چکیده: اخیراً مطالعه دینامیک غیرخطی در سیستم‌های گسسته، به علت خواص فیزیکی جدید و کاربردهای جالب آن، مورد توجه قرار گرفته است، خصوصاً که سیستم گسسته نوری که در آن ضریب شکست محیط به صورت گسسته و تناوبی در راستای عرضی تغییر می‌کند (مانند آرایه موجبرهای نوری) توانایی پشتیبانی از انواع مدهای جایگزیده فضایی در تشکیل سالیتهای گسسته دارد. اگر به ابتدا و انتهای آرایه‌های موجبری آینه اضافه شود، آرایه‌ای از کاواک‌های جفت شده بوجود می‌آید که انعکاس نور از این آینه‌ها باعث می‌شود با خم شدن راه نوری برهم کنش نور با محیط غیرخطی بیشتر شود. نتیجه این فرایند ظهور نوع جدیدی از سالیتهای موسوم به سالیتهای کاواک گسسته است در توان‌های پایین حاصل می‌شود. با درج نقص‌های مناسب در این آرایه موجبری قابلیت کنترل بر سالیتهای افزایش می‌یابد، که این موضوع به صورت تئوری و به صورت تجربی برای آرایه موجبرها بررسی شده است. در این پایان نامه به معرفی و شبیه سازی سالیتهای کاواک گسسته در آرایه‌ی یک بعدی از کاواک‌های جفت شده با غیرخطیت کر در حضور نقص پرداخته شده است. بدین صورت که با اعمال بر روی نقص پارامترهای ضریب غیرخطیت، نامیزانی کاواک و ضریب جفت‌شدگی در دو حالت نقص سطحی و نقص میانی، انتشار نور در آرایه‌ای از کاواک‌های جفت شده یک بعدی مورد بررسی قرار می‌گیرد. با معرفی معادله حاکم بر سیستم و محاسبه جواب‌های جواب‌های همگن، دوپایایی و نواحی ناپایداری مدولاسیون آن بررسی شده و ناحیه وجودی جواب‌های ناهمگن سیستم که همان</p>	

جواب‌های سالیته‌نی هستند بدست آمده و پایداری آن‌ها در طول زمان بررسی شده است. همچنین نمایه دامنه سالیته‌ن‌های نقص و غیر نقص نمایش داده شده است.

Surname: Ranji Alishah**Name:** Arezoo**Title:** Discrete cavity solitons in 1_D Array of coupled cavities with defect in Kerr nonlinear regimes**Supervisor :** Dr. Reza Kheradmand**Supervisor:** Dr. Keivan Mahmoud Aghdami**Degree:** Master of Science**Major:** Photonics**Field:** Telecommunication**University:** University of Tabriz**Faculty:** Applied Physics and astronomy**Graduation date:** January 2014**Pages:** 97**Keywords:** Soliton, Discerte cavity soliton, Kerr nonlinear, Defect.

Abstract : In continuous light systems there are new physics phenomena that are created because of nonlinear phenomenon of environment and continuous systems. For example, we can control diffraction of light beam with choosing appropriate condition and make self-trapped localized beams named as solitons. Characteristics of discrete soliton are significantly different from similar solitons in continuous system. As an example, in this system, there is the possibility of observing dark and bright soliton together. In contrary, this is not possible in continuous systems. If all of paired cavities are not homogenius in a way that with, distance or linear refractive index of waveguides are different then the array would be defective. In this project, production of discrete cavity soliton is carried out through holding beam to the end of array with defect in Kerr nonlinear regims. To do this, first optical bibtability of system and modulation instability is studied. In order to make appropriate parametric quantitiea necessary for soliton and then dynamic behavior of them are studied.

عنوان پایاننامه

بررسی سالیتهای کاواک گسسته
در آرایه یک بعدی از کاواک
های جفت شده در حضور نقص در
محیط کر

