بسم الله الرحمن الرحيم
الحمد لله رب العالمين الرحمن الرحيم مالك يوم الدين
اهدنا الصراط المستقيم صراط الذين
انعمت عليهم غير المغضوب عليهم
ولا الضالين

# دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

۹۳۴۲۰۰۸

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق

گرایش الکترونیک

**عنوان :**

تحلیل و طراحی فیلتر نوری مبتنی بر بلورهای فوتونی دو بعدی در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر

**استاد راهنما:**

**دکتر** محمد سروش

**استاد مشاور:**

دکترغلامرضا اکبری زاده

**نگارنده :**

سیده مرضیه موسوی زاده

بهمن ماه ۱۳۹۳

**باسمه تعالی**

**دانشگاه شهید چمران اهواز**

دانشکده مهندسی

**(نتیجه ارزشیابی پایان نامه کارشناسی ارشد )**

**پایان نامه خانم** سیده مرضیه موسوی زاده **دانشجوی رشته:** مهندسی برق **گرایش:** الکترونیک

**دانشکده** مهندسی **به شماره دانشجویی** ۹۱۴۲۰۲۳

**با عنوان :**

**تحلیل و طراحی فیلتر نوری مبتنی بر بلورهای فوتونی دوبعدی در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر**

**جهت اخذ مدرک :** کارشناسی ارشد **در تاریخ :** ۹۳/۱۱/۵ **توسط هیأت داوران مورد ارزشیابی قرار گرفت و با درجه** عالی **تصویب گردید.**

| | | |
|---|---|---|
| **۱. اعضا ی هیأت داوران :** | **رتبه علمی** | **امضاء** |
| **استاد راهنما: دکتر محمد سروش** | استادیار | |
| **استاد مشاور : دکتر غلامرضا اکبری زاده** | استادیار | |
| **استاد داور : دکتر عبدالنبی کوثریان** | دانشیار | |
| **استاد داور : دکتر یوسف صیفی کاویان** | استادیار | |
| **نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده : دکتر علی حاج نایب** | استادیار | |
| **۲. مدیرگروه : دکتر ابراهیم فرشیدی** | دانشیار | |
| **۳. معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده : دکتر علی حقیقی** | استادیار | |
| **۴. مدیرتحصیلات تکمیلی دانشگاه : دکتر عبدالرحمن راسخ** | استاد | |

# تشکر و قدر دانی

با سپاس بیکران از خداوند منان برای تمامی نعمت‌هایش و تشکر از پدر و مادر عزیزم که همواره همراه و پشتیبان من بوده‌اند، از زحمات بی دریغ استاد راهنما جناب آقای دکتر محمد سروش و استاد مشاور جناب آقای دکتر غلامرضا اکبری زاده که با راهنمایی‌ها و مشاوره‌های خود مرا در انجام این پایان‌نامه یاری نموده اند، قدردانی می‌نمایم. همچنین از تمامی اساتید گروه برق دانشگاه شهید چمران اهواز که در ارتقای علمی این جانب نقش داشته‌اند، کمال تشکر را دارم.

