

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بسمه تعالی



## تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب **سهران روحانی** متعهد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مأخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است. در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو

سهران روحانی

امضاء

---

تهران - لویزان - کدپستی 16788 - صندوق پستی 163-16785 تلفن 9-22970060 نامبر 22970033 پست

الکترونیکی [sru@sru.ac.ir](mailto:sru@sru.ac.ir)



دانشگاه تربیت مدرس  
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

# طراحی فیبرهای نوری چند لایه با پاشیدگی تخت شده برای سیستم‌های DWDM با استفاده از تکنیک‌های بهینه‌سازی

نگارش

سهران روحانی

استاد راهنما

دکتر محمود صیفوری

استاد مشاور

دکتر محمد مهدی کارخانه‌چی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی برق - الکترونیک

بهار 1391



دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی  
معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی

بسم الله

بسم تعالی

شماره: ۱۲/۵۵۸  
تاریخ: ۱۳۹۹/۰۵/۰۴  
پوست: دار

### صور تجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای سهران روحانی رشته مهندسی برق- قدرت با عنوان طراحی فیبرهای نوری چند لایه ای با پایداری تخت شده برای سیستم های DWDM با استفاده از تکنیک های بهینه سازی، که در تاریخ ۹۱/۲/۱۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی برگزار گردید و نتیجه به شرح زیر اعلام گردید.

قبول (بدرجه بیست و هشت امتیاز)  دفاع مجدد  مردود.

۱ - عالی (۲۰ - ۱۹)

۲ - بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

۳ - خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)

۴ - قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۵ - غیر قابل قبول (کمتر از ۱۴)

اعضاء	نام و نام خانوادگی	مرتبیه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر محمود صیغوری	استادیار	
استاد مشاور	دکتر محمد مهدی کارخانه چی	استادیار	
استاد داور داخلی	دکتر سعید علیانی	استادیار	
استاد داور خارجی	دکتر شهرام محمد نژاد	استاد	
نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر منصور باقری	استادیار	

دکتر سعید علیانی  
۲۳/۰۲/۹۱  
رئیس دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

تهران، لویزان  
تلفن: ۲۲۹۷۰۰۲۷  
فکس: ۲۲۹۷۰۰۲۴  
کد پستی: ۱۶۷۸۸-۱۵۸۱۱  
صندوق پستی: ۱۶۴-۱۶۷۸۵  
Email:  
education@srltu.edu  
www.srltu.edu

تقدیم به:

پدر زحمت کش و مادر دلسوزم که همیشه مرا  
یاری رسانده‌اند،

و همسر عزیزم که با تحمل مصائب و مشکلات  
زندگی بهترین همسفر و پشتیبان من بوده و  
خواهد بود.

## تشکر و قدردانی

این پایان نامه طبق قرارداد شماره 500/18161/ت مورخه 89/12/23، مورد حمایت مرکز تحقیقات مخابرات ایران قرار گرفته است که بدین وسیله از همکاری های آن مرکز تشکر و قدردانی می نمایم.

همچنین بدین وسیله بر خود لازم می دانم، مراتب تقدیر و تشکر را از کلیه ی اساتید گرامی، بویژه استاد راهنمای بزرگوار خود جناب آقای دکتر محمود صیفوری که با حمایت بی دریغ و پدران خویشتن در جهت پیشبرد این پایان نامه، نهایت همکاری و همفکری را داشتند، و همچنین آقای دکتر محمدمهدی کارخانه چی، استاد مشاور گرامی که در طول این مدت رهنمودهای گرانبار خود را جهت تکمیل این اثر، توشه راه نمودند، بجا آورده و همواره بتوانم با لطف و یاری خداوند متعال، در راه اعتلای آرمان والای تعالی و ارتقاء دانش جامعه ی مقدس خویشتن گام بردارم و همراه با جامعه ی علم و معرفت، مشعل آگاهی و انسانیت را، همانگونه که از استاد خود آموختم، بر فراز قله موفقیت و کامیابی این مرز و بوم برافرازم.

## چکیده

امروزه در نسل جدید شبکه‌های مخابراتی، سیستم‌های نوری جایگاه بسیار مهمی را در انتقال اطلاعات دارا هستند. خصوصاً که با وجود فن‌آوری DWDM امکان ارسال صدها کانال اطلاعاتی به صورت همزمان بر روی یک فیبر واحد نوریا سرعت‌های بالا به وجود آمده است. اما پاشیدگی و شیب پاشیدگی فیبر نوری از مهمترین عوامل ایجادکننده‌ی محدودیت، برای داشتن سیستم‌هایی با ظرفیت و سرعت ارسال بالا است.