فهرست مطالب

XV	مقدمه
18	1- فصل اول: بررسی منابع (مبانی نظری و پیشینه تحقیق)
18	1-1 سالیتون ¹
19	1-1-1 سالیتونهای نوری زمانی
20	2-1-1 سالیتونهای نوری فضایی
24	2-1 پدیده های غیرخطی نور
24	1-2-1 ضریب شکست وابسته به شدت
26	2-2-1 خودکانونی نوری
28	3-2-1 طرحواره های نوری
29	4-2-1 دوپایایی نوری
30	5-2-1 سیستم نوری گسسته
31	6-2-1 آرایه های موجبری
33	7-2-1 پراش گسسته
35	8-2-1 خصوصیات غیر خطی و سالیتونهای گسسته
39	9-2-1 سالیتون متحرک
39	10-2-1 سالیتون کاواک گسسته
42	2- فصل دوم: مواد و روش تحقیق
42	1-2 جفت شدگی غیرخطی دو موجبر
44	2-2 آرایه ای از موجبرهای جفت شده
45	3-2 آرایه ای از کاواکهای جفت شده با غیرخطیت کر
49	4-2 جوابهای ایستای همگن و تحلیل پایداری خطی آنها
51	5-2 جوابهای غیرهمگن و بررسی پایداری آنها

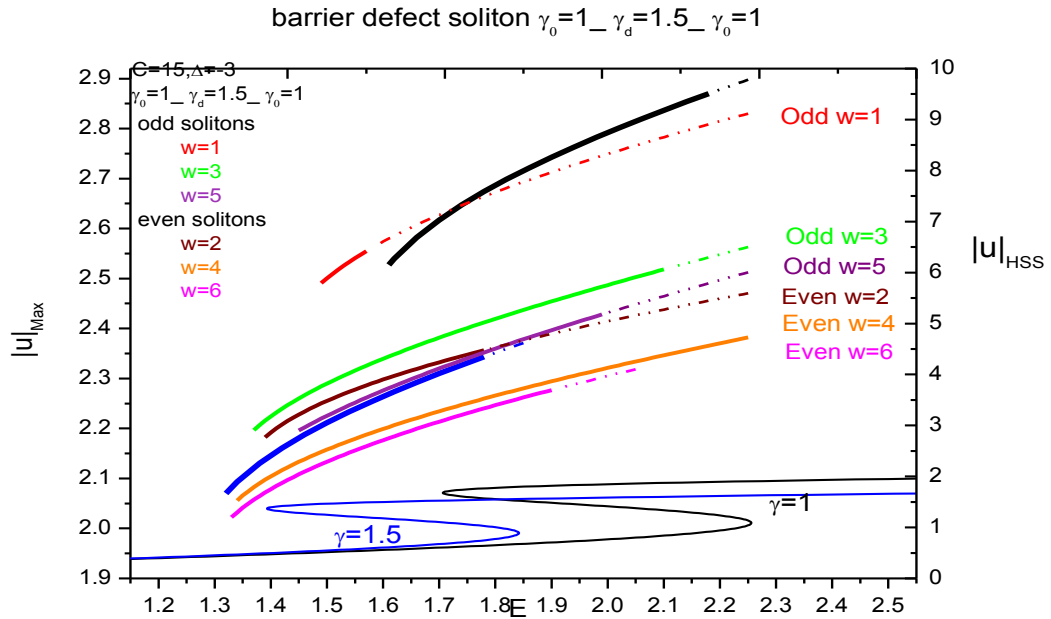
- 51 1-5-2 روش حل عددی نیوتن رافسون
- 53 2-5-2 حل معادلات جفت شده با استفاده از روش نیوتن-رافسون
- 55 3-5-2 تحلیل پایداری خطی جواب غیر همگن
- 56 6-2 روش شبیه سازی دینامیکی
- 56 1-6-2 روش اویلر در حل معادلات دیفرانسیل
- 57 7-2 روش رانگ-کوتا
- 61 3- فصل سوم: یافته های تحقیق، نتیجه گیری و پیشنهادات
- 61 1-3 بررسی معادله غیرخطی و دویپایائی جوابهای همگن
- 64 2-3 سالیتهنهای نقص کاواک گسسته
- 65 1-2-3 نقص سطحی گاما
- 72 2-2-3 نقص میانی گاما:
- 78 3-2-3 نقص سطحی دلتا:
- 79 4-2-3 نقص میانی دلتا:
- 84 5-2-3 نقص سطحی ضریب جفتشدگی:
- 86 6-2-3 نقص میانی ضریب جفتشدگی:
- 93 4- مراجع

