دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی برق و الکترونیک گروه الکترونیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق گرایش الکترونیک

بهبود محدوده طیفی آزاد و فیلترینگ با استفاده از ریز تشدیدکننده های حلقوی برای استفاده در سیستم های مخابراتی DWDM با امواج سالیتونی

نگارش:

عصمت رفیعی کراچی

استاد راهنما:

دکتر فرزین امامی

استاد مشاور:

دکتر نجمه نزهت

دی ماه ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

بهبود محدوده طیفی آزاد و فیلترینگ با استفاده از ریز تشدیدکننده های حلقوی برای استفاده در سیستم های مخابراتی DWDM با امواج سالیتونی

پایان نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیتهای تحصیلی

نگارش:
عصمت رفیعی کراچی

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

گروه الکترونیک دانشکده مهندسی برق و الکترونیک
دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان نامه توسط هیات داوران با درجه: عالی

دکتر فرزین امامی دانشیار در رشته مهندسی برق _ الکترونیک (استاد راهنما)

دکتر نجمه نزهت استادیار در رشته مهندسی برق _ مخابرات (استاد مشاور)

دکتر شاهرخ جم دانشیار در رشته مهندسی برق _ مخابرات (داور)

دکتر محمدرضا صالحی دانشیار در رشته مهندسی برق _ الکترونیک (داور)

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

اینجانب عصمت رفیعی کراچی دانشجوی رشته مهندسی برق-الکترونیک مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد به شماره دانشجویی ۹۰۱۱۴۰۵۵تأیید می نماید کلیه نتایج این پایان نامه/رساله، بدون هیچگونه دخل و تصرف ، حاصل مستقیم پژوهش صورت گرفته توسط اینجانب است. در مورد اقتباس مستقیم و غیر مستقیم از سایر آثار علمی، اعم از کتاب، مقاله، پایان نامه با رعایت امانت و اخلاق علمی، مشخصات کامل منبع مذکور درج شده است.

در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص مقامات ذی صلاح دانشگاه صنعتی شیراز، مطابق قوانین و مقررات مربوط و آئین نامه های آموزشی، پژوهشی و انضباطی عمل خواهد شد و اینجانب حق هرگونه اعتراض و تجدیدنظر را، نسبت به رأی صادره، از خود ساقط می کند. همچنین، هرگونه مسئولیت ناشی از تخلف نسبت به صحت و اصالت نتایج مندرج در پایان نامه/رساله در برابر اشخاص ذی نفع (اعم از حقیقی و حقوقی) و مراجع ذی صلاح (اعم از اداری و قضایی) متوجه اینجانب خواهد بود و دانشگاه صنعتی شیراز هیچ گونه مسئولیتی دراین زمینه نخواهند داشت.

تبصره ۱- کلیه حقوق مادی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تبصره ۲- اینجانب تعهد می نماید بدون اخذ مجوز از دانشگاه صنعتی شیراز دستاوردهای این پایان نامه/ رساله را منتشر نکند و یا در اختیار دیگران قرار ندهد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: عصمت رفیعی کراچی

تاریخ و امضاء

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج پایان نامه متعلق به دانشگاه و انتشار نتایج نیز تـابع مقرارت دانشگاهی است و با موافقت استاد راهنما به شرح زیر، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد راهنما: دکتر فرزین امامی

تاریخ:

امضا:

تقدیم به

پدر و مادر عزیز، دلسوز و مهربانم که آرامش روحی و آسایش فکری فراهم نمودند تا با حمایت های همه جانبه در محیطی مطلوب، مراتب تحصیلی و نیز پایان نامه درسی را به نحو احسن به اتمام برسانم.

«من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق »

همچنین بسی شایسته است از اساتید فرهیخته و فرزانه
جناب آقای دکتر فرزین امامی و سرکار خانم دکتر نجمه نزهت
که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی‌ها و مشاوره‌های کار ساز و سازنده بارور ساختند تقدیر و تشکر نمایم.
(و یزکیهم و یعلمهم الکتاب و الحکمه).