در این پایان‌نامه تمرکز اصلی بر روی بررسی پاشیدگی فیبر نوری چند لایه و معرفی انواع فیبرهای تک مد طراحی شده جهت رسیدن به منحنی پاشیدگی تخت و مقدار پاشیدگی اندک در محدوده وسیعی از طول موج می‌باشد. برای دستیابی به این هدف، ابتدا پارامترهای نوری و هندسی ساختار فیبر نوری تک مود مورد نظر را تعیین می‌کنیم و معادلات مشخصه را بر اساس آنها استخراج می‌کنیم. در نهایت برای بهینه‌سازی منحنی پاشیدگی به دست آمده، با استفاده از الگوریتم ژنتیک میزان پاشیدگی را در طول موج انتخاب شده برای فیبرهای نوع  $M, W$  و  $R$  به کمترین مقدار می‌رسانیم و همچنین شیب پاشیدگی را کم کرده تا منحنی-های تخت‌تری به دست آید.

**کلید واژه:** پاشیدگی، شیب پاشیدگی، الگوریتم ژنتیک، فیبر تک مود چند لایه، تکنولوژی DWDM.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ث	فهرست شکل ها .....
ذ	فهرست جدول ها .....
<b>فصل اول: مقدمه‌ای بر سیستم‌های ارتباطی نوری</b>	
2	مقدمه .....
3-1-1	1- معرفی سیستم‌های مخابرات نوری .....
4	1-2- اجزای تشکیل دهنده سیستم مخابرات نوری .....
4	1-2-1- فیبر نوری به عنوان کابل مخابرات .....
4	1-2-2- فرستنده نوری .....
5	1-2-3- گیرنده‌های نوری .....
6	1-3- ساختار فیبر نوری و خواص آن .....
8	1-4- بررسی اجمالی تلفات و رفتارهای غیرخطی فیبر نوری .....
8	1-4-1- تلفات فیبر نوری .....
<b>فصل دوم : بررسی ساختار فیبر نوری</b>	
12	1-2- فیبر نوری .....
12	1-1-2-1- تعریف نور هندسی .....
13	1-1-2-1-1- فیبر نوری با ساختار پله‌ای .....
14	1-1-2-1-2- فیبر نوری با ساختار درجه‌بندی شده .....
16	1-2-1-2- انتشار موج و مدهای فیبر .....
16	1-2-1-2-1- مدهای فیبر .....
20	1-2-3-1- انواع تلفات در فیبر نوری .....
20	1-3-1-2-1- تداخل .....
20	1-3-1-2-2- تضعیف .....
20	1-3-1-2-3- جذب .....
21	1-3-1-2-4- پراکندگی .....
21	1-4-1-2- پاشیدگی .....
22	1-4-2-2- مفهوم پاشیدگی نور و لزوم جبران‌سازی آن .....
24	1-2-2-1- پاشیدگی مود قطبی شده (PMD) .....



24.....(Polarization) پلاریزاسیون	24
.....PMD	24
..... PMD ذاتی	25
..... PMD غیر ذاتی	25
..... پاشیدگی رنگی	26
..... پاشیدگی مودی	27
..... پاشیدگی فایبرهای تک‌مود	27
..... نحوه‌ی محاسبه‌ی پاشیدگی	27
..... الف) پاشیدگی ماده	28
..... ب) پاشیدگی موج‌بر	32
..... 3) پاشیدگی مرتبه بالاتر	34
..... 3) انواع فیبرها برای کاهش پاشیدگی	35
..... 1) فیبرهای تک مودی استاندارد	35
..... 2) فیبرهای DSF	35
..... 3) فیبرهای NZDSF	36
..... 4) بررسی پاشیدگی موجبری فیبر نوری چند لایه	37

### فصل سوم: تحلیل و بررسی پاشیدگی در فیبرهای نوری چند لایه

..... 1) بررسی مشخصه‌ی پاشیدگی در فیبرهای WI و WII تک‌مود با روکش سه لایه	42
..... 1) ساختار فیبرهای نوع W	43
..... 2) تحلیل تئوری پاشیدگی و شیب پاشیدگی در فیبر W	46
..... 2) بررسی مشخصه‌ی پاشیدگی در فیبرهای RI و RII تک‌مود با روکش سه لایه	51
..... 1) تعاریف لازم برای مدل کردن ساختار فیبر	52
..... 2) تحلیل تئوری پاشیدگی و شیب پاشیدگی	55
..... 3) بررسی و آنالیز فیبر M تک‌مود با روکش سه لایه	56
..... 1) تعاریف لازم برای مدل کردن ساختار فیبر	56
..... 2) آنالیز تئوری پاشیدگی و شیب پاشیدگی	59

### فصل چهارم: شبیه‌سازی منحنی‌های پاشیدگی و شیب پاشیدگی در فیبرهای چند لایه

..... 1) تأثیر پارامترهای هندسی و نوری بر پاشیدگی و شیب پاشیدگی فیبرهای با ساختار W	63
..... 2) تأثیر پارامترهای هندسی و نوری بر پاشیدگی و شیب پاشیدگی فیبرهای با ساختار R	70
..... 3) تأثیر پارامترهای هندسی و نوری بر پاشیدگی و شیب پاشیدگی فیبرهای با ساختار M	78