فهرست شکلها

- شکل 1-1: کانال آب در اسکاتلند که اسکات راسل آزمایش خود را در آن انجام داد [1].....19
- شکل 1-2 (الف) انتشار نور در محیط خطی: پرتو نور در حین انتشار دچار پراش شده است. (ب) سالیتون فضایی [52].....22
- شکل 1-3 سالیتون های کاواک.....22
- شکل 1-4 آرایه ای از کاواک های جفت شده [38].....24
- شکل 1-5 (الف) خودکانونی نور (ب) خودگیراندازی نور [29].....26
- شکل 1-6 پیش بینی فاصله خودکانونی z_{sf} بوسیله اصل فرما. مسیر پرتوهای خم شده در داخل ماده غیرخطی به خطوط مستقیم شبیه هستند. [53].....27
- شکل 1-7 مقایسه اثر الف) پراش با (ب) پدیده خود کانونی.....28
- شکل 1-8 نمونه های از طرح های نوری الف) طرح شش گوشه (ب) لانه زنبوری [].....29
- شکل 1-9 منحنی ورودی بر حسب خروجی برای سیستم های دو پایا [].....30
- شکل 1-10 : آرایه ای از 75 موجبر جفت شده پلیمری.....31
- شکل 1-11 آریه های از موجبرهای جفت شده [].....32
- شکل 1-12 انتشار نور در سیستم خطی برای حالتی که فقط موجبر مرکزی برانگیخته شده است. شکل سمت چپ تغییرات شدت در موجبرها را نسبت به طول انتشار نشان میدهد و شکل سمت راست تغییرات توان در موجبر تحریک شده P_0 ، موجبر اول P_1 و موجبر دوم P_2 را نسبت به طول انتشار نشان میدهد [14].....33
- شکل 1-13: طرح پراشی گسسته مشاهده شده در خروجی نسبت به پهنای پرتو ورودی [].....33
- شکل 1-14 رابطه پراش گسسته: تغییرات بردار موج طولی به ازای تغییرات اختلاف فاز عرضی بین دو موجبر متوالی $\kappa = k_x d$ در ناحیه اول بریلون.....34
- شکل 1-15 پراش گسسته (سمت چپ)، شکل گیری سالیتون گسسته (سمت راست).....35

- شکل 1-16 توزیع میدان بر روی موجبرها به ازای سه توان ورودی مختلف با افزایش توان ورودی از بالا به پایین شاهد تشکیل سالیتون خواهیم بود [14]..... 36
- شکل 1-17 تغییرات توان در موجبر تحریک شده نسبت به طول انتشار به ازای 3 توان ورودی []..... 36
- شکل 1-18 توزیع عرضی میدان در موجبرها نسبت به توان ورودی []..... 37
- شکل 1-19 سالیتون تاریک و روشن گسسته در آرایهای از موجبرهای جفت شده []..... 38
- شکل 2-1: نمایش شماتیک از انتشار نور در دو موجبر جفت شده در شدتهای پایین و شدت بالا..... 42
- شکل 2-2: نمودار سمت چپ: توان باقیمانده در موجبر اول نسبت به طولی که نور داخل موجبر طی میکند به ازای سه توان ورودی مختلف، نمودار رنگ سیاه مربوط به رژیم خطی، رنگ قرمز مربوط به توان بحرانی و رنگ سبز برای توانهای بالای توان بحرانی. نمودار سمت راست وابستگی میزان توان باقیمانده در موجبر تحریک شده به توان ورودی را نشان میدهد..... 44
- شکل 2-3: آرایهای از موجبرهای جفت شده: خطوط سبز پراش گسسته به ازای توان کم را در آرایهی موجبری از جنس آلومینیوم گالیم آرسناید را نشان میدهد و خطی که با رنگ قرمز مشخص شده مربوط به نور جایگزیده در موجبر برانگیخته به ازای توان بالا است..... 45
- شکل 2-4: تفسیر شماتیکی فرمول بندی نیوتن-رافسون..... 52
- شکل 2-5: نمونه ای که روش نیوتن-رافسون از جواب صحیح دور می شود..... 53
- شکل 3-1: منحنی دوپایایی جوابهای همگن سیستم برای دامنه موج تخت به ازای دامنه پرتو نگهدارنده... 62
- شکل 3-2: ناحیه ناپایداری مدولاسیون جوابهای همگن در فضای پارامتری $q - |b|$ بقیه پارامترها..... 63
- شکل 3-3: منحنی دوپایایی، نقاطی که با خطچین نشان داده شده است نواحی ناپایداری به ازای $q = 0, Q = 0$ را نشان میدهد $\Delta = -3, C = 1$ 64
- شکل 3-4: منحنی دوپایایی مربوط به جوابهای همگن همراه شاخههای سالیتونی پایدار غیر نقص $\gamma = 1.5, \gamma = 1$. شاخه سالیتونی پایدار نقص سطحی پایدار $\gamma L = 1 - \gamma R = 1.5$ به ازای $\Delta = -3, C = 1$ 66
- شکل 3-5: نمایه دامنه سالیتون غیرنقص $\gamma = 1, \gamma = 1.5$ بترتیب با آبی و مشکی سالیتون نقص سطحی گاما $1.5 = \gamma L - \gamma R = 1$ که پیک شدت سالیتون الف) در ناحیه γR ب) در ناحیه γL قرار دارد..... 67