**تقدیم به :**

پدر و مادر عزیز و مهربانم

# فهرست مطالب

فهرست مطالب.....د

فهرست شکل‌ها.....ح

فهرست جدول‌ها.....ک

فهرست علامت‌ها و اختصار ها.....ل

چکیده فارسی.....ن

**فصل اول**

**مقدمه.....۱**

۱-۱ مخابرات نوری.....۱

۱-۲ اهمیت موضوع و ضرورت تحقیق.....۲

۱-۳ اهداف و روش تحقیق.....۳

۱-۴ مروری بر پژوهش‌های پیشین .....۴

۱-۵ ساختار پایان نامه.....۵

**فصل دوم**

**بلورهای فوتونی.....۶**

۲-۱ مقدمه..... ۶

۲-۲ تاریخچه کوتاهی از بلورهای فوتونی..... ۸

۲-۳ کاربردهای بلور فوتونی..... ۹

۲-۳-۱ فیلترهای لایه نازک..... ۹

۲-۳-۲ فیبرهای بلور فوتونی..... ۹

۲-۳-۳ موجبرهای مبتنی بر بلور فوتونی ..... ۱۱

۲-۳-۴ لیزرهای مبتنی بر بلور فوتونی..... ۱۱

۲-۳-۵ مالتی پلکسرها و دی مالتی پلکسرها..... ۱۲

۲-۳-۶ فیلترهای حذف و اضافه..... ۱۳

۲-۳-۷ مدارهای مجتمع فوتونی..... ۱۴

۲-۳-۸ چشم‌انداز آینده..... ۱۴

۲-۴ ساختار بلورهای فوتونی دو بعدی..... ۱۵

۲-۴-۱ میله‌ها..... ۱۶

۲-۴-۲ شبکه بلور..... ۱۶

۲-۴-۳ ثابت شبکه..... ۱۶

۲-۴-۴ شعاع سلول‌ها..... ۱۶

۲-۴-۵ ناراستی..... ۱۷

۲-۵ باند ممنوعه بلورهای فوتونی..... ۱۸

۲-۶ معرفی نرم افزار آرسافت..... ۲۱

۲-۶-۱ محاسبه ی باند ممنوعه..... ۲۲

۲-۶-۱-۱ روش بسط امواج مسطح (PWE)..... ۲۳

۲-۶-۲ محاسبه طیف خروجی..... ۲۵

۲-۶-۲-۱ روش تفاضل متناهی در حوزه زمان..... ۲۶

**فصل سوم**

**فیلترهای نوری..... ۲۹**

۳-۱ مقدمه..... ۲۹

۳-۲ مشخصه‌های فیلتر میان گذر..... ۲۹

۳-۲-۱ بسامد تشدید..... ۲۹

۳-۲-۲ بازده گذر..... ۳۰

۳-۲-۲ باند گذر یا پهنای باند..... ۳۰

۳-۲-۳ ضریب کیفیت..... ۳۰

۳-۲ مروری بر ایده‌های دیگران در زمینه طراحی فیلتر ..... ۳۰

**فصل چهارم**

**طراحی و شبیه سازی فیلترهای پیشنهادی..... ۳۷**

۴-۱ مقدمه..... ۳۷

۴-۲ طراحی فیلتر..... ۳۷

۴-۲-۱ فیلتر مبتنی بر ساختار پایه مربعی..... ۳۸

۴-۲-۱-۱ ساختار فیلتر پیشنهادی..... ۴۱

۴-۲-۱-۲ طیف خروجی فیلتر پیشنهادی..... ۴۲

۴-۲-۱-۳ اثر پارامترهای ساختار بر طیف خروجی.....۴۴

۴-۲-۲ فیلتر مبتنی بر شبکه شش‌ضلعی.....۴۷

۴-۲-۲-۱ ساختار فیلتر پیشنهادی مبتنی بر شبکه شش‌ضلعی .....۴۸

۴-۲-۲-۲ طیف خروجی فیلتر پیشنهادی.....۴۹

۴-۲-۲-۳ اثر پارامترهای ساختار بر طیف خروجی.....۵۲

۴-۳ مقایسه نتایج شبیه سازی با پژوهش های دیگر.....۵۵

**فصل پنجم**

**نتیجه‌گیری و پیشنهادها.....۵۶**

۵-۱ نتیجه‌گیری.....۵۶

۵-۲ پیشنهاد کار در آینده.....۵۷

فهرست منابع.....۵۹

چکیده انگلیسی.....۶۲

# فهرست شکل‌ها

شکل۲-۱: (الف) پر طاووس، (ب) سنگ اوپال و (ج) بال پروانه به همراه نمایی میکروسکوپی از آن‌ها.....۶

شکل۲-۲ : الگوی ساختار بلورهای فوتونی یک، دو و سه بعدی به ازای ترکیبی از دو ماده با ضریب شکست متفاوت .....۷