فصل 5: طراحی فیبرهای نوری چندلایه با استفاده از الگوریتم ژنتیک	
1-5- الگوریتم ژنتیک .....	84
1-1-5- مقدمه‌ای بر الگوریتم ژنتیک .....	84
2-1-5- گزینش .....	85
3-1-5- آمیزش .....	85
الف) آمیزش متداول مبتنی بر پراکندگی .....	86
ب) آمیزش مبتنی بر تداخل .....	86
4-1-5- جهش .....	86
2-5- طراحی فیبر نوری با ساختار $W$ ، به منظور شیفت دادن طول موج با پاشیدگی صفر و تخت کردن منحنی پاشیدگی .....	88
1-2-5- تابع هزینه فاکتور پهن‌شدگی .....	88
2-2-5- تابع هزینه‌ی قدر مطلق پاشیدگی .....	97
3-5- طراحی فیبر نوری با ساختار $R$ ، به منظور شیفت دادن طول موج با پاشیدگی صفر و تخت کردن منحنی پاشیدگی .....	101
1-3-5- تابع هزینه فاکتور پهن‌شدگی .....	101
2-3-5- تابع هزینه‌ی قدر مطلق پاشیدگی .....	107
نتیجه‌گیری و مقایسات انجام شده در طراحی .....	111
فصل 6: نتیجه‌گیری و پیشنهادات .....	116
منابع .....	118

## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل (1-1): بلوک دیاگرام سیستم مخابرات نوری	3
شکل (2-1): شماتیک انتقال نوری	4
شکل (3-1): اجزای تشکیل دهنده فرستنده نوری	5
شکل (4-1): اجزای تشکیل دهنده گیرنده نوری	5
شکل (5-1): انتشار نور در فیبر نوری	6
شکل (6-1): تابش نور به مرز بین دو محیط	6
شکل (7-1): تغییرات پارامتر $\alpha$ نسبت به طول موج برای یک فیبر تک مود با پارامترهای $\alpha = 9.4 \mu\text{m}$ و $\Delta = 1.9 \times 10^{-3}$	9
شکل (1-2): مشخصه ضریب شکست و نمای جانبی graded index fiber و step-index fiber	13
شکل (2-2): بازتاب داخلی step-index fiber.	13
شکل (3-2): نمودار پاشیدگی بر حسب $\alpha$	16
شکل (4-2): ثابت انتشار بهنجار شده $b$ ، به عنوان تابعی از فرکانس بهنجار شده $V$ ، برای تعدادی از مدهای فیبر مرتبه پایین. مقیاس سمت راست، شاخص مودی $\bar{n}$ را نمایش می‌دهد	19
شکل (5-2): پاشیدگی باعث می‌شود پالس خروجی از فیبر طولانی، پهن تر شود	23
شکل (6-2): پاشیدگی مود قطبی شده PMD	24
شکل (7-2): پاشیدگی رنگی بوجود آمده در پالس نوری با دو طول موج مجزا	26
شکل (8-2): نمایش پاشیدگی مودی	27
شکل (9-2): تغییرات ضریب شکست و ضریب گروه با طول موج برای سیلیکای خالص	29
شکل (10-2): منحنی تغییرات $\frac{dn}{d\lambda_0}$ نسبت به $\lambda_0$ برای سیلیکای خالص	31
شکل (11-2): منحنی تغییرات $\frac{d^2n}{d\lambda_0^2}$ نسبت به $\lambda_0$ برای سیلیکای خالص	32
شکل (12-2): منحنیهای تغییرات $(Vb)'$ و $(Vb)''$ نسبت به $V$ برای مدهای اولیه از فیبر با ضریب شکست پله‌ای	33
شکل (13-2): منحنی جملات تشکیل دهنده $D_W$ بر حسب طول موج	33
شکل (14-2): پارامتر پاشیدگی کل $D$ و پاشیدگی ماده $D_M$ و پاشیدگی موجبر $D_W$ برای فیبر تک مود استاندارد طول موج متناظر با پاشیدگی صفر به دلیل وجود پاشیدگی موجبر به طرف طول موجهای بالاتر انتقال می‌یابد	33
شکل (15-2): وابستگی پارامتر $D$ برای فیبرهای استاندارد، فیبرهای با پاشیدگی شیفت داده شده و فیبرهای با پاشیدگی مسطح	34