معلما مقامت ز عرش برتر باد
همیشه توسن اندیشه‌ات مظفر باد
به نکته های دلاویز و گفته‌های بلند
صحیفه‌های سخن از تو علم پرور باد

چکیده

بهبود محدوده طیفی آزاد و فیلترینگ با استفاده از ریز تشدیدکننده های حلقوی برای استفاده در سیستم های مخابراتی DWDM با امواج سالیتونی

نگارش:

عصمت رفیعی کراچی

استفاده از مخابرات نوری به‌علت سرعت، دقت و امنیت بالای آن امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است. پالس سالیتون به علت خواص منحصر به‌فرد آن ایده‌آل‌ترین میدان اپتیکی در سیستم‌های مخابرات نوری است. یکی از مهمترین کاربردهای انتشار پالس سالیتونی در ریزتشدیدکننده‌های حلقوی در سیستم های مخابراتی DWDM است. در سیستم‌های مخابراتی DWDM مشخصه محدوده طیفی آزاد از اهمیت بالایی برخوردار است. در این تحقیق تأثیر پارامترهای ساختاری بر مشخصات سیستمِ شامل ریزتشدیدکننده های حلقوی و فیلتر اضافه‌ای-نشتی بررسی و شبیه‌سازی شده‌است. شعاع ریزتشدیدکننده حلقوی، ضخامت و ارتفاع موجبرها و ریزتشدیدکننده‌ها و فاصله بین ریزتشدیدکننده‌های حلقوی و موجبرها از جمله پارامترهای ساختاریِ بررسی شده هستند. محدوده طیفی آزاد، ضریب کوپلینگ و بهره نوری نیز مشخصات خروجی حاصل‌شده هستند. در ادامه خواهیم دید که با تغییر شعاع ریزتشدیدکننده‌ها محدوده طیفی آزاد در بازه 350pm تا 720pm و با تغییر ضخامت ریزتشدیدکننده‌ها محدوده طیفی آزاد در بازه 586pm تا 645pm متغیر خواهند بود. بنابراین می‌توان در سیستم‌های مخابراتی DWDM با کاهش محدوده طیفی آزاد تعداد کانال‌های مخابراتی را افزایش داد که بهبودِ عملکرد سیستم را در پی خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: ریزتشدیدکننده حلقوی، سالیتون، ضریب کوپلینگ، محدوده طیفی آزاد.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱-مقدمه ۲

۱-۲-ریزتشدیدکننده حلقوی ۳

۱-۳-سالیتون ۵

۱-۳-۱- سالیتون در اپتیک ۶

۱-۴- انتشار سالیتون‌ها در ریزتشدیدکننده‌های حلقوی ۷

۱-۵- تسهیم‌سازی ۸

۱-۵-۱- انواع روش‌های تسهیم سازی ۸

۱-۵-۲- انواع تسهیم‌سازی تقسیم طول موج ۹

۱-۵-۳- توسعه و پیشرفت در اجزای DWDM ۱۲

۱-۵-۴- تکنولوژی‌های نوری برای DWDM ۱۳

۱-۶- هدف تحقیق و اهمیت آن ۱۳

۱-۷- بخش‌های پایان نامه ۱۴

فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده ۱۶

۲-۱- ریزتشدیدکننده‌های حلقوی ۱۷

۲-۱-۱- تشدیدکننده حلقوی یکه ۱۷

۲-۱-۲- پارامترهای ریز تشدیدکننده حلقوی ۲۳

۲-۱-۳- مروری بر تحقیقات انجام شده بر روی ریزتشدیدکننده حلقوی ۲۹

۲-۲- سالیتون ۳۰

۲-۲-۱- سالیتون‌های زمانی ۳۱

۲-۲-۲- سالیتون‌های اپتیکی ۳۱

۲-۲-۳- تاریخچه مختصری از پالس سالیتونی ۳۲

۲-۳- مروری بر تحقیقات انجام‌شده در زمینه انتشار سالیتون در ریزتشدیدکننده حلقوی ۳۳

۲-۳-۱- بررسی و مطالعه مشخصه های پالس‌های سالیتونی تیره در ریزتشدیدکننده های حلقوی ۳۳