شکل ۲-۳ : ساختار بلور فوتونی یک بعدی (فیلتر لایه نازک) .....۹

شکل ۲-۴ : شکل مقطع عرضی چند نمونه از فیبرهای بلور فوتونی.....۱۰

شکل ۲-۵ : تصویر دو موجبر ایجاد شده با بلور فوتونی دو بعدی.....۱۱

شکل ۲-۶ : ساختار یک لیزر بلور فوتونی دو بعدی.....۱۲

شکل ۲-۷ : یک دی مالتی پلکسر ۱۶ کانال با استفاده از بلور فوتونی دو بعدی.....۱۳

شکل ۲-۸ : یک فیلتر حذف و اضافه‌ی نوری بر مبنای حلقه تشدیدی.....۱۳

شکل ۲-۹ : یک مدار مجتمع فوتونی.....۱۴

شکل ۲-۱۰ : تصویری مجازی از یک مدار مجتمع تمام نوری.....۱۴

شکل ۲-۱۱: بلور فوتونی دو بعدی تشکیل شده از (الف) حفره‌های هوایی ایجاد شده درون ماده دی الکتریک و (ب) استوانه‌های دی الکتریک در محیط هوا.....۱۵

شکل ۲-۱۲ : بلور فوتونی دو بعدی تشکیل شده از میله با سطح مقطع شش ضلعی.....۱۷

شکل ۲-۱۳ : ناراستی (الف) نقطه ای، (ب) خطی و (ج) نقطه ای – خطی.....۱۸

شکل۲-۱۴ : نمودار باند انرژی الکترون‌ها در یک بلور نیم‌رسانا.....۱۹

شکل ۲-۱۵ : نمونه‌ای از باند ممنوعه ی فوتونی و تشابه آن با باند ممنوعه انرژی.....۲۰

شکل ۲-۱۶ : (الف) نقشه باند ممنوعه و (ب) نقشه ساختار باند..... ۲۱

شکل ۲-۱۷ : نمایی از سلول یی برای استفاده در روش FTDT..... ۲۸

شکل ۳-۱ : ساختار (الف) فیلتر حذف کانال و (ب) فیلتر افزودن کانال با استفاده از یک ناراستی در بلور فوتونی دو بعدی..... ۳۱

شکل ۳-۲: طیف خروجی فیلتر شکل ۳-۱-الف ..... ۳۲

شکل ۳-۳ : تصویر فیلتر پیشنهادی که با میکروسکوپ الکترونی ارائه شده است..... ۳۲

شکل ۳-۴ : نمودار توزیع طول موج خروجی (الف) کانال ۲ و (ب) کانال ۱..... ۳۲

شکل ۳-۵ : فیلترهای میان گذر بر مبنای کاواک فابری پیرو..... ۳۳

شکل ۳-۶ : نمودار طیف طول موج خروجی فیلترهای شکل ۳-۵ ..... ۳۴

شکل ۳-۷ : فیلترهای تشدیدی میان گذر با (الف) ۴ ناراستی، (ب) ۵ ناراستی (ج) ۳ ناراستی..... ۳۴

شکل ۳-۸ : نمودار طیف طول موج خروجی فیلترهای شکل ۳-۷..... ۳۴

شکل ۳-۹ : فیلتر طراحی شده توسط ال اسلام و همکاران..... ۳۵

شکل ۳-۱۰ : نمودار طیف طول موج خروجی‌های شکل ۳-۹ ..... ۳۵

شکل ۳-۱۱ : فیلتر طراحی شده توسط جهان آرا و همکارش..... ۳۶

شکل ۳-۱۲ : طیف خروجی فیلتر پیشنهادی شکل ۳-۱۰..... ۳۶

شکل ۴-۱ : تغییر باند ممنوعه بر حسب ضریب شکست میله‌ها..... ۳۸

شکل ۴-۲ : تغییر باند ممنوعه بر حسب نسبت شعاع میله به ثابت شبکه..... ۳۹

شکل ۴-۳ : بلور فوتونی دو بعدی پایه با ساختار مربعی..... ۴۰

شکل ۴-۴ : ساختار باند ممنوعه بلور فوتونی پایه برای ساختار مربعی..... ۴۰

شکل ۴-۵ : موجبر ایجاد شده با ساختار پایه در راستای محور x ها..... ۴۱

شکل ۴-۶ : طیف خروجی موجبر در ساختار پایه مربعی..... ۴۱

شکل ۴-۷ : ساختار فیلتر پیشنهادی با ساختار پایه مربعی.....۴۲

شکل ۴-۸ : طیف خروجی فیلتر پیشنهادی.....۴۳

شکل ۴-۹ : طیف خروجی بزرگنمایی‌شده فیلتر پیشنهادی.....۴۳

شکل ۴-۱۰ : چگونگی انتشار نور با طول موج (الف) ۱۵۶۰ و (ب) ۱۵۵۰ نانومتر در فیلتر پیشنهادی.....۴۴

