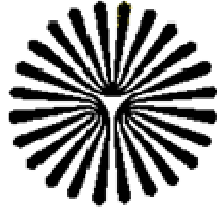


بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



دانشگاه پیام نور

شیراز

### پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته فیزیک (اتمی و مولکولی)

گروه فیزیک

عنوان پایان نامه:

بررسی سالیتون‌های گاف سطحی در مرزساختارهای نوری متناوب

سمیه علی دوست

استاد راهنما: دکتر کیوان محمود اقدمی

استاد مشاور: دکتر عبدالرسول قرائتی

تیر ماه ۱۳۹۰

اینجانب **سیدعلی دوست** دانشجوی ورودی سال .....**۱۳۸۶**..... مقطع کارشناسی ارشد رشته  
...**فلسفه**..... گواهی می نمایم چنانچه در پایان نامه خود از فکر، ایده و نوشته دیگری بهره گرفته ام با  
نقل قول مستقیم یا غیر مستقیم منبع و ماخذ آن را نیز در جای مناسب ذکر کرده ام. بدیهی است مسئولیت  
تمامی مطالبی که نقل قول دیگران نباشد بر عهده خویش می دانم و جوابگوی آن خواهم بود.  
دانشجو تائید می نماید که مطالب مندرج در این پایان نامه نتیجه تحقیقات خودش می باشد و در صورت  
استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است.

نام و نام خانوادگی دانشجو **سیدعلی دوست**

تاریخ و امضاء **۱۳۹۰/۰۸/۰۸**

*Amogh*  
*Alidevost*

اینجانب **سیدعلی دوست** دانشجوی ورودی سال .....**۱۳۸۶**..... مقطع کارشناسی ارشد رشته  
...**فلسفه**..... گواهی می نمایم چنانچه بر اساس مطالب پایان نامه خود اقدام به انتشار مقاله، کتاب،  
و ... نمایم ضمن مطلع نمودن استاد راهنما، با نظر ایشان نسبت به نشر مقاله، کتاب، و ... و به صورت  
مشترک و با ذکر نام استاد راهنما مبادرت نمایم.

نام و نام خانوادگی دانشجو **سیدعلی دوست**

تاریخ و امضاء **۱۳۹۰/۰۸/۰۸**

*Amogh*  
*Alidevost*

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه  
مطعلق به دانشگاه پیام نور می باشد.

با سپاس و تشکر از تمامی کسانی که  
بنده را در این امر یاری کردند

## چکیده

در سال‌های اخیر به خاطر گسترش روزافزون سیستم‌های ارتباطی و تکنولوژی اطلاعات، سیستم‌های نوری که دارای پتانسیل بسیار بالایی در اثر انتقال، پردازش و ذخیره اطلاعات می‌باشد، مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. در این راستا مباحث زمانی و فضائی سالیتون‌ها با دارا بودن خواص شبه ذره‌ای از اهمیت به سزائی برخوردار می‌باشند. در این پایان‌نامه سالیتون‌های گاف که جزو سالیتون-های فضائی بوده و قابلیت انتشار بدون تغییر شکل در محیط‌های متناوب از لحاظ ضریب شکست را دارند، به صورت نظری و با کمک شبیه‌سازی عددی مورد مطالعه قرار گرفته است.

شبکه‌های متناوب نوری یکی از عناصر اصلی در مبحث سالیتون‌های گاف می‌باشد، بنابراین ابتدا خصوصیات نوری آنها با پرداختن به مباحث نوار باند-گاف و طیف فلوک-بلاخ در شبکه‌های متناوب که ضریب شکست در آنها به صورت سینوسی به تدریج تغییر می‌کند، بررسی گردیده و تأثیر عمق مدولاسیون و دوره‌ی تناوب فضائی در غیاب پدیده غیرخطی بررسی شده است. سپس انواع سالیتون‌های سطحی گاف در مرز محیط متناوب با خصوصیات فیزیکی متفاوت در حضور و در غیاب لایه نقص در محیط کر با استفاده از معادله غیرخطی شرودینگر به دست آمد.