- شکل (2-16): فیبرهای SSMF، DFF و DSF.....37
- شکل (2-17): نمونه‌ای از فیبر با پاشیدگی شیفیت یافته .....37
- شکل (2-18): ساختار فیبر نوری چند لایه .....38
- شکل (3-1): نمایه‌ی ضریب شکست برای ساختار WII و WI با پارامترهای تعریف شده (a) ساختار WI، (b) ساختار WII.....43
- شکل (3-2-الف): ساختار RII.....52
- شکل (3-2-ب): ساختار RI.....52
- شکل (3-3): نمایه‌ی ضریب شکست برای ساختار MII .....56
- شکل (4-1): منحنی‌های پاشیدگی به عنوان تابعی از طول موج  $\lambda$  برای فیبر WII، به ازای تغییرات a و مقادیر  $R_1 = 5, R_2 = -0.8, \Delta = 5e - 3, Q = 0.5, P = 0.7$  (الف) منحنی پاشیدگی (ب) شیب پاشیدگی .....64
- شکل (4-2): منحنی‌های پاشیدگی به عنوان تابعی از طول موج  $\lambda$  برای فیبر WII، به ازای تغییرات P و مقادیر  $R_1 = 5, R_2 = -0.8, \Delta = 5e - 3, Q = 0.5, a = 2.5(\mu m)$  (الف) منحنی پاشیدگی (ب) شیب پاشیدگی .....65
- شکل (4-3): منحنی‌های پاشیدگی به عنوان تابعی از طول موج  $\lambda$  برای فیبر WII، به ازای تغییرات Q و مقادیر  $R_1 = 5, R_2 = -0.8, \Delta = 5e - 3, P = 0.7, a = 2.5(\mu m)$  (الف) منحنی پاشیدگی (ب) شیب پاشیدگی .....66
- شکل (4-4): منحنی‌های پاشیدگی به عنوان تابعی از طول موج  $\lambda$  برای فیبر WII، به ازای تغییرات  $R_1$  و مقادیر  $R_2 = -0.8, \Delta = 5e - 3, Q = 0.7, P = 0.7, a = 2.5(\mu m)$  (الف) منحنی پاشیدگی (ب) شیب پاشیدگی .....67
- شکل (4-5): منحنی‌های پاشیدگی به عنوان تابعی از طول موج  $\lambda$  برای فیبر WII، به ازای تغییرات  $R_2$  و مقادیر  $R_1 = 6, \Delta = 5e - 3, Q = 0.5, P = 0.7, a = 2.5(\mu m)$  (الف) منحنی پاشیدگی (ب) شیب پاشیدگی .....68
- شکل (4-6): منحنی‌های پاشیدگی به عنوان تابعی از طول موج  $\lambda$  برای فیبر WII، به ازای تغییرات  $\Delta$  و مقادیر  $R_1 = 5, R_2 = -0.8, Q = 0.5, P = 0.7, a = 2.5(\mu m)$  (الف) منحنی پاشیدگی (ب) شیب پاشیدگی .....69
- شکل (4-7): منحنی‌های پاشیدگی (الف) و شیب پاشیدگی (ب) به عنوان تابعی از طول موج  $\lambda$  برای فیبر RI، به ازای تغییرات a و مقادیر  $R_1 = 0.5, R_2 = 0.5, \Delta = 5e - 3, P = 0.7, Q = 0.4$  .....72

شکل(4-8): منحنی‌های پاشیدگی (الف) و شیب پاشیدگی (ب) به عنوان تابعی از طول موج  $\lambda$  برای فیبر RII، به ازای تغییرات  $a$  و مقادیر  $R_1 = 2, R_2 = -0.1, \Delta = 6e - 3, P = 0.7$  و  $Q = 0.4$  73.....

شکل(4-9): منحنی‌های پاشیدگی (الف) و شیب پاشیدگی (ب) به عنوان تابعی از طول موج  $\lambda$  برای فیبر RI، به ازای تغییرات  $\Delta$  و مقادیر  $R_1 = 0.5, R_2 = 3, a = 2.5(\mu\text{m}), P = 0.7$  و  $Q = 0.4$  73.....

شکل(4-10): منحنی‌های پاشیدگی (الف) و شیب پاشیدگی (ب) به عنوان تابعی از طول موج  $\lambda$  برای فیبر RII، به ازای تغییرات  $\Delta$  و مقادیر  $R_1 = 2, R_2 = -0.1, a = 2.5(\mu\text{m}), P = 0.7$  و  $Q = 0.4$  74.....

شکل(4-11): منحنی‌های پاشیدگی (الف) و شیب پاشیدگی (ب) به عنوان تابعی از طول موج  $\lambda$  برای فیبر RI، به ازای تغییرات  $R_1$  و مقادیر  $R_2 = 3, \Delta = 4e - 3, a = 2.5(\mu\text{m}), P = 0.7$  و  $Q = 0.4$  74.....0.5

شکل(4-12): منحنی‌های پاشیدگی (الف) و شیب پاشیدگی (ب) به عنوان تابعی از طول موج  $\lambda$  برای فیبر RII، به ازای تغییرات  $R_1$  و مقادیر  $R_2 = -0.1, \Delta = 6e - 3, a = 2.5(\mu\text{m}), P = 0.7$  و  $Q = 0.4$  75.....

