

عنوان مقاله: ارزیابی عملکرد استراتژی‌های بقاء برای شبکه‌های نوری الاستیک تحت اختلالات لایه فیزیکی

تهیه کننده: حجت صالحی
 رشته شغلی: کارشناس و مسوول شبکه انتقال
 حوزه تحقیقاتی مورد نیاز شرکت: شبکه انتقال

مدرک تحصیلی: کارشناسی ارشد مخابرات
 اداره کل: مدیریت زیرساخت استان اصفهان
 شماره ردیف حوزه تحقیقاتی: 76

چکیده

این مقاله، عملکرد دو استراتژی بقا (DPP و SM-RSA) را برای شبکه‌های نوری الاستیک با و بدون اختلالات لایه فیزیکی مقایسه می‌کند. سناریوهای ارزیابی شده شامل سه توپولوژی نماینده برای شبکه نوری الاستیک، NSFNET، EON و USA می‌باشد. همچنین افزایش احتمال انسداد با فرض وجود اختلالات لایه فیزیکی هنگامی که استراتژی‌های بقا تحت سناریوی واقع‌بینانه ارزیابی می‌شوند را تحلیل می‌کند. برای همه توپولوژی‌های مورد مطالعه در زیر لایه فیزیکی اختلالات، استراتژی‌های بقا به احتمال مسدود کردن بالای 80 درصد دست یافتند.

کلمات کلیدی: شبکه نوری الاستیک، قابلیت بقا، اختلال لایه فیزیکی

1- مقدمه

رشد تعداد کاربران اینترنت و ظهور اپلیکیشن‌های جدید نیازمند بهبود شبکه انتقال نوری است. اخیراً، شبکه نوری مبتنی بر مالتی پلکسینگ تقسیم فرکانس متعامد (OFDM) یکی از روش‌های اصلی برای انجام این تکامل در نظر گرفته شده است. با استفاده از OFDM، طیف نوری به اسلات‌های فرکانسی با عرض 12.5 گیگاهرتز تقسیم می‌شود و برای هر مدار می‌توان تعداد متفاوتی از اسلات‌ها را اختصاص داد [1]. بنابراین، یک شبکه نوری OFDM می‌تواند طیفی را برای یک مدار نوری بر اساس نیازهای پهنای باند اختصاص دهد. این نسل جدید از شبکه‌های انتقال نوری به دلیل تخصیص منعطف پهنای باند به دست آمده توسط OFDM، شبکه نوری الاستیک (EON) نامیده می‌شوند. EON در مقایسه با مالتی پلکسینگ تقسیم طول موج (WDM) از طیف نوری کارآمدتر استفاده می‌کند.

مساله مسیریابی و تخصیص طیف (RSA) باید برای ایجاد یک مدار نوری در یک EON حل شود [2]. مساله RSA در تعریف یک مسیر برای یک جفت گره منبع-مقصد معین در نظر گرفته می‌شود. راه حل RSA باید یک محدوده طیف آزاد (یعنی مجموعه‌ای از اسلات‌های فرکانسی پیوسته) را در مسیر تعریف شده برای ایجاد مدار نوری انتخاب کند.

با این حال، در یک شبکه عملی، الگوهای ترافیک و توپولوژی شبکه به احتمال زیاد تغییر خواهند کرد. به عنوان مثال، حجم تردد لینک‌ها در شبکه‌های EON ظرفیت انتقال بالایی دارند، بنابراین خرابی لینک نشان‌دهنده از دست دادن حجم زیادی از داده بوده و بر خرابی تمام مدارهایی که از لینک قطع شده عبور می‌کنند تأثیر می‌گذارد. خرابی در EON ممکن است به معنای از دست دادن حجم زیادی از داده‌ها و قطع سرویس‌های حیاتی باشد. بنابراین، یک شبکه EON باید استراتژی‌هایی را اجرا کند تا تضمین کند که خرابی‌ها می‌توانند سریع و کارآمد بازسازی شوند. توانایی EON برای زنده ماندن پس از وقوع خرابی به عنوان بقای شبکه نوری شناخته می‌شود.

چندین مقاله برای بهبود عملکرد EON پیشنهاد شده است که در تعدادی از آن‌ها، الگوریتم‌های RSA جدیدی بکار رفته است.

در تعدادی از این بررسی‌ها، مساله RSA تحت اختلالات لایه فیزیکی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. مساله بقا در EON نیز در ادبیات مرتبط مورد مطالعه قرار گرفته است. تا آنجا که می‌دانیم، هیچ کاری برای تجزیه و تحلیل استراتژی‌های بقای نوری با در نظر گرفتن اختلالات لایه فیزیکی انجام نشده است. در یک زمینه واقعی‌تر، الگوریتم‌های RSA باید با توجه به احتمال شکست و اختلالات لایه فیزیکی مقایسه شوند. در این مقاله ما یک ارزیابی عملکرد را مطالعه و بررسی کردیم که دو استراتژی بقا را تحت اختلالات لایه فیزیکی با شبیه‌سازی کامپیوتری مقایسه می‌