از آنجائی که عامل غیرخطی به تنهایی همانند لایه نقص سبب تغییرات موضعی ضریب شکست در شبکه می‌شود، سالیتون‌ها به صورت مدهای نقص در درون گاف‌های فوتونی ساختار باند-گاف جایگزیده می‌شوند. ناحیه حضور جواب‌های سالیتونی در درون گاف‌ها به دست آمده و انواع حالت-ها بررسی شده است. همچنین تغییرات جریان انرژی به ازای تغییر در پارامترهای مختلف مسئله از قبیل ثابت انتشار، عمق مدولاسیون، دوره تناوب و ... بررسی شده است و در نهایت نتایج سیستم‌های مختلف با یکدیگر مقایسه گردیده است.

## فهرست

مقدمه	۱
فصل اول: اپتیک غیر خطی	۴
۱ - ۱ معادلات ماکسول در محیط دی الکتریک	۵
۱ - ۲ اصول کلی اپتیک غیر خطی	۸
۱ - ۲ - ۱ پاسخ های غیر خطی محیط	۸
۱ - ۲ - ۲ اثر کر	۱۰
۱ - ۲ - ۲ - ۱ اثر کر الکترونوری DC	۱۰
۱ - ۲ - ۲ - ۲ اثر کر اپتیکی	۱۱
۱ - ۲ - ۲ - ۳ پدیده خود کانونی و خود واگرایی	۱۱
۱ - ۲ - ۲ - ۴ مدولاسیون خود به خودی فاز (اثر SPM)	۱۲
۱ - ۲ - ۳ انتشار پالس در سیستم با پاشندگی خطی و غیر خطی (پدیده GVD)	۱۴
۱ - ۳ معرفی سالیتون ها	۱۶
۱ - ۳ - ۱ معادله غیر خطی شرودینگر (NLS) برای سالیتون های فضایی	۱۸
۱ - ۳ - ۲ معادله غیر خطی شرودینگر (NLS) برای سالیتون های زمانی	۱۹
۱ - ۳ - ۳ جواب های معادله NLS	۲۰
۱ - ۴ کریستال های فوتونی	۲۱

- ۱ - ۴ - ۱ طراحی و ساخت کریستال‌های فوتونی..... ۲۴
- ۱ - ۴ - ۱ اثر نور شکستی، روش القاء نوری در کریستال‌های نور شکستی..... ۲۵
- ۱ - ۴ - ۱ مکانیزم ایجاد تغییرات تدریجی ضریب شکست..... ۲۵
- فصل دوم: سالیتون‌های گاف در شبکه‌های یک بعدی..... ۲۷
- ۱ - ۲ اپتیک شبکه‌های متناوب یک بعدی..... ۲۸
- ۲ - ۱ - ۱ مدهای فلوکه-بلاخ..... ۲۹
- ۲ - ۱ - ۲ ساختار باند-گاف..... ۳۱
- ۲ - ۱ - ۳ ساختار باند گاف کریستال فوتونی یک بعدی به روش بسط موج تخت..... ۳۱
- ۲ - ۱ - ۴ ریشه پیدایش گاف‌ها..... ۳۳
- ۲ - ۱ - ۵ کریستال‌های فوتونی با حضور نقص..... ۳۴
- ۲ - ۲ سالیتون‌های گاف..... ۳۶
- ۲ - ۲ - ۱ معادله NLS تغییر یافته..... ۳۸
- ۲ - ۲ - ۲ ساختار باند-گاف، طیف فلوکه-بلاخ..... ۳۹
- ۲ - ۲ - ۳ مدهای سطحی گاف..... ۴۱
- ۲ - ۲ - ۴ محاسبه انرژی و نسبت جایگزینی انرژی در هسته..... ۴۱
- فصل سوم: نتایج..... ۴۴
- ۳ - ۱ شبکه‌ی متناوب با لایه نقص..... ۴۵