شکل(4-13): منحنی‌های پاشیدگی (الف) و شیب پاشیدگی (ب) به عنوان تابعی از طول موج  $\lambda$  برای فیبر RI، به ازای تغییرات  $R_2$  و مقادیر  $R_1 = 3, \Delta = 5e - 3, a = 2.5(\mu\text{m}), P = 0.7$  و  $Q = 0.4$  75.....

شکل(4-14): منحنی‌های پاشیدگی (الف) و شیب پاشیدگی (ب) به عنوان تابعی از طول موج  $\lambda$  برای فیبر RI، به ازای تغییرات  $P$  و مقادیر  $R_1 = 0.5, R_2 = 0.5, \Delta = 5e - 3, a = 2.5(\mu\text{m}), Q = 0.4$  76.....3

شکل(4-15): منحنی‌های پاشیدگی (الف) و شیب پاشیدگی (ب) به عنوان تابعی از طول موج  $\lambda$  برای فیبر RII، به ازای تغییرات  $P$  و مقادیر  $R_1 = 2, R_2 = -0.1, \Delta = 6e - 3, a = 2.6(\mu\text{m}), Q = 0.4$  76.....

شکل(4-16): منحنی‌های پاشیدگی (الف) و شیب پاشیدگی (ب) به عنوان تابعی از طول موج  $\lambda$  برای فیبر RI، به ازای تغییرات  $Q$  و مقادیر  $R_1 = 0.5, R_2 = 0.5, \Delta = 5e - 3, a = 2.5(\mu\text{m}), P = 0.7$  77.....3

شکل(4-17): منحنی‌های پاشیدگی (الف) و شیب پاشیدگی (ب) به عنوان تابعی از طول موج  $\lambda$  برای فیبر RII، به ازای تغییرات  $Q$  و مقادیر  $R_1 = 2, R_2 = -0.1, \Delta = 6e - 3, a = 2.5(\mu\text{m}), P = 0.7$  77.....

- شکل(4-18): منحنی‌های الف) پاشیدگی، ب) شیب پاشیدگی، برای فیبر با ساختار MII، به ازای تغییرات  $\Delta$ ، و مقادیر  $R_1 = 0.5, R_2 = -0.3, Q = 0.3$  و  $P = 0.8$  و  $a = 2.5(\mu\text{m})$ .....78
- شکل(4-19): منحنی‌های پاشیدگی به عنوان تابعی از طول موج  $\lambda$ ، برای فیبر MII، به ازای تغییرات  $a$  و مقادیر  $R_1 = 0.5, R_2 = -0.3, \Delta = 5e - 3, Q = 0.3$  و  $P = 0.8$  (الف) منحنی پاشیدگی (ب) شیب پاشیدگی.....79
- شکل(4-20): منحنی‌های پاشیدگی به عنوان تابعی از طول موج  $\lambda$ ، برای فیبر MII، به ازای تغییرات  $R_2$  و مقادیر  $R_1 = 0.5, \Delta = 5e - 3, Q = 0.3$  و  $P = 0.8$  (الف) منحنی پاشیدگی (ب) شیب پاشیدگی.....80
- شکل(4-21): منحنی‌های پاشیدگی به عنوان تابعی از طول موج  $\lambda$ ، برای فیبر MII، به ازای تغییرات  $Q$  و مقادیر  $R_1 = 0.5, R_2 = -0.2, \Delta = 7e - 3, P = 0.8$  و  $a = 2.5(\mu\text{m})$  (الف) منحنی پاشیدگی (ب) شیب پاشیدگی.....80
- شکل(4-22): منحنی‌های پاشیدگی به عنوان تابعی از طول موج  $\lambda$ ، برای فیبر MII، به ازای تغییرات  $P$  و مقادیر  $R_1 = 0.5, R_2 = -0.2, \Delta = 5e - 3, Q = 0.3$  و  $a = 2.5(\mu\text{m})$  (الف) منحنی پاشیدگی (ب) شیب پاشیدگی.....81
- شکل(4-23): منحنی‌های پاشیدگی به عنوان تابعی از طول موج  $\lambda$ ، برای فیبر MII، به ازای تغییرات  $R_1$  و مقادیر  $R_2 = -0.2, \Delta = 7e - 3, P = 0.8, Q = 0.3$  و  $a = 2.5(\mu\text{m})$  (الف) منحنی پاشیدگی (ب) شیب پاشیدگی.....81
- شکل(5-1): منحنی‌های تابع وزن اعمال شده به تابع هزینه مجموع فاکتور پهن شدگی .....89
- شکل(5-2): منحنی پاشیدگی برای فیبر طراحی شده.....90
- شکل(5-3): منحنی شیب پاشیدگی بر حسب  $\lambda$ ، برای فیبر طراحی شده.....90
- شکل(5-4): منحنی‌های تابع وزن اعمال شده به تابع هزینه‌ی مجموع فاکتور پهن شدگی.....91
- شکل(5-5): منحنی پاشیدگی برای فیبر طراحی شده.....92
- شکل(5-6): منحنی شیب پاشیدگی بر حسب  $\lambda$ ، برای فیبر طراحی شده.....92
- شکل(5-7): منحنی‌های تابع وزن سینک اعمال شده به تابع هزینه‌ی مجموع فاکتور پهن شدگی.....93
- شکل(5-8): منحنی پاشیدگی برای فیبر طراحی شده.....94
- شکل(5-9): منحنی‌های تابع وزن پالس اعمال شده به تابع هزینه‌ی مجموع فاکتور پهن شدگی.....95
- شکل(5-10): منحنی پاشیدگی برای فیبر طراحی شده.....96
- شکل(5-11): منحنی شیب پاشیدگی بر حسب  $\lambda$ ، برای فیبر طراحی شده.....96
- شکل(5-12): منحنی پاشیدگی بر حسب  $\lambda$ ، برای فیبر طراحی شده در جدول (5-11).....98
- شکل(5-13): منحنی شیب پاشیدگی بر حسب  $\lambda$ ، برای فیبر طراحی شده در جدول (5-13).....99
- شکل(5-14): منحنی پاشیدگی برای فیبر طراحی شده.....100
- شکل(5-15): منحنی‌های تابع وزن اعمال شده به تابع هزینه مجموع فاکتور پهن شدگی.....101