- شکل 3-6: منحنی دوپایایی مربوط به جوابهای همگن همراه شاخههای سالیتهونی غیرنقص با خطوط مشکی و آبی ($\gamma = 1, \gamma = 1.5$) و حالت نقص سطحی گاما $\gamma L = 1 - \gamma R = 1.5$. خطوط پر نواحی پایداری سالیتهون و خط چین نواحی ناپایدار، $C = 15$ 69
- شکل 3-7: نمایه دامنه سالیتهون عادی با خطوط مشکی و آبی ($\gamma = 1, \gamma = 1.5$) و سالیتهون نقص سطحی گاما ($\gamma L = 1 - \gamma R = 1.5$) که پیک شدت سالیتهون در ناحیه γR قرار دارد. $\Delta = -3, C = 15, E =$ 69
- شکل 3-8: مقایسه شاخه های سالیتهونی سیستم بدون نقص، $\gamma = 1$ و $\gamma = 1.5$ 70
- شکل 3-9: منحنی توان سیستم به ترتیب بازا ضرایب جفتشدگی $C = 1$ و $C = 15, C = 10, C = 7$ ، برای الف خطوط ضخیم برای $\gamma = 1$ و خطوط نازک برای $\gamma = 1.5$ ب خطوط ضخیم $\gamma = 1$ و خطوط نازک برای $\gamma = 1.1$ 71
- شکل 3-10: نمایه دامنه سالیتهون عادی $\gamma = 1.1$ بازا $C = 1$ با نماد - . - . نمایه دامنه سالیتهون نقص سطحی گاما $\gamma L = 1 - \gamma R = 1.1$ بازا $C = 1, C = 7, C = 10$ به ترتیب با رنگ مشکی، سبز و آبی در $E = 1.6$ 71
- شکل 3-11: منحنی مقدار ضریب جفتشدگی (C)، بازا γR . ناحیه سبز رنگ سالیتهون واقع در لبه ناحیه $\gamma L = 1$ ناحیه آبی سالیتهون نقص پایدار منتقل شده به γR . قسمت هاشور خورده سالیتهون نقص ناپایدار 72



- شکل 3-12: منحنی دوپایایی جوابهای همگن. شاخههای سالیونی غیرنقص $\gamma = 1.5$ و $\gamma = 1$ با خطوط آبی و مشکی. سالیونهای فرد نقص میانی گاما ($\gamma d = 1.5$) برای عرضهای نقص 1، 3، و 5 آرایه و سالیون زوج نقص برای عرض 2، 4، 6 آرایه. نقطهچین نواحی ناپایداری سالیون..... 74
- شکل 3-13: پروفایل دامنه سالیون عادی با منحنی آبی و مشکی به ترتیب برای $\gamma = 1.5$ و $\gamma = 1$. سالیون فرد نقص برای عرض نقص 5 آرایه ($w = 5$)، 3 آرایه ($w = 3$)، 1 آرایه ($w = 1$)..... 74
- شکل 3-14: پروفایل دامنه سالیون عادی با منحنی آبی و مشکی به ترتیب برای $\gamma = 1.5$ و $\gamma = 1$. سالیون زوج نقص برای عرض نقص 2 آرایه ($w = 2$)، 4 آرایه ($w = 4$)، 6 آرایه ($w = 6$)..... 75
- شکل 3-15: منحنی دوپایایی جوابهای همگن همراه شاخههای سالیونی پایدار غیر نقص $\gamma = 1$ با خط مشکی و $\gamma = 0.8$ با خط آبی. شاخههای سالیونی پایدار نقص میانی گاما $\gamma d = 0.8$ با عرض نقص مختلف..... 76
- شکل 3-16: ضریب جفتشدگی مرزی برای وجود سالیون نقص پایدار در ناحیه نقص برحسب گامای نقص برای سه عرض نقص متفاوت. $\gamma_0 = 1, E = 1.9$ 77
- شکل 3-17: پروفایل دامنه سالیونهای نقص مرکزی ضریب غیر خطیت $\gamma d = 0.8$ برای عرضهای نقص $w = 3, w = 1, C = 1, E = 1.9$ 77