- ۴۵..... ۳ - ۱ - ۱ شبکه‌ی متقارن.....
- ۴۶..... ۳ - ۱ - ۱ - ۱ مدهای اصلی.....
- ۴۸..... ۳ - ۱ - ۱ - ۲ مد دوقطبی.....
- ۴۹..... ۳ - ۱ - ۱ - ۳ نتایج.....
- ۵۰..... ۳ - ۱ - ۲ شبکه‌ی نامتقارن.....
- ۵۰..... ۳ - ۱ - ۲ - ۱ شبکه‌ی نامتقارن فرکانسی.....
- ۵۴..... ۳ - ۱ - ۲ - ۲ نتایج.....
- ۵۴..... ۳ - ۱ - ۲ - ۳ شبکه‌ی نامتقارن از نظر عمق مدولاسیون.....
- ۵۷..... ۳ - ۱ - ۲ - ۴ نتایج.....
- ۵۷..... ۳ - ۲ - ۱ شبکه‌ی متناوب بدون لایه‌ی نقص.....
- ۵۷..... ۳ - ۲ - ۱ شبکه‌ی متقارن (یک شبکه یکپارچه).....
- ۵۹..... ۳ - ۲ - ۱ - ۱ نتایج.....
- ۵۹..... ۳ - ۲ - ۲ - ۲ شبکه‌ی متناوب نامتقارن.....
- ۵۹..... ۳ - ۲ - ۲ - ۱ شبکه‌ی نامتقارن فرکانسی.....
- ۶۲..... ۳ - ۲ - ۲ - ۱ نتایج.....
- ۶۳..... ۳ - ۲ - ۲ - ۳ شبکه‌ی نامتقارن از نظر عمق مدولاسیون.....
- ۶۴..... ۳ - ۲ - ۲ - ۴ نتایج.....



۳ - ۲ - ۳ شبکه‌های متقارن با پرش فاز..... ۶۵

۳ - ۲ - ۳ - انتایج..... ۶۷

فصل چهارم: پیشنهادات..... ۶۸

پیوست..... ۷۰

فهرست منابع..... ۷۲

## فهرست اشکال

- (شکل ۱-۱) معادله محیط..... ۶
- (شکل ۲-۱) الف: رابطه خطی میدان الکتریکی و قطبش، ب: رابطه غیرخطی میدان الکتریکی و قطبش..... ۷
- (شکل ۳-۱) پدیده‌ی خودکانونی (شکل بالا) و خود واگرایی (شکل پایین) برای موج ورودی..... ۱۲
- (شکل ۴-۱) الف: پالس ورودی، ب: تغییرات فرکانس در اثر SPM برای  $n_2 > 0$ ..... ۱۳
- (شکل ۵-۱) پالس ورودی در یک محیط کر با پاشندگی عادی و غیر عادی..... ۱۶
- (شکل ۶-۱) پراش پرتو نوری در حین انتشار..... ۱۷
- (شکل ۷-۱) الف: پدیده همگراشدن موج به علت عامل غیرخطی ب: پدیده پراش ج: توازن بین این دو پدیده و شکل گیری سالتون..... ۱۷
- (شکل ۸-۱) الگوئی از کریستال‌های فوتونی. الف: یک بعدی، ب: دو بعدی، ج: سه بعدی..... ۲۲
- (شکل ۹-۱) الف: توری انتقال دامنه، ب: توری فاز بازتابی ( سطح تناوبی بر روی سطح فلزی)، ج: توری فاز انتقالی ( سطح تناوبی بر روی زیر لایه شیشه‌ای)، د: توری حجم (سلول‌های براگ)، و: توری فیبر براگ، ن: فیلم چندلایه، مانند لایه‌های متناوبی از  $\text{SiO}_2$  و  $\text{TiO}_2$ ، ی: آرایه تناوبی از میکرو نوسانگرهای جفت شده..... ۲۴
- (شکل ۱۰-۱) الف: ایجاد شبکه القایی، ب: ترتیب مراحل انجام..... ۲۶
- (شکل ۱-۲) شبکه متناوب برای ایجاد مدهای بلاخ روی محوری..... ۳۱
- (شکل ۲-۲) شبکه متناوب برای ایجاد مدهای بلاخ خارج از محور..... ۳۱
- (شکل ۳-۲) نمودار پاشندگی یا ساختار باندها-گاف یک بعدی..... ۳۲