۲-۳-۲- استفاده از تبدیل سالیتون های تیره به روشن در سیستم ریزتشدیدکننده های حلقوی برای استفاده در سیستم مخابراتی کوانتومی ۳۷

۲-۳-۳- استفاده از سالیتون تاریک جهت امنیت سیگنال‌ها ۴۲

۲-۳-۴- انتشار و فیلترینگ سالیتون در سیستم ریزتشدیدکننده‌های حلقوی ۴۴
۲-۳-۵- تولید سالیتون گاوسی با پالس نوری ۱/۳μm در سیستم ریزتشدیدکننده‌های حلقوی ۵۰

فصل سوم: روش پیشنهادی برای حل مسئله ۵۴

۳-۱- مفاهیم پایه ۵۵
۳-۱-۱- معادله اساسی انتشار ۵۵
۳-۲- اثرات خطی اپتیکی ۵۷
۳-۲-۱- تلفات ۵۸
۳-۲-۲- پاشندگی سرعت گروه ۶۰
۳-۲-۳- پاشندگی مرتبه بالاتر ۶۲
۳-۲-۴- پاشندگی حاصل از پلاریزاسیون مُد ۶۳
۳-۳- اثرات غیرخطی اپتیکی ۶۳
۳-۳-۱- پراکندگیِ نور برانگیخته ۶۴
۳-۳-۲- مدولاسیون غیرخطی فاز ۶۶
۳-۳-۳- ترکیب امواج چهارگانه ۶۸
۳-۴- معادله غیرخطی شرودینگر ۶۹
۳-۴-۱- سالیتون‌های روشن ۷۱
۳-۴-۲- سالیتون‌های تاریک ۷۳
۳-۵- ملاحظه تلفات در فیلترهای تشدیدکننده حلقوی ۷۶
۳-۶- روابط وابسته به زمان ۷۶
۳-۷- انتشار سالیتون ۷۹
۳-۷-۱- مقایسه موجبرهای مستقیم با تشدیدکننده‌های حلقوی ۷۹
۳-۷-۲- تداخل سالیتون‌ها ۸۰
۳-۷-۳- چِرپ فرکانسی ۸۳
۳-۸- سالیتون با تلفاتِ مدیریت شده ۸۵
۳-۸-۱- تقویتِ فشرده ۸۷
۳-۸-۲- تقویتِ توزیع شده ۸۸
۳-۹- سالیتون با پاشندگی مدیریت‌شده ۹۳
۳-۹-۱- فیبرهای با پاشندگی کاهشی ۹۳
۳-۹-۲- الگوی پاشندگی پریودیک ۹۴
۳-۱۰- اثرات نویزِ تقویت‌کننده ۹۵

۳-۱۱- نوسانات انرژی و فرکانس ۹۸
۳-۱۲- اختلال زمانی ۱۰۰
۳-۱۳- انتشار سالیتون در ریزتشدیدکننده حلقوی ۱۰۴
۳-۱۳-۱- بررسی آثار خطی در نحوه انتشار سالیتون در ریزتشدیدکننده‌های حلقوی ۱۰۵
۳-۱۳-۲- بررسی آثار غیرخطی بر نحوه انتشار سالیتون در ریزتشدیدکننده‌های حلقوی .. ۱۰۷