- شکل 3-18: منحنی دوپایای جوابهای همگن به‌مراه شاخه سالی‌تونی پایدار با منحنی مشکی و آبی. الف:
- ب: $(\Delta = -5, \Delta = -3)$ و $(\Delta = -7, \Delta = -3)$ شاخه سالی‌تونی پایدار نقص سطحی با پیک شدت در ناحیه Δd با رنگ سبز و پیک واقع در Δb با رنگ قرمز..... 78
- شکل 3-19: نمایه دامنه سالی‌تون غیر نقص $\Delta = -3, \Delta = -5$ به ترتیب به رنگ آبی و مشکی. سالی‌تون نقص سطحی دلتا با رنگ سبز. الف: پیک شدت واقع در ناحیه $\Delta b = -3$ ب: پیک شدت واقع در ناحیه $\Delta d = -5$ 79
- شکل 3-20: منحنی دوپایای جوابهای همگن $\Delta = -5, \Delta = -3$ به‌مراه شاخه‌های سالی‌تونی غیر نقص با رنگ مشکی و آبی. شاخه‌های پایدار سالی‌تون نقص $\Delta d = -5$ برای عرضهای نقص $W = 1, W = 5$ پیک شدت در وسط عرض نقص با خطوط پر، پیک شدت در لبه نقص با Δ 80
- شکل 3-21: منحنی دوپایای جوابهای همگن $\Delta = -5, \Delta = -3$ به‌مراه شاخه سالی‌تونی غیر نقص با رنگ آبی و مشکی. شاخه‌های پایدار سالی‌تونی نقص $\Delta d = -5$ و $W = 5$. پیک شدت در وسط عرض نقص واقع شده با خط پر، شاخه سالی‌تون نقص که در لبه ناحیه نقص قرار گرفته‌اند با نماد $C = 1, \gamma = 1$.
..... 81
- شکل 3-22: خط پر رنگ نمایه دامنه سالی‌تون نقص $\Delta d = -5$ که پیک شدت در وسط عرض نقص واقع شده. خط چین سالی‌تون نقص که در لبه ناحیه نقص قرار گرفته است. الف) $w = 3$ ب) $w = 5$
..... 81
- شکل 3-23: دامنه سالی‌تون برای نقص میانی دلتا $\Delta d = -5$ با عرض نقص الف) $W = 1$ ب) $W = 3$ ج) $W = 5$ 82
- شکل 3-24: منحنی دوپایای جوابهای همگن $\Delta = -7, \Delta = -3$ به‌مراه شاخه‌های سالی‌تونی غیر نقص با رنگ مشکی و آبی. شاخه‌های پایدار سالی‌تونی نقص $\Delta d = -7$ برای عرضهای مختلف نقص $C = 1, \gamma = 1. W = 1, W = 3, W = 5$ 83
- شکل 3-25: دامنه سالی‌تون برای نقص میانی دلتا $\Delta d = -5$ با عرض نقص الف) $W = 1$ ب) $W = 3$ ج) $W = 5$ 84
- شکل 3-26: آرایش نقص سطحی..... 85