- شکل (5-16): منحنی پاشیدگی برای فیبر طراحی شده.....102
- شکل (5-17): منحنی شیب پاشیدگی.....103
- شکل (5-18): منحنی های تابع وزن اعمال شده به تابع هزینه ی مجموع فاکتور پهن شدگی.....103
- شکل (5-19): منحنی پاشیدگی برای فیبر طراحی شده.....104
- شکل (5-20): منحنی های تابع وزن پالس اعمال شده به تابع هزینه ی مجموع فاکتور پهن شدگی.....105
- شکل (5-21): منحنی پاشیدگی برای فیبر طراحی شده.....106
- شکل (5-22): منحنی شیب پاشیدگی بر حسب  $\lambda$ ، برای فیبر طراحی شده.....106
- شکل (5-23): منحنی پاشیدگی بر حسب  $\lambda$ ، برای فیبر طراحی شده در جدول (5-24).....108
- شکل (5-24): منحنی شیب پاشیدگی مربوط به جدول (5-21).....108
- شکل (5-25): منحنی پاشیدگی برای فیبر طراحی شده.....110
- شکل (5-26): منحنی شیب پاشیدگی برای فیبر نوع RII.....110
- شکل (5-27): منحنی های پاشیدگی و شیب پاشیدگی بدست آمده از تغییر پارامترهای انجام شده برای فیبر WII در بازه ی طول موج  $1/2-1/75$  میکرومتر برای منبع شماره [7].....111
- شکل (5-28): منحنی های پاشیدگی و شیب پاشیدگی بدست آمده از بهینه سازی انجام شده برای فیبر WII در بازه ی طول موج  $1/5-1/6\mu m$  که ماکزیمم پاشیدگی برای تابع وزن گوسین با  $\Sigma=1/225e-8$  برابر  $0/288ps/nm/km$  می باشد.....112
- شکل (5-29): ساختار فیبر نوری پیشنهاد شده.....113
- شکل (5-30): نمونه ای از منحنی های مقایسه شده از نتایج به دست آمده از مقاله ی آقای علی رستمی و همکاران ایشان.....113
- شکل (5-31): نمونه ای از منحنی های مقایسه شده از نتایج به دست آمده از مقاله ی خانم ماکویی.....114
- شکل (5-32): فیبر نوری RII طراحی شده در این پایان نامه.....114