شکل (۲-۴) ساختار باند-گاف کریستال یک بعدی برای مدهای بلاخ خارج از محور..... ۳۳

شکل (۲-۵) به وجود آمدن گاف‌ها به علت مقادیر موهومی  $k$ ..... ۳۳

شکل (۲-۶) ایجاد نقص در کریستال فوتونی. الف: نقص نقطه‌ای در کریستال دو بعدی، ب: نقص خطی در کریستال دو بعدی، ج: نقص خطی در کریستال یک بعدی..... ۳۴

شکل (۲-۷) کریستال فوتونی با نقص خطی به عنوان یک موجبر برای هدایت موج..... ۳۵

شکل (۲-۸) ساختار باند-گاف کریستال فوتونی یک بعدی برای مدهای خارج از محور. الف: ضریب شکست هسته بیشتر از شبکه متناوب، ب: ضریب شکست هسته کمتر از شبکه متناوب..... ۳۶

شکل (۲-۹) شبکه فیبر براگ..... ۳۷

شکل (۲-۱۰) آرایه‌ای از موجبرهای نامتناهی..... ۳۷

شکل (۲-۱۱) تابع مدولاسیون عرضی ضریب شکست.  $R(x) = \cos^2(\Omega x)$ ..... ۴۰

شکل (۲-۱۲) لایه نقص که به صورت هسته بین دو شبکه متناوب یکسان ساندویچ شده است.  $n = 7$ ..... ۴۱

شکل (۳-۱) ساختار باند-گاف سیستم متناوب برای فرکانس‌های ۲ و ۵..... ۴۵

شکل (۳-۲) مدهای اصلی به ازای پهنای مختلف از لایه نقص..... ۴۶

شکل (۳-۳) ناحیه حضور جواب‌های سالیتمونی به ازای پهنای مختلف از لایه نقص..... ۴۷

شکل (۳-۴) سمت راست، نمودار تغییرات انرژی با ثابت انتشار به ازای  $p = 4$ . سمت چپ، نمودار تغییرات انرژی با عمق مدولاسیون به ازای  $b = -0.9$ ..... ۴۷

شکل (۳-۵) تغییرات نسبت جایگزیدگی انرژی در هسته. به ازای تغییرات پهنای هسته  $n$  (راست)، عمق مدولاسیون  $p$  (چپ)..... ۴۸

- (شکل ۳-۶) ناحیه حضور جواب‌ها برای مد دوقطبی (ناحیه زیر منحنی قرمز) در مقایسه با مد اصلی (ناحیه زیر منحنی سیاه) (راست). مد دوقطبی (چپ)..... ۴۸
- (شکل ۳-۷) نمودار تغییرات انرژی با ثابت انتشار برای مد دو قطبی (منحنی قرمز) در مقایسه با مد اصلی (منحنی سیاه)..... ۴۹
- (شکل ۳-۸) ایجاد نقص در یک شبکه نامتقارن فرکانسی،  $n = 7$ ..... ۵۱
- (شکل ۳-۹) ساختار باند-گاف شبکه‌ی نامتقارن فرکانسی..... ۵۲
- (شکل ۳-۱۰) سالیته‌های ترکیبی در شبکه نامتقارن فرکانس..... ۵۲
- (شکل ۳-۱۱) ناحیه حضور جواب‌های سالیته‌ی. ناحیه بنفش: گاف اول  $\Omega = 2$ ،  $n = 1$  ناحیه سبز: گاف دوم  $\Omega = 2$ ،  $n = 1$  ناحیه آبی: گاف اول  $\Omega = 5$ ،  $n = 1$  ناحیه زرد: منطقه حضور جواب‌های سالیته‌ی ترکیبی در شبکه نامتقارن فرکانسی. (ناحیه سبز، ناحیه زرد را در بر دارد)..... ۵۳
- (شکل ۳-۱۲) نمودار تغییرات انرژی برای سالیته‌ی ترکیبی (نمودار قرمز) و مقایسه آن با حالت ترکیب نشده برای شبکه متقارن (نمودار آبی) به ازای  $\Omega = 2$ ،  $p = 14$ ،  $n = 1$ ..... ۵۳
- (شکل ۳-۱۳) هسته در شبکه نامتقارن از نظر عمق مدولاسیون..... ۵۴
- (شکل ۳-۱۴) ناحیه حضور جواب‌های سالیته‌ی در گاف‌های مختلف ساختار باند-گاف. ناحیه اشتراک خط قهوه‌ای با خط قرمز همپوشانی گاف اول با گاف اول و ناحیه اشتراک هر یک از خطوط قهوه‌ای یا قرمز با خط سبز همپوشانی گاف اول با گاف دوم برای  $p$  های مختلف را نشان می‌دهد..... ۵۵
- (شکل ۳-۱۵) مدهای اصلی شبکه نامتقارن از نظر عمق مدولاسیون. همپوشانی گاف اول با گاف اول (راست). همپوشانی گاف اول با گاف دوم (چپ)..... ۵۵