فصل چهارم: نتایج شبیه‌سازی های و بررسی آن‌ها ۱۱۰

۴-۱- تأثیر پارامترهای ساختاری بر طول موج مرکزی فیلتر اضافه‌ای-نشتی ۱۱۲
۴-۲- تأثیر پارامترهای ساختاری بر محدوده طیفی آزاد و بهبود آن ۱۱۵
۴-۲-۱- اثر شعاع ریزتشدیدکننده حلقوی بر محدوده طیفی آزاد ۱۱۵
۴-۲-۲- اثر ضخامت و ارتفاع بر محدوده طیفی آزاد ۱۱۹
۴-۳- بررسی آثار پارامترهای ساختاری بر ضریب کوپلینگ ۱۲۴
۴-۳-۱- اثر ضخامت و ارتفاع بر ضریب کوپلینگ ۱۲۴
۴-۳-۲- اثر فاصله بین ریزتشدیدکننده حلقوی و موجبر مستقیم بر ضریب کوپلینگ ۱۲۶
۴-۴- اثرات پارامترهای ساختاری بر بهره خروجی ۱۲۷
۴-۴-۱- تأثیر شعاع ریزتشدیدکننده حلقوی بر بهره نوری ۱۲۷
۴-۴-۲- تأثیر ضخامت و ارتفاع بر بهره نوری ۱۲۷
۴-۴-۳- اثر فاصله بین ریزتشدیدکننده حلقوی و موجبر مستقیم بر بهره نوری ۱۲۸

فصل پنجم: جمع‌بندی وپیشنهادها ۱۳۱

جمع بندی ۱۳۲

مراجع ۱۳۷

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱ : ریزتشدیدکننده حلقوی در قالب گره پایه [۱].....۴

شکل۱-۲ : (الف) سالیتون روشن ، (ب) سالیتون تاریک ۷

شکل ۱-۳ : شماتیک تسهیم ساز تقسیم طول موج نقطه-نقطه [۶].....۱۰

شکل ۱-۴ : شماتیکی از سیستم انتشار و انتخاب [۶].....۱۱

شکل ۱-۵ : شماتیک ساختار DWDM با حلقه [۶].....۱۱

شکل ۲-۱ : مشخصه فیلتری ریزتشدیدکننده حلقوی پایه [۱].....۲۰

شکل ۲-۲ : شماتیک یک فیلتر اضافه‌ای- نشتی [۱].....۲۱

شکل ۲-۳ : مشخصه فیلتری یک فیلتر اضافه‌ای- نشتی [۱].....۲۳

شکل ۲-۴ : شماتیک نشان‌دهنده محدوده طیفی آزاد (FSR).....۲۴

شکل ۲-۵ : شماتیک نشان‌دهنده مشخصه FWHM.....۲۵

شکل ۲-۶ : اثر GVD و SPM بر پالس سالیتونی[۹].....۳۱

شکل ۲-۷ : شماتیکی از یک موجبر ساده و پالس سالیتونی تاریک اعمالی به آن [۱۳].....۳۴

شکل ۲-۸ : نمودار (الف) شدت ورودی در یک دور ، (ب) شدت خروجی در یک دور ، (ج) شدت خروجی بر حسب ورودی [۱۳].....۳۷

شکل ۲-۹ : سیستم ریزتشدیدکننده های حلقوی و فیلتر اضافه‌ای- نشتی (سیستم PANDA) [۱۵].۳۹

شکل ۲-۱۰ : شماتیکی از پالسهای سالیتونی در درگاههای Input,Control و Drop,Through [۱۵].....۴۰

شکل۲-۱۱ : شماتیکی از شدت سیگنال بر حسب طول موج در (الف) نمودار E_1 و (ب) نمودار

E_2 و (ج) نمودار E_3 و (د) نمودار E_4 و (ه) نمودار خروجی های Through و Drop [۱۵]..... ۴۱

شکل ۲-۱۲ : شماتیکی از سیستم PANDA یه انضمام RP وPBS [۱۵و۱۷]..... ۴۲

شکل ۲-۱۳: شماتیک تولید فوتون قطبی‌شده در یک ریزتشدیدکننده حلقوی و مؤلفه‌های قطبی شده فوتون به‌دام افتاده [۱۹]..... ۴۳

شکل۲-۱۴: یک سیستم تولید باند پهن (الف) با دو ریزتشدیدکننده و یک فیلتر، (ب) با دو ریزتشدیدکننده و بخش ذخیره‌سازی و یک فیلتر [۲۴]..... ۴۶

شکل ۲-۱۵ : (الف) نمودار ورودی در زمان (ب) خروجی R_1 در زمان (ج) خروجی R_2 در زمان (د) خروجی فیلتر اضافه‌ای- نشتی در طول موج [۲۴]..... ۵۰