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
31.....	جدول (1-2): تغییرات $n$ ، $\frac{dn}{d\lambda_0}$ و $\frac{d^2n}{d\lambda_0^2}$ برای سیلیکای خالص
86.....	جدول (1-5): آمیزش با پوشش بیت
87.....	جدول (2-5): عملکرد جهش در الگوریتم ژنتیک
.....	جدول (3-5): پارامترهای هندسی و نوری به دست آمده از اجرای الگوریتم ژنتیک برای تابع مجموع
89.....	فاکتور پهن شدگی با تابع وزن‌های گوسین
90.....	جدول (4-5): پارامترهای پاشیدگی به دست آمده از شکل (2-5)
.....	جدول (5-5): پارامترهای هندسی و نوری به دست آمده از اجرای الگوریتم ژنتیک برای تابع مجموع
91.....	فاکتور پهن شدگی با تابع وزن‌های مثلثی
92.....	جدول (6-5): پارامترهای پاشیدگی به دست آمده از شکل (5-5)
.....	جدول (7-5): پارامترهای هندسی و نوری به دست آمده از اجرای الگوریتم ژنتیک برای تابع مجموع
93.....	فاکتور پهن شدگی با تابع وزن‌های سینک
94.....	جدول (8-5): پارامترهای پاشیدگی به دست آمده از شکل (8-5)
.....	جدول (9-5): پارامترهای هندسی و نوری به دست آمده از اجرای الگوریتم ژنتیک برای تابع مجموع
95.....	فاکتور پهن شدگی با تابع وزن‌های پالسی
96.....	جدول (10-5): پارامترهای پاشیدگی به دست آمده از شکل (10-5)
.....	جدول (11-5): پارامترهای هندسی و نوری به دست آمده از اجرای الگوریتم ژنتیک برای تابع هزینه
97.....	پاشیدگی وزن دار شده با تابع وزن‌های گوسین
98.....	جدول (12-5): پارامترهای پاشیدگی به دست آمده از شکل (12-5)
.....	جدول (13-5): پارامترهای هندسی و نوری به دست آمده از اجرای الگوریتم ژنتیک برای تابع هزینه
99.....	پاشیدگی وزن دار شده با تابع وزن‌های مثلثی
100.....	جدول (14-5): پارامترهای پاشیدگی به دست آمده از جدول (15-5)
.....	جدول (15-5): پارامترهای هندسی و نوری به دست آمده از اجرای الگوریتم ژنتیک برای تابع مجموع
102.....	فاکتور پهن شدگی با تابع وزن‌های گوسین
102.....	جدول (16-5): پارامترهای پاشیدگی به دست آمده از شکل (17-5)
.....	جدول (17-5): پارامترهای هندسی و نوری به دست آمده از اجرای الگوریتم ژنتیک برای تابع مجموع
104.....	فاکتور پهن شدگی با تابع وزن‌های مثلثی
104.....	جدول (18-5): پارامترهای پاشیدگی به دست آمده از شکل (20-5)
.....	جدول (19-5): پارامترهای هندسی و نوری به دست آمده از اجرای الگوریتم ژنتیک برای تابع مجموع
105.....	فاکتور پهن شدگی با تابع وزن‌های پالسی
106.....	جدول (20-5): پارامترهای پاشیدگی به دست آمده از شکل (23-5)



- جدول (5-21): پارامترهای هندسی و نوری به دست آمده از اجرای الگوریتم ژنتیک برای تابع هزینه پاشیدگی وزن دار شده با تابع وزن‌های گوسین..... 107
- جدول (5-22): پارامترهای پاشیدگی به دست آمده از شکل (5-26)..... 109
- جدول (5-23): پارامترهای هندسی و نوری به دست آمده از اجرای الگوریتم ژنتیک برای تابع هزینه پاشیدگی وزن دار شده با تابع وزن‌های مثلثی..... 109
- جدول (5-24): پارامترهای پاشیدگی به دست آمده از جدول (5-23)..... 110

## **فصل اول**

### **مقدمه‌ای بر سیستم‌های ارتباطی نوری**

## مقدمه

با ایجاد پیشرفت در ساخت فیبر نوری، نسل جدیدی از سیستم‌های ارتباطی بوجود آمدند که توانستند اطلاعات را با سرعت بالایی به فواصل دورتری انتقال دهند. بنابراین از سال 1975 به بعد، مطالعات فراوانی برای ایجاد توسعه در ساختار شبکه‌های نوری و حل مشکلات مربوطه انجام شد که در نتیجه‌ی این مطالعات، پیشرفت چشم‌گیری در شبکه‌های فیبر نوری صورت گرفت. اما هنوز هم که هنوز است، فیبرهای نوری در کنار دو مشکل تلفات فیبر و اثرات غیر خطی، دارای مشکل عمده‌تری بنام پاشیدگی می‌باشند. امروزه با وجود تقویت‌کننده‌های نوری، مشکل مربوط به تلفات انباشته شده در فاصله انتقال، تا حد زیادی حل گردیده است. و تلاش برای حل مشکلات غیر خطی تا حد زیادی اثر این پدیده را تعدیل کرده است. اما با وجود روش‌های مختلفی برای جبران‌ساز پاشیدگی، هنوز تلاش برای بهبود و حذف هرچه بهتر اثر این پدیده ادامه دارد. امروزه پاشیدگی به عنوان یک پارامتر محدود کننده برای ارسال اطلاعات در سیستم‌های مخابرات نوری پرطرفیت مطرح است. پس از رفع معضل اساسی افت در فیبرهای نوری و امکان استفاده از طول موج  $1550nm$ ، مسئله‌ی پاشیدگی به طور جدی‌تری در سیستم‌های جدید مخابرات نوری از قبیل WDM و DWDM مطرح شده است.