- شکل 3-27: منحنی دامنه حالت همگن HSS. شاخه‌های سالی‌تونی بدون نقص $C = 1$ و $C = 5$ بترتیب با رنگهای مشکی و آبی. سالی‌تون نقص با قله‌های واقع شده در طرف $CL = 1$ با نماد (b) و در طرف $CR = 1$ با (c). خطوط پر ناحیه پایداری و نقطه‌چین ناحیه ناپایدار. $\gamma = 1, \Delta = -3$ 85
- شکل 3-28: نمایه دامنه سالی‌تون بدون نقص بازا $C = 5$ و $C = 1$ به ترتیب با آبی و مشکی. منحنی سبز دامنه سالی‌تون نقص سطحی ضریب جفت شدگی با قله در ناحیه $CR = 5$. $(E0 = 1.58, \gamma = 1)$ 86
- شکل 3-29: آرایش نقص میانی ضریب جفتشدگی..... 87
- شکل 3-30: منحنی دامنه حالت همگن HSS برحسب میدان ورودی. شاخه‌های سالی‌تونی بدون نقص $C = 5$ و $C = 1$. نماد (b) شاخه سالی‌تون زوج نقص میانی $Cd = 5$ در عرض نقص $w = 1$ ، نماد (c) شاخه سالی‌تونی فرد نقص میانی برای عرض نقص $w = 3$. خطوط پر ناحیه پایداری و نقطه‌چین ناحیه ناپایداری $\gamma = 1, \Delta = -3$ 87
- شکل 3-31: منحنیهای آبی و مشکی به ترتیب دامنه سالی‌تون بدون نقص بازا $C = 5$ و $C = 1$ (الف) منحنی قرمز دامنه سالی‌تون زوج نقص میانی $Cd = 5$ عرض نقص $W = 1$ (ب) منحنی سبز دامنه سالی‌تون فرد نقص میانی $Cd = 5$ با عرض نقص $W = 3$. $\gamma = 1, \Delta = -3$ 88
- شکل 3-32: منحنی دوپایایی و شاخه‌های سالی‌تونی سیستم همگن $C = 0.25$ و $C = 1$ به ترتیب با رنگ آبی و مشکی. شاخه‌های سالی‌تونی فرد نقص $Cd = 0.25$ برای عرض نقص $W = 1, W = 2, W = 3$ با خطوط پر. شاخه‌های سالی‌تونی نقص زوج برای عرض نقص $W = 1, W = 3$ با خط نازک. $\gamma = 1, \Delta = -3$ 89
- شکل 3-33: پروفایل دامنه سالی‌تون غیر نقص $C = 0.25$ و $C = 1$ به ترتیب با رنگ آبی و مشکی. پروفایل دامنه سالی‌تون نقص فرد در عرض نقص $C = 1_0.25_1$ (الف) 1 آرایه (ب) 3 آرایه. پروفایل دامنه سالی‌تون نقص زوج در عرض نقص (ج) 1 آرایه (د) 3 آرایه. $\gamma = 1, \Delta = -3$ 90

مقدمه

اخیراً مطالعه دینامیک غیرخطی در سیستم‌های گسسته، به علت خواص فیزیکی جدید و کاربردهای جالب آن، مورد توجه قرار گرفته است [25]. خصوصاً که سیستم گسسته نوری توانایی پشتیبانی از انواع مدهای جایگزیده فضایی در تشکیل سالیتون‌های گسسته دارد [25، 29] که ویژگی‌های پراش گسسته در چنین سیستم‌هایی باعث شکل‌گیری این نوع جدید از سالیتون‌های فضایی میشود [42]. برای تعریف سالیتون اشاره به این نکته ضروری است که اغلب پدیده‌های موجی به طور طبیعی در حین انتشار در محیط به دلیل پدیده پراش^۱ و پاشندگی^۲ تمایل به پهن شدگی دارند. اگر تحت شرایطی بتوان توسط عوامل غیرخطی مانند خودکانونی^۳، خود واکانونی^۴ و مدولاسیون خود فاز^۵ این پهن شدگی را جبران کرد، موجی خواهیم داشت که خاصیت ذره‌ای پیدا می‌کند، ازین جهت که در حین انتشار و برخورد شکل اولیه خود را حفظ خواهد کرد. امواج سالیتونی در محیط‌های مختلفی از جمله سیال‌ها [۱]، امواج پلاسمائی [۲]، امواج صوتی [۳]، سیگنال‌های الکتریکی، خطوط تلگراف، فیزیک ذرات و حتی فیزیک نجوم قابل مشاهده هستند. در اپتیک سالیتون‌ها به دو دسته فضایی و زمانی تقسیم می‌شوند. سالیتون‌های زمانی پالس‌های اپتیکی هستند که به دلیل تعامل غیرخطیت با پاشندگی در حین انتشار شکل اولیه خود را حفظ می‌کنند. سالیتون‌های فضایی پرتوهای خود هدایت شونده‌ای هستند که از تعادل غیرخطیت با پراش بوجود می‌آیند. سالیتون‌های فضایی انواع مختلفی دارند که یکی از مهمترین آن‌ها که در دهه اخیر معرفی و مورد توجه قرار گرفته است سالیتون کاواک گسسته نام دارد [35]. اگر به ابتدا و انتهای آرایه‌های موجبری آینه اضافه کنیم، آرایه‌ای از کاواک‌های جفت شده خواهیم داشت که انعکاس نور از این آینه‌ها باعث می‌شود راه نوری خم

¹ diffraction

² dispersion

³ Self focusing

⁴ Self defocusing

⁵ self-phase modulation

شده و در نتیجه برهم کنش نور با محیط غیرخطی بیشتر شود. نتیجه این فرایند این است که نوع جدیدی از سالیتون موسوم به سالیتون کاواک گسسته در توان پایینی نسبت به حالت قبل بدست آید [43]. حضور سالیتون کاواک گسسته در محیط‌هایی با غیر خطی مرتبه دوم [44]، اشباع پذیر [45,46] و محیط کر در حالت یک بعد [47] در سال‌های اخیر اثبات شده است.