شکل ۴-۱۱: بزرگنمایی ناحیه مربوط به تشدید و پارامترهای موثر بر طول موج تشدید.....۴۵

شکل ۴-۱۲ : طیف خروجی فیلتر به ازای مقادیر متفاوت Rd .....۴۵

شکل ۴-۱۳ : طیف خروجی فیلتر به ازای مقادیر متفاوت Nd .....۴۶

شکل ۴-۱۴ : تغییر باند ممنوعه بر حسب نسبت شعاع حفره به ثابت شبکه.....۴۷

شکل ۴-۱۵ : ساختار بلور با شبکه شش‌ضلعی.....۴۸

شکل ۴-۱۶ : ساختار باند ممنوعه بلور فوتونی پایه.....۴۹

شکل ۴-۱۷ : ساختار فیلتر پیشنهادی مبتنی بر ساختار شش‌ضلعی.....۴۹

شکل ۴-۱۸ : طیف خروجی در مد TM.....۵۰

شکل ۴-۱۹ : طیف خروجی فیلتر پیشنهادی در مد TE .....۵۱

شکل ۴-۲۰ : انتشار نور با طول موج ۱۵۵۲ نانومتر در افزاره.....۵۲

شکل ۴-۲۱ : انتشار نور با طول موج ۱۵۶۰ نانومتر در افزاره.....۵۲

شکل ۴-۲۲ : طیف خروجی فیلتر پیشنهادی به ازای اندازه‌های مختلف داده شده در شکل برای ضریب شکست ماده زمینه. طول‌موج‌ها از چپ به راست مربوط به کمترین تا بیشترین ضریب شکست است.....۵۳

شکل ۴-۲۳ : بزرگنمایی پارامتر Rd در فیلتر پیشنهادی.....۵۴

شکل ۴-۲۴ : طیف خروجی فیلتر پیشنهادی به ازای مقادیر متفاوت Rd. طول‌موج‌ها از چپ به راست مربوط به کمترین تا بیشترین شعاع است.....۵۴

# فهرست جدول‌ها

جدول ۴-۱ : پارامترهای اصلی فیلتر پیشنهادی به ازای مقادیر متفاوت Rd ..... ۴۶

جدول ۴-۲ : پارامترهای اصلی فیلتر پیشنهادی به ازای مقادیر متفاوت Nd ..... ۴۷

جدول ۴-۳ : مشخصه‌های اصلی فیلتر به ازای اندازه‌های مختلف n..... ۵۳

جدول ۴-۴ : مشخصه‌های اصلی فیلتر به ازای مقادیر متفاوت Rd ..... ۵۵

جدول ۴-۵ : مقایسه مشخصات فیلترهای پیشنهادی با پژوهش‌های دیگر..... ۵۵

# فهرست علامت ها و اختصارها

| | |
|---|---|
| ثابت شبکه بلور | a |
| شعاع سلول | R , r |
| شار الکتریکی | D |
| شار مغناطیسی | B |
| میدان الکتریکی | E |
| میدان مغناطیسی | H |
| ضریب نفوذپذیری مغناطیسی خلا | $\mu_0$ |
| ضریب نفوذپذیری الکتریکی خلا | $\varepsilon_0$ |
| ثابت نسبی دی الکتریک | $\varepsilon(r)$ |
| بردارهای اولیه شبکه بلور | $\{a_i\}$ |
| بردارهای اولیه شبکه وارون | $\{b_i\}$ |
| دلتای کرونیکر | $\delta_{ij}$ |
| ضرایب سری فوریه تابع وارون $\varepsilon(r)$ | $k(G)$ |
| سرعت نور در خلا | C |
| بسامد زاویه ای ویژه | ω |
| تابع ویژه معادله موج الکتریکی | E(r) |
| تابع ویژه معادله موج مغناطیسی | H(r) |
| بردار موج | k |
| نشانگر باند | n |
| تابع برداری متناوب فرضی | $u_{kn}(r)$ |
| تابع برداری متناوب فرضی | $v_{kn}(r)$ |
| ضرایب سری فوریه E(r) | $\{E_{kn}(G)\}$ |
| ضرایب سری فوریه H(r) | $\{H_{kn}(G)\}$ |
| بسامد زاویه‌ای ویژه | $\omega_{kn}$ |
| فاصله گام‌های مکانی | Δx , Δy , Δz |