روش‌های مختلفی برای جبران و کنترل پاشیدگی در سال‌های اخیر مطرح شده‌اند. روش الکترواپتیکی و روش تمام نوری دو شاخه‌ی اصلی از روش‌های موجود برای کنترل پاشیدگی هستند. با توجه به محدودیت‌های روش‌های الکترواپتیکی، روش تمام نوری از ارجحیت برخوردار است. استفاده از ساختار موج‌بری خاص فیبر، چند لایه کردن آن با طراحی مناسب نمایه ضریب شکست، قابلیت کنترل و یا حذف پاشیدگی رنگی را خواهد داشت.

فیبرهای مختلف برای حذف یا کاهش پاشیدگی در پنجره‌های مختلف طول موجی در دهه گذشته مورد بررسی و استفاده در سیستم‌های مخابراتی قرار گرفته‌اند. فیبرهایی از قبیل  $DSF^1$  و  $NZ-DSF^2$  که طی روند رشد سیستم‌های مخابرات نوری از آنها استفاده شده است، از آن جمله‌اند. فیبرهای  $DSF$  به خاطر مسائل غیر خطی کنار گذاشته شده‌اند و در حال حاضر فیبرهای  $NZ-DSF$  مورد استفاده

---

<sup>1</sup>Dispersion-Shifted Fibers

<sup>2</sup>Non Zero Dispersion-Shifted Fibers

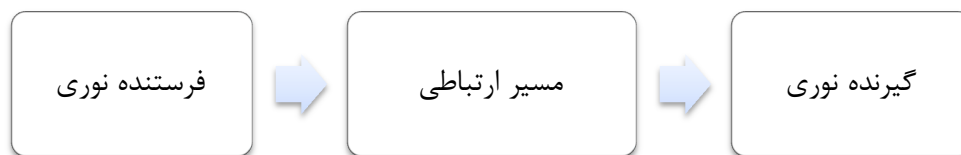
قرار می‌گیرند. از فیبرهای دیگری که به کمک با فیبرهای چند لایه ایجاد می‌شوند،  $DFF^1$  و  $DCF^2$  را می‌توان نام برد.

فیبر سه لایه با نمایه  $W$  به خاطر یک سری خصوصیات جالب در شیفت پاشیدگی، سوژه‌ی مناسبی برای محققان بوده است. فیبر  $W$  یک حالت ویژه از فیبر سه لایه است که به فیبر با پوشش داخلی فرورفته معروف است.

## 1-1- معرفی سیستم‌های مخابرات نوری

استفاده از نور برای انجام مخابرات با پیدایش انسان شروع شد یا به بیان دقیق‌تر انسان با تکامل خویش استفاده بهتر و بیشتر از نور را فرا گرفت. از سال 1960 که لیزر اختراع شد، دانشمندان توجه خاصی به استفاده از نور جهت انتقال اطلاعات مبذول داشتند. استفاده همه‌گیر از نور جهت انتقال اطلاعات پس از سال 1970 که لیزر نیمه رسانا و فیبر نوری با تلفات کم پا به عرصه وجود گذاشت آغاز شد. نتایج تحقیقات سال‌های اخیر نشان داده که فیبر نوری در مقایسه با سایر خطوط انتقال دارای ظرفیت مخابراتی بسیار بیشتر و تلفات کمتر است. به این ترتیب مخابرات با فیبر نوری فن آوری جدیدی است که توجه خاصی را در سراسر دنیا به خود معطوف کرده است.

تفاوت سیستم‌های نوری با سیستم‌های میکروویو تنها در محدوده فرکانسی موج حامل مورد استفاده برای حمل اطلاعات است. فرکانس حامل نوری ( $200\text{ THz}$ ) است در حالیکه فرکانس حامل میکروویو در حدود  $1\text{ GHz}$  است. افزایش ظرفیت سیستم‌های مخابرات نوری با ضریب بالاتر از 10000 قابل انتظار است و این به دلیل فرکانس بالای کریر می‌باشد. این افزایش به این صورت قابل فهم است که پهنای باند کریر مدوله شده در حد چند درصد فرکانس کریر است. با گرفتن این مقدار در حد 1٪، سیستم‌های مخابرات نوری قابلیت حمل اطلاعات در حدود  $\text{Tb/s}$  را دارند. شکل (1-1)، بلوک دیاگرام سیستم مخابرات نوری را نشان می‌دهد [1].



شکل (1-1): بلوک دیاگرام سیستم مخابرات نوری

سیستم مخابرات نوری دارای سه بلوک اساسی می‌باشد:

### 1- فرستنده نوری<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dispersion-Flattened Fibers

<sup>2</sup> Dispersion Compensation Fiber