شکل ۲-۱۶ : شماتیکی از ریزتشدیدکننده‌های حلقوی و فیلتر اضافه‌ای- نشتی [۳۳]..... ۵۱

شکل ۲-۱۷ : (الف) ورودی، (ب) خروجی ریزتشدیدکننده R_1 ، (ج) خروجی ریزتشدیدکننده R_2 ، (د) خروجی فیلتر اضافه‌ای- نشتی [۳۳]..... ۵۳

شکل ۲-۱۸ : شماتیک خروجی فیلتر اضافه‌ای- نشتی و تعیین FSR [۳۳]..... ۵۳

شکل ۳-۱ : اسپکتروم تلفات یک فیبر تک مُد[۴]..... ۵۹

شکل ۳-۲ : نمودار پاشندگی برای سه نوع فیبر [۸]..... ۶۲

شکل ۳-۳ : (الف) شدت، (ب) فاز سالیتون‌های تاریک به‌ازای مقادیر متفاوت ϕ [۹]..... ۷۵

شکل ۳-۴ : قالب RZ برای دنباله بیت‌های سالیتونی..... ۸۰

شکل ۳-۵ : تغییرات زوج سالیتونی در حین انتشار به ازای مقادیر متفاوت r و θ [۴]..... ۸۲

شکل ۳-۶ : تغییرات پالس سالیتون چِرپ دار شده برای حالت N=1 و C=0.5 [۴]..... ۸۴

شکل ۳-۷ :پهن‌شدگیِ سالیتون پایه در اثر تلفات موجبر [۴]..... ۸۶

شکل ۳-۸ :شماتیکی از (الف) تقویتِ فشرده ، (ب) تقویتِ توزیع‌شده [۴]..... ۸۷

شکل ۳-۹ : تغییرات انرژی سالیتون نسبت به طول انتشار برای پمپ در جهت عقب (خطِ پر)، پمپ در هر دو جهت (خط‌چین) و تقویتِ فشرده (نقطه‌چین) [۴]..... ۹۰

شکل ۳-۱۰ : شماتیک ایجاد الگوی پریودیک پاشندگی در حلقه..... ۱۰۸

شکل ۴-۱ : شماتیک سیستم شبیه‌سازی شده [۲]..... ۱۱۱

شکل ۴-۲ : شماتیکی از تغییرات طول موج مرکزی بر حسب شعاع ریزتشدیدکننده.....۱۱۲

شکل ۴-۳ : شماتیکی از تغییرات طول موج مرکزی بر حسب ضخامت.....۱۱۳

نمودار ۴-۴ : شماتیکی از تغییرات طول موج مرکزی بر حسب فاصله.....۱۱۴

شکل ۴-۵ : نمودارهای ورودی و خروجی‌های زمانی و اسپکترومی شبیه‌سازی شده.....۱۱۷

شکل ۴-۶ : تغییرات ضریب کوپلینگ برحسب تغییرات ضخامت و ارتفاع برای(الف) R=5μm ،(ب) R=10μm ، (ج) R=15μm ، (د) R=20μm.....۱۲۵

شکل ۴-۷ : تغییرات ضریب کوپلینگ برحسب تغییرات فاصله بین ریزتشدیدکننده و موجبر برای، (الف)R=5μm و W=0.36μm، (ب) R=10μm و W=0.42μm، (ج) R=15μm و W=0.54μm..... ۱۲۶

شکل ۴-۸ : تغییرات بهره نوری برحسب تغییرات شعاع ریزتشدیدکننده حلقوی.....۱۲۷

شکل ۴-۹ : تغییرات بهره نوری برحسب تغییرات ضخامت و ارتفاع..... ۱۲۸

شکل ۴-۱۰ : تغییرات بهره نوری برحسب تغییرات فاصله بین ریزتشدیدکننده حلقوی و موجبر مستقیم..... ۱۲۸

فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۱ : پارامترهای شبیه‌سازی انتشار پالس سالیتونی تاریک..... ۳۶