با درج نقص‌های مناسب در یک آرایه موجبری می‌توان سالیتون‌ها را کنترل کرد، که این موضوع به صورت تئوری [5,4] و به صورت تجربی برای آرایه موجبرها [48] بررسی شده است. نقص ممکن است یک مکانیسم فیزیکی دیگری برای محدود کردن نور فراهم کند و همچنین توانایی هدایت مدهای متمرکز خطی و غیرخطی را دارد که به صورت تئوری [49,50] و آزمایشی برای شبکه فوتونیک یک بعدی [51] انجام گرفته است.

در این پایان نامه برای اولین بار به معرفی و شبیه سازی سالیتون کاواک گسسته در آرایه‌ی یک بعدی از کاواک‌های جفت شده با غیرخطیت کر در حضور نقص سطحی و میانی پارامترهای ضریب غیرخطیت، نامیزانی کاواک و ضریب جفت‌شدگی پرداخته شده است. در فصل اول مبانی و تعاریف اولیه در مورد سالیتون، سیستم‌های گسسته، پدیده‌های غیرخطی بیان می‌شود. روش‌های حل معادله و شبیه سازی سیستم در فصل دوم مطرح شده و در فصل سوم بعد از معرفی معادله حاکم بر سیستم جواب‌های همگن، دوپایایی و نواحی ناپایداری مدولاسیون سیستم بررسی می‌شود. در ادامه جواب‌های ناهمگن سیستم که همان جواب‌های سالیتونی هستند شبیه‌سازی شده و پایداری آن‌ها در طول زمان بررسی می‌شود.

فصل اول

بررسی منابع

(مبانی نظری و پیشینه تحقیق)

1- فصل اول: بررسی منابع (مبانی نظری و پیشینه تحقیق)

1-1 سالیتون 1

سالیتون یک بسته موج (یا یک پالس) است که شکل خود را در حین انتشار در محیط با سرعت ثابت حفظ می کند [1]. هر بسته موج شامل امواج با فرکانس‌های مختلف است که در حین انتشار در محیط به دلیل پدیده پاشندگی و پراش با سرعت‌های مختلفی منتشر می‌شوند. بنابراین شکل پرتو با گذشت زمان تغییر می‌کند. از سوی دیگر اثرات غیرخطی (مثل اثر کر در اپتیک) می‌تواند این تغییر فاز رو اصلاح کند که این اثر به مدولاسیون خودفازی در اپتیک نامیده. بنابراین اثرات غیرخطی ممکن است واقعا اثر پاشندگی را خنثی و پالسی با شکل ثابت تولید کند که سالیتون نامیده می‌شود. بسته به اینکه موج در حین انتشار در فضا یا زمان محصور شود، سالیتون به دو نوع فضایی و زمانی تقسیم خواهد شد. هر دو نوع سالیتون به علت پدیده غیرخطی تغییر ضریب شکست بر اثر شدت میدان الکتریکی بوجود می‌آیند. این وابستگی عامل ایجاد غیرخطیت خودکانونی (خودواکانونی) و مدولاسیون خودفازی است که به ترتیب عوامل اساسی در تشکیل سالیتون‌های نوری فضایی و زمانی هستند.

سالیتون برای اولین بار در سال 1834 توسط اسکات راسل 1 در کانال آبی در اسکاتلند مشاهده شد [1] (شکل 1-1)، او مشاهده کرد که قله موج آبی در این کانال، بدون تغییر شکل چندین کیلومتر را در امتداد کانال طی می‌کند. چنین امواجی بعدها امواج سالیتوری نامیده شد. واژه سالیتون که برگرفته از زبان یونانی به معنای ذره می‌باشد در سال 1965 به علت خاصیت ذره‌ای بودن این امواج در حین برخورد با یکدیگر به آنها اطلاق شد.

¹ John Scott Russel



شکل 1-1: کانال آب در اسکاتلند که اسکات راسل آزمایش خود را در آن انجام داد [1].