(شکل ۳-۱۶) تغییرات انرژی مد ترکیبی نقص به ازای ترکیب  $p(\text{right})=4$ ،  $p(\text{left})=6$ ، برای

..... $n=7$ ،  $\Omega = 2$ ، ۵۶

(شکل ۳-۱۷) نمودار تغییرات انرژی سالیتون ترکیبی نقص در مقایسه با حالت‌های ترکیب نشده به

ازای  $n=7$ ،  $\Omega = 2$ ..... ۵۶

(شکل ۳-۱۸) مدهای سالیتونی سیستم متناوب متقارن بدون لایه نقص. مد سالیتونی برای گاف اول

(راست) و گاف دوم (چپ) نشان داده شده است..... ۵۸

(شکل ۳-۱۹) تغییرات انرژی مد غیرخطی در مقایسه با مد غیر خطی نقص،  $p=4$ ..... ۵۸

(شکل ۳-۲۰) حدفاصل دو محیط با فرکانس‌های مختلف از تابع مدولاسیون عرضی ضریب

شکست..... ۶۰

(شکل ۳-۲۱) ناحیه حضور جواب‌های سالیتونی در ساختار باندها-گاف همپوشانی (نواحی صورتی

رنگ)..... ۶۰

(شکل ۳-۲۲) مدهای اصلی سالیتون‌های سطحی در شبکه‌های نامتقارن فرکانسی بدون نقص. (مدها

در ناحیه صورتی ۱)..... ۶۱

(شکل ۳-۲۳) مدهای اصلی سالیتون‌های سطحی در شبکه‌های نامتقارن فرکانسی بدون نقص. (مدها

در ناحیه صورتی ۲)..... ۶۱

(شکل ۳-۲۴) تغییرات انرژی مدهای ترکیبی بدون نقص در مقایسه با تغییرات انرژی مدهای ترکیبی

با لایه نقص.  $p = 18$ ..... ۶۲

(شکل ۳-۲۵) حدفاصل دو محیط با عمق مدولاسیون مختلف..... ۶۳

(شکل ۳-۲۶) مدهای اصلی سالیتون‌های ترکیبی از نظر عمق مدولاسیون،  $\Omega = 2$ ..... ۶۳

(شکل ۳-۲۷) نمودار تغییرات انرژی مد ترکیبی در مقایسه با حالت‌های ترکیب نشده (راست).

نمودار تغییرات انرژی مد ترکیبی نقص در مقایسه با حالت‌های ترکیب نشده به ازای  $n = 7$  (چپ).