| | |
|---|---|
| گام زمان | $\Delta t$ |
| ضریب کیفیت | Q |
| پهنای باند | BW |
| بسامد تشدید | $f_r$ |
| طول موج | $\lambda$ |
| ضریب شکست | n |
| ضریب شکست سلول‌های ناراستی | Nd |
| شعاع سول‌های ناراستی | Rd |

## چکیده


| نام خانوادگی : موسوی زاده | نام: سیده مرضیه | شماره دانشجویی : ۹۱۴۲۰۲۳ |
|---|---|---|


**عنوان پایان نامه : تحلیل و طراحی فیلتر نوری مبتنی بر بلورهای فوتونی دوبعدی در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر**


**استاد راهنما: دکتر محمد سروش**

**استاد مشاور: دکتر غلامرضا اکبری زاده**



| درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد | رشته: مهندسی برق | گرایش: الکترونیک |
|---|---|---|
| دانشگاه : شهید چمران اهواز | دانشکده: مهندسی | گروه : برق |

**تاریخ فارغ التحصیلی : ۹۳/۱۱/۵** **تعداد صفحه: ۶۲**

**کلید واژه ها : بلورهای فوتونی، فیلتر نوری، کاواک تشدیدی، مخابرات نوری**



در این پژوهش، با بکارگیری دو ساختار پایه مربعی و شش‌ضلعی برای ساختار پایه بلورهای فوتونی، فیلترهایی برای سامانه‌های ارتباطی تمام نوری پیشنهاد شد که به ترتیب در مد TM و TE قابل استفاده است. این افزاره‌ها در پنجره مخابراتی ۱۵۵۰ نانومتر قابل تنظیم هستند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که با استفاده از ساختار پایه می‌توان بازده گذر ۹۳٪ و پهنای باند ۰/۹ نانومتر را بدست آورد. همچنین با بهره‌گیری از ساختار شش‌ضلعی می‌توان بازده گذر را تا ۹۷٪ و پهنای باند را تا ۰/۳ نانومتر بهبود داد. این اندازه‌ها با توجه به استاندارد IEEE 802.3 در سامانه‌های ارتباطی نوری قابل استفاده‌اند. افزاره‌های پیشنهادی با توجه به سطح مقطع کمتر از ۱۲۰ میکرومترمربع برای مجتمع‌سازی نوری مناسبند.

## فصل اول

# مقدمه

### ۱-۱ مخابرات نوری

گسترش ارتباط و سادگی انتقال داده از طریق سامانه‌های انتقال و فیبر نوری یکی از موارد مهم در ارتباط‌های امروزی است. سرعت، کیفیت مناسب و آسانی انتقال در فرستادن سیگنال‌های حاوی اطلاعات دیجیتالی از مهم‌ترین ویژگی‌های ارتباط از طریق فیبر نوری است. ارتباط نوری را در سه بخش کلی فرستنده نوری، فیبرنوری و گیرنده نوری می‌توان بررسی کرد. بخش فرستنده اطلاعات را به شکل نور ارسال می‌کند. این اطلاعات توسط فیبرهای نوری به مقصد انتقال می-یابد و در بخش گیرنده رمزگشایی می‌شود [۱].

تقاضا برای ارائه سرویس‌های جدید باعث شده است که سرعت و حجم اطلاعات ارسالی در سال‌های اخیر بطور چشمگیری افزایش یابد. به همین دلیل سامانه‌های تمام نوری و مدارهای مجتمع نوری از موضوع‌های جذاب و کاربردی هستند که زمینه پژوهش‌های مختلفی قرار گرفته‌اند. در یک ارتباط تمام نوری، پردازش اطلاعات نور توسط افزاره‌های نوری انجام می‌شود و سیگنال نور به سیگنال الکتریکی تبدیل نمی‌شود.