1-1-1 سالیتون‌های نوری زمانی

در واقع سالیتون‌های زمانی، معرف پالس‌های نوری هستند که در طول انتشار شکل خود را حفظ می‌کنند. از آنجا که هر پالس نوری از مؤلفه‌های فرکانسی مختلفی تشکیل شده و هر مؤلفه با سرعت فاز متفاوت حرکت می‌کند، پالس نوری در حین انتشار بر اثر پاشندگی محیط پهن خواهد شد.

پهن شدگی ناشی از پاشندگی $\Delta\tau$ بعد از طی مسیر به طول L در فیبر نوری و با پارامتر پاشندگی D طبق رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\Delta\tau = DL\Delta\lambda$$

$\Delta\lambda$ پهنای باند پالس ورودی خواهد بود. پهنای پاس به نوع پاشندگی، عادی ($D > 0$) و غیر عادی ($D < 0$) بستگی دارد. اگر پاشندگی توسط عوامل غیر خطی مانند مدولاسیون خودفازی حذف شود، پالس نوری بدون تغییر شکل منتشر خواهد شد. در چنین حالتی یک سالیتون زمانی ایجاد می‌شود. پاشندگی پدیده‌ای

است که در منشور باعث تجزیه نور سفید می‌شود. به سبب مدولاسیون خودفازی، فاز پالس نوری به دلیل غیرخطیت ضریب شکست تغییر می‌کند. این تغییر فاز را می‌توان به تغییرات فرکانس مربوط کرد و اگر ضریب شکست ماده مثبت باشد، قسمت جلوی پالس به سمت فرکانس‌های کوتاه تغییر مکان می‌دهد و عقب موج به سمت فرکانس‌های بالا حرکت می‌کند و پاشندگی نور جبران خواهد شد.

اولین سالیتون زمانی در سال 1973 ضمن کار بر روی فیبرهای نوری پیش‌بینی شد [6]. و در سال 1980 این امواج سالیتونی به صورت تجربی مشاهده شد. تا به حال مطالعات وسیعی بر روی سالیتونهای فیبر و کاربرد آنها در مخابرات فیبر نوری انجام شده است و با ارسال اطلاعات نوری به شکل سالیتونی سرعت انتقال اطلاعات در فیبرهای سالیتونی تا حد زیادی افزایش یافته است.

2-1-1 سالیتون‌های نوری فضایی

امواج در حین انتشار در محیط به طور ذاتی تمایل به پهن شدگی دارند و اگر بتوان با استفاده از یک اثر غیر خطی این پهن شدگی را جبران کرد موج حاصل سالیتونی بوده یعنی در حین انتشار شکل و اندازه خود را حفظ می‌کند. اگر این پهن شدگی ناشی از پراش باشد، می‌توان آنرا با اثر غیر خطی خودکانونی یا خودواکانونی جبران کرد. پدیده پراش در غیاب روزنه را می‌توان بصورت زیر توجیه کرد. باریکه نوری را می‌توان بصورت برهم‌نهی از چندین موج تخت با شدت‌ها و فازهای متفاوت در نظر گرفت که در راستای بسیار نزدیک به هم منتشر می‌شوند، بطوریکه تداخل آنها در محل باریکه سازنده و در اطراف ویرانگر است. این امواج در حین انتشار دچار اختلاف راه و در نتیجه اختلاف فاز خواهند شد، زیرا امواج تختی که نزدیک به محور انتشار بودند نسبت به امواجی که مایل تر هستند، سرعت رو به جلوی بیشتری خواهد داشت در نتیجه از میزان تداخل سازنده در مرکز باریکه کاسته خواهد شد، در حالی که تداخل ویرانگر در نقاط دور از محور ضعیف می‌شود. در واقع با انتشار نور در یک محیط خطی انرژی نور تمایل به واگرایی به سمت کناره‌ها دارد.

برای جبران این پدیده می‌توان از عوامل غیرخطی در ضریب شکست استفاده کرد. اگر غیرخطیت طوری باشد که ضریب شکست در مرکز باریکه بیشتر از بقیه نقاط باشد، موج تختی که بر روی محور باریکه حرکت می‌کند ضریب شکست بزرگتری را درک خواهد کرد و در نتیجه کندتر از موج‌های خارج از محور حرکت می‌کند. برعکس مؤلفه‌هایی که از محور باریکه دورترند ضریب شکست کوچکتر را کسب کرده و