در هر دو حالت  $\Omega = 2$  ..... ۶۴

(شکل ۳-۲۸) تابع مدولاسیون عرضی ضریب شکست ..... ۶۵

(شکل ۳-۲۹) ناحیه حضور جواب‌ها. ناحیه زیر نمودارها تا آستانه پایین منطقه وجود جواب‌های

سالیتمونی است.  $\Omega = 2$  ..... ۶۶

(شکل ۳-۳۰) مدهای اصلی به ازای پرش فاز مختلف  $\Omega = 2, b = -0.8, p = 3$  ..... ۶۶

(شکل ۳-۳۱) نمودار تغییرات انرژی  $\Omega = 2, p = 3$  ..... ۶۷

## مقدمه

پرتوهای نوری، امواج تولید شده در آب و سایر پدیده‌های موجی در طبیعت به هنگام انتشار در فضا همواره تمایل به واگرایی دارند، که در فیزیک به این حالت عمومی، پراش<sup>۱</sup> می‌گویند. بنابراین بسیار جالب توجه خواهد بود که اگر شرایطی پیش آید که موجی بدون تغییر شکل قابلیت انتشار داشته باشد. به این‌گونه امواج در حالت عمومی امواج منفرد اطلاق می‌شود.

اولین مشاهده علمی سالیتون در سیالات است که به سال ۱۸۳۴ برمی‌گردد. دانشمند اسکاتلندی به نام جیمز اسکات راسل<sup>۲</sup> وجود یک موج انتقالی تولید شده توسط قایق در کانال باریک آب بین گلاسکو و ادینبرگ را گزارش کرد. راسل متوجه شد که این موج با یک حرکت رو به جلو بدون تغییر شکل و کاهش در سرعت در طول کانال منتشر می‌شود، در حالی که آب هر دو طرف موج ساکت است.

پنجاه سال بعد از گزارش راسل، د. کورتج<sup>۳</sup> و جی. د. وریس<sup>۴</sup> نقش و اهمیت غیرخطیت را در این پدیده مورد مطالعه قرار دادند. در سال ۱۹۶۵، ن. زابوسکی<sup>۵</sup> و م. کراسکال<sup>۶</sup> برای اولین بار دریافتند که توان و اندازه حرکت خطی چنین پالس‌هایی بعد از اندرکنش پایسته می‌ماند و همانند ذرات رفتار می‌کنند. در نتیجه نام سالیتون (معادل یونانی ذره) را برای این پدیده انتخاب کردند.

علاوه بر دینامیک سیالات، می‌توان در سایر شاخه‌های علوم نیز با این پدیده مواجه شد. از آن جمله: امواج پلاسما، امواج صوتی، در  $He^3$  مایع، سالیتون‌های زمانی<sup>۷</sup> در فنرهای مکانیکی و سیستم‌های جرم، سیگنال‌های الکتریکی در خطوط تلگراف، نمونه‌هایی در ماده چگال، ذرات بنیادی، نجوم و کیهانشناسی و حتی در زنجیره DNA می‌باشد.

اغلب تحقیق‌های علمی نشان دهنده این هستند که سالیتون‌های اپتیکی پیش‌تاز سالیتون‌ها در شاخه‌های دیگر هستند. یک دلیل مهم، توسعه تکنولوژی ارتباطات نوری در دو دهه گذشته است. در طول این مدت نیاز به انتقال‌های نوری با توان بالا و رویه تمام نوری انتقال اطلاعات، بررسی‌های گسترده محققین در مطالعات اپتیک غیرخطی را موجب شد. دلیل دیگر اشباع شدن علم در زمینه اپتیک خطی