برای بهره‌گیری از ظرفیت فیبرها، سامانه مالتی پلکس تقسیم طول موج (WDM[1]) گزینه مناسبی است و با این روش می‌توان چندین کانال را از طریق یک فیبر ارسال کرد. در مقصد باید بتوان کانال‌های ارسالی را از یکدیگر جدا کرد تا اطلاعات آنها در مسیرهای جداگانه‌ای پردازش

[1] Wavelength Division Multiplexing (WDM)

شود. دی مالتی پلکسر نوری[۲] افزاره‌ای است که وظیفه جداسازی کانال‌های نوری را بر عهده دارد و یکی از افزاره‌های اساسی و مهم یک سامانه تمام نوری است. بطور کلی هر دی مالتی پلکسر نوری از یک کاواک یا محیط موجبری برای انتقال نور استفاده می‌کند و نور فیلتر شده را در یک درگاه خروجی هدایت می‌کند [۱ و ۲].

## ۱-۲ اهمیت موضوع و ضرورت تحقیق

بکارگیری فناوری نوری در سامانه‌های مخابراتی باعث شده که بسامد زیاد نور به عنوان حامل، قابلیت ارسال اطلاعات بیشتری در یک کانال را فراهم کند. همچنین استفاده از فناوری نوری دارای مزایای دیگری نظیر امنیت در برابر تداخل امواج الکترومغناطیسی و کیفیت بهتر انتقال اطلاعات است. تفاوت سرعت الکترون‌ها و فوتون‌ها به گونه‌ای است که نرخ ارسال اطلاعات الکترون‌ها در بازه چند ده مگابیت بر ثانیه است در حالی که این نرخ با بکارگیری فوتون‌ها در شبکه‌های نوری به بازه ترا بیت افزایش می‌یابد. مصرف توان افزاره‌های کلیدزنی الکترونیکی در حدود یک میکرو وات است در حالی که توان مصرفی در افزاره‌های نوری در بازه نانو وات است. افزاره‌های نوری در مقایسه با افزاره‌های معادل الکترونیکی، حجم کوچکتری دارند و سبک‌تر هستند.

سامانه‌های مخابرات نوری به عنوان یکی از کارآمدترین راه‌های انتقال اطلاعات هستند. تعداد زیاد کانال‌های ارتباطی باعث شده است که روش WDM پر اهمیت و کاربردی جلوه دهد. همانطور که ارسال کانال‌های زیاد از طریق فیبر مهم و حیاتی است جداسازی آنها در مقصد نیز ضروری است. پهن‌شدگی و تضعیف سیگنال‌های دریافتی در مقصد باعث می‌شود که جداسازی کانال‌های نوری پیچیده بنظر آید. از این رو طراحی فیلترها و دی مالتی پلکسرهای نوری موضوعی جذاب و کاربردی است که بر کیفیت دریافت اطلاعات اثر مستقیم دارد.

[2] Optical Demultiplexer

حجم کم و ویژگی‌های مختلف بلورهای فوتونی (PhCs[3]) در هدایت سیگنال‌های نوری باعث شده است که افزاره‌های مختلفی را بر مبنای آن بتوان طراحی کرد. یکی از افزاره‌های کاربردی در سامانه‌های نوری، فیلترهای نوری مبتنی بر بلورهای فوتونی است. ساختارهای مختلف، پیشرفت فناوری‌های نوری و امکان ساخت فیلترهای نوری باعث شده است که طراحی فیلترهای نوری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد. در این پژوهش به طراحی فیلترهای نوری مخابراتی پرداخته می‌شود تا بتوان بر اساس ویژگی موجبری و طول موج گزینی بلورهای فوتونی کانال‌های مختلف را جدا کرد.

### ۱-۳ اهداف و روش تحقیق

در این پژوهش به طراحی یک فیلتر نوری مبتنی بر بلورهای فوتونی برای استفاده در پنجره مخابراتی ۱۵۵۰ نانومتر پرداخته می‌شود. ساختارهای پایه مربعی و شش‌ضلعی بکار گرفته می‌شود و باند ممنوعه[4] برای بازه طول موج‌های محدوده ۱۵۵۰ نانومتر تنظیم می‌گردد. ناراستی‌هایی طراحی خواهد شد تا طول موج گزینی سیگنال‌های نوری را فراهم سازد. شعاع و ضریب شکست میله‌های نیم‌رسانا عوامل موثری در گزینش گفته شده هستند. بازده گذر بیش از ۹۰ درصد، باند گذر ۱ نانومتر از اهداف فیلتر پیشنهادی است.

نرم افزار آرسافت[5] از ابزارهای قدرتمند تجاری برای طراحی و تحلیل افزاره‌های نوری است که در این پژوهش از آن برای شبیه‌سازی فیلترهای مبتنی بر بلورهای فوتونی استفاده می‌شود. با استفاده از این نرم افزار می‌توان محاسبات عددی مربوط به باند ممنوعه فوتونی بلورها را انجام داد و پاسخ بسامدی ساختارهای متفاوت را محاسبه کرد. همچنین می‌توان مسیر گذر شکل موج‌های متفاوت نور را درون ساختار مشاهده کرد.

[3] Photonic Crystals (PhCs)
[4] Band Gap
[5] Rsoft photonic CAD

## ۱-۴ مروری بر پژوهش‌های پیشین

در سال ۲۰۰۲ ایمادا[6] و همکاران فیلتری بر اساس میله‌های نوری دو بعدی و ساختار شبکه شش‌ضلعی طراحی کردند که طول موج مرکزی ۱۵۶۳ نانومتر و باند گذر ۴/۱ نانومتر را نتیجه داد [۳]. در این ساختار از یک ناراستی میله‌ای استفاده شده بود و ضریب کیفیت حدود ۴۰۰ را در پی داشت. بازده گذر سیگنال در این افزاره کمتر از ۵۰٪ است که مهمترین ضعف آن بشمار می‌رود.

در سال ۲۰۰۶ رن[7] و همکاران بر اساس طرح تشدید کاواک، ساختاری با دو خروجی ارائه کردند که طول موج‌های ۱۵۳۱ و ۱۵۲۹ نانومتر را از طول موج‌های دیگر جدا می‌کرد [۴] . ضریب کیفیت افزاره پیشنهادی حدود ۱۰۵۰ بود. ویژگی این ساختار در مقایسه با افزاره‌های مشابه آن، ارائه دو خروجی بود که کاربرد دی‌مالتی‌پلکس کردن را نیز میسر می‌ساخت. بازده گذر کمتر از ۲۰٪ کاربرد این افزاره را غیر ممکن ساخت و فقط ایده پیشنهادی ساختار جذاب بود.

در سال ۲۰۱۱ بادائوی[8] و همکاران ساختاری پیشنهاد دادند که در مسیر موجبر، میله‌های با شعاع کوچکتر قرار داشت[۵]. این فیلتر هرچند بازده گذر حدود ۷۰٪ را ارائه می‌کرد اما باند گذر آن بیش از ۷۰ نانومتر بود. این موضوع علاوه بر کاهش ضریب کیفیت، با توجه به فاصله کم کانال‌های ارسالی در سامانه WDM در تناقض بود.

در سال ۲۰۱۳ الاسلام[9] و همکاران با بهره‌گیری از تشدید کاواک‌های مجاور، ساختاری ارائه کردند که سه درگاه خروجی داشت [۶]. از این درگاه‌ها برای سه کانال خروجی در بازه طول موج‌های ۱۳۵۰ ، ۱۵۰۰ و ۱۶۶۰ نانومتر استفاده شد. این موضوع باعث شد که بتوان از افزاره پیشنهادی در پنجره‌های ۱۳۱۰ و ۱۵۵۰ نانومتر بهره برد. بازده گذر ۷۰٪ نیز از ویژگی‌های نسبتا خوب ساختار ارائه‌شده بود. وجود هارمونیک‌های ناخواسته در مجاورت طول موج مرکزی درگاه‌های خروجی بزرگترین ایراد این افزاره است که باعث می‌شود طول موج گزینش‌شده با اعوجاج همراه باشد.

---

[6] - Imada
[7] - Ren
[8] - Badaoui
[9] - Al Islam