جدول ۲-۲ : پارامترهای شبیه‌سازی انتشار پالس سالیتونی..... ۴۹

جدول ۲-۳ : پارامترهای شبیه‌سازی انتشار پالس سالیتونی..... ۵۲

جدول ۴-۱ : مشخصات فیلتر اضافه‌ای- نشتی..... ۱۱۱

جدول ۴-۲ : پارامترهای ثابت موجبر برای شبیه‌سازی..... ۱۱۵

جدول ۴-۳ : پارامترهای ثابت سیگنال ورودی برای شبیه‌سازی..... ۱۱۶

جدول ۴-۴ : تغییر شعاع ریزتشدید کننده حلقوی در فیلتر اضافه‌ای-نشتی..... ۱۱۶

جدول ۴-۵ : اثر تغییر شعاع ریزتشدید کننده حلقوی در فیلتر اضافه‌ای- نشتی برFSR..... ۱۱۷

جدول ۴-۶ : اثر تغییر شعاع ریزتشدید کننده حلقوی R_1 بر FSR..... ۱۱۸

جدول ۴-۷ : اثر تغییر شعاع ریزتشدید کننده حلقوی R_2 بر FSR..... ۱۱۸

جدول ۴-۸ (الف) : تغییر ضخامت و ارتفاع R_d ۱۲۰

جدول ۴-۸ (ب) : تغییر ضخامت و ارتفاع R_d..... ۱۲۰

جدول ۴-۸ (ج) : تغییر ضخامت و ارتفاع R_d ۱۲۱

جدول ۴-۸ (د) : تغییر ضخامت و ارتفاع R_d ۱۲۱

جدول ۴-۹ (ج) : تغییر ضخامت و ارتفاع R_1 ..... ۱۲۲

جدول ۴-۹(ب) : تغییر ضخامت و ارتفاع R_1 ..... ۱۲۲

جدول ۴-۹ (الف) : تغییر ضخامت و ارتفاع R_1 ..... ۱۲۳

جدول ۴-۱۰(ب) : تغییر ضخامت و ارتفاع R_2 .....۱۲۳

جدول ۴-۱۰(الف) : تغییر ضخامت و ارتفاع R_2 .....۱۲۴

جدول ۴-۱۱ : مقایسه نتایج حاصل شده از شبیه‌سازی‌ها با نتایج مقالات ۱۲۹

فهرست نشانه‌های اختصاری

زمان	t
طول موج	λ
محیط	L
ثابت انتشار	β
فرکانس زاویه ای	ω
عدد موج	k
ضریب کوپلینگ	κ
ضریب تضعیف	α
سرعت گروه	v_g
ضریب شکست مؤثر	n_{eff}
ضریب شکست گروه	n_g
پارامتر پاشندگی	D
پارامتر پاشندگی ماده	D_m
پارامتر پاشندگی موجبر	D_w
پارامتر پاشندگی دیفرانسیلی	S
زاویه	θ
طول اثر غیرخطی	L_{NL}
طول اثر پاشندگی	L_D
پارامتر چِرپ	C
دوره تناوب	T

فهرست کلمات اختصاری

ASE	Amplified Spontaneous Emission
AWG	Arrayed Waveguide Grating
D-C	Double-Clad
DDF	Dispersion-Decreasing Fiber
DMS	Dispersion-Management Soliton
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
FDTD	Finite-Diffeence Time-Domain
FSR	Free Spectral Range
FWHM	Full Width at Half Maximum
FWM	Four Wave Mixing
GD	Grating Device
GVD	Group-Velocity Dispersion
LCD	Liquid Crystal Display
MRR	Micro-Ring Resonator
NLSE	Nonlinear Schrodinger Equation
NRZ	Non Return to Zero
PMD	Polarization-Mode Dispersion
POE	Passive Optical Element
Q-C	Quadruple-Clad
QKD	Quantum Key Distribution
RZ	Return to Zero
SBS	Stimulated Brillouin Scattering
S-C	Single-Clad
SNR	Signal to Noise Ratio
SOA	Semiconductor Optical Amplifier
SPM	Self Phase Modulation
SRS	Stimulated Raman Scattering
SSFS	Soliton Self-Frequency Shift
TOD	Third Order Dispersion
XPM	Cross Phase Modulation

فصل اول: مقدمه