<sup>۱</sup> Diffraction

<sup>۲</sup> James Scott Russell

<sup>۳</sup> D.Korteweg

<sup>۴</sup> G.de Veries

<sup>۵</sup> N.Zabusky

<sup>۶</sup> M.Kruskal

<sup>۷</sup> Temporal optical Solitons

است. قوی‌ترین لیزرها امروزه بسیار ارزان و در دسترس هستند. تکنولوژی نمونه‌گیری و مانیتورینگ برای اپتیک فوق سریع به راحتی در دسترس است و دانش مواد برای طراحی ساختارهای فوتونی پیچیده، مطلوب‌ترین روند رو به رشد را ایجاد کرده است. زیبایی اپتیک در این است که فرصت مطالعات فوق العاده گسترده‌ای در درجات غیرخطی بالاتر برای محققین ایجاد می‌کند. سالیتون‌ها در اپتیک نیز خود را به اشکال مختلف نشان می‌دهند: سالیتون‌های فضایی<sup>۱</sup> که در آن باریکه نوری در طولی معادل با چند برابر طول پراکندگی، بدون واگرا شدن انتشار می‌یابد، سالیتون‌های زمانی در فیبرهای نوری که در آن پالس نوری عرض زمانی خود را پس از صدها کیلومتر انتشار حفظ می‌کند و سالیتون‌های فضا-زمانی<sup>۲</sup> یا گلوله‌های نوری که همگی از این جمله هستند.

دسته خاصی از سالیتون‌ها به عنوان سالیتون‌های گاف یا براگ شناخته شده‌اند که می‌توانند در محیط‌های غیرخطی که ضریب شکست به طور ضعیف توسط یک مدل تناوبی در امتداد طول انتشار یا عمود بر راستای انتشار تغییر می‌کند، به وجود بیایند. چنین محیط‌هایی، مثال‌هایی از دسته‌بندی کلی موادی هستند که به عنوان کریستال‌های فوتونی شناخته شده‌اند. در یک کریستال فوتونی ضریب شکست خطی می‌تواند یک تابع تناوبی در سه بعد فضایی باشد. در این پایان‌نامه تاکید بر روی کریستال‌های یک بعدی می‌باشد.

در فصل اول به اصول پایه‌ای و مفاهیم اپتیک غیرخطی پرداخته شده و برخی پدیده‌های غیرخطی مربوط به کار به تفصیل توصیف شده است. در ادامه این فصل با بهره‌گیری از نتایج اپتیک غیرخطی معادله غیرخطی شرودینگر بدست آمده و سالیتون‌های فضایی و زمانی معرفی شده‌اند. همچنین کریستال‌های فوتونی که اصلی‌ترین سیستم‌های به کار رفته در شکل‌گیری سالیتون‌های گاف می‌باشد توضیح داده شده است.

در فصل دوم با بررسی اپتیک شبکه متناوب یک بعدی و توضیح مفهوم گاف فوتونی به شکل‌گیری سالیتون‌های گاف پرداخته شده است. در این فصل معادله غیرخطی شرودینگر در یک محیط غیرهمگن متناوب به دست آمده و در ادامه تئوری مسئله به تفصیل توضیح داده شده است.

فصل سوم این پایان‌نامه به نتایج بررسی سالیتون‌های گاف در سیستم‌های متناوب مختلف مربوط می‌شود. این فصل به دو بخش عمده‌ی شبکه‌های دارای هسته و شبکه‌های بدون هسته تقسیم شده است

---

<sup>۱</sup>Spatial Soliton  
<sup>۲</sup>Spatiotemporal Solitons



که هر کدام از این بخش‌ها دارای زیر بخش‌های مختلف می‌باشند که نتایج هر زیر بخش بلافاصله بعد از آن بخش آمده است.

در فصل ۴ یا فصل پیشنهادات، به کارها یا تحقیقاتی که در ادامه این کار می‌توان انجام داد اشاره شده است.

## فصل اول

### اپتیک غیر خطی

در این فصل مبانی پایه الکترومغناطیس و اصول کلی اپتیک غیرخطی که منجر به شکل گیری سالیتون‌ها می‌شود، بررسی شده است. نقطه آغاز در بخش ۱-۱ مربوط به معادلات ماکسول در محیط دی‌الکتریک است. بخش ۱-۲ به اپتیک غیرخطی و معرفی پدیده کر<sup>۱</sup>، اثرات خودکانونی<sup>۲</sup> و خودواگرایی<sup>۳</sup>، مدولاسیون خودبه‌خودی فاز<sup>۴</sup> یا SPM و پاشندگی سرعت گروه<sup>۵</sup> یا GVD اختصاص دارد. در بخش ۱-۳ انواع سالیتون‌ها معرفی شده و با به دست آوردن معادله حاکم بر آنها تئوری این سالیتون‌ها به تفصیل توضیح داده شده است. در بخش آخر، ۱-۴، کریستال‌های فوتونی و نحوه ساخت آنها برای کاربردشان در ایجاد سالیتون‌های گاف در فصل دوم توضیح داده شده است.

## ۱-۱ معادلات ماکسول در محیط دی‌الکتریک

در کلی‌ترین حالت رفتار الکتریکی و مغناطیسی مواد توسط چهار معادله ماکسول از دیدگاه الکترومغناطیس بیان می‌شوند که عبارت هستند از:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (۱-۱ الف)$$

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (۱-۱ ب)$$

$$\nabla \cdot D = \rho, \quad D = \epsilon \cdot E + P \quad (۱-۱ ج)$$

$$\nabla \cdot B = 0, \quad B = \mu \cdot H + M \quad (۱-۱ د)$$

در این روابط E میدان الکتریکی، H میدان مغناطیسی، D جابجایی الکتریکی، B القای مغناطیسی، ρ چگالی بار آزاد، J چگالی جریان آزاد، P قطبش الکتریکی و M مغناطش است. ε و μ<sub>0</sub> به ترتیب گذردهی الکتریکی و تراوانی مغناطیسی خلاء است. نور به عنوان یک موج الکترومغناطیسی که شامل امواج عرضی میدان‌های الکتریکی E و مغناطیسی H می‌باشد نیز الزاماً از این معادلات پیروی خواهد کرد. از آنجائی که در غالب موارد از جمله این پایان‌نامه از محیط دی‌الکتریک غیرمغناطیسی که فاقد بار و جریان آزاد می‌باشند استفاده خواهند شد، بنابراین معادلات ماکسول را می‌توان به صورت زیر نوشت:

<sup>۱</sup>Kerr effect

<sup>۲</sup>Self-focusing

<sup>۳</sup>Self-defocusing

<sup>۴</sup>Self-phase modulation

<sup>۵</sup>Group velocity dispersion

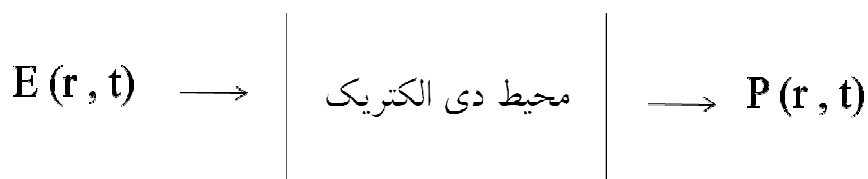
$$\nabla \times \vec{E} = -\mu \cdot \frac{\partial H}{\partial t} \quad (2-1 \text{ الف})$$

$$\nabla \times H = \epsilon \cdot \frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial t} \quad (2-1 \text{ ب})$$

$$\nabla \cdot E = \cdot \quad (2-1 \text{ ج})$$

$$\nabla \cdot H = \cdot \quad (2-1 \text{ د})$$

پاسخ‌دهی یک محیط دی‌الکتریک به میدان الکترومغناطیسی به رابطه بین قطبش القائی در محیط و میدان الکتریکی موج الکترومغناطیسی نهفته که معروف به معادله محیط است (شکل ۱-۱). می‌توان به رابطه بین E-P به عنوان سیستمی نگریست که در آن E ورودی به کاررفته و P خروجی آن می‌باشد [۱].



(شکل ۱-۱) معادله محیط

فاکتورهای یک محیط دی‌الکتریک در زیر تعریف شده است:

الف) یک محیط دی‌الکتریک خطی است اگر میدان برداری P به طور خطی به میدان برداری E مرتبط باشد (شکل ۱-۲ الف). بنابراین اصل برهم‌نهی به کار می‌رود. محیط دی‌الکتریک خطی با رابطه زیر مشخص می‌شود:

$$P = \epsilon \cdot \chi E \quad (3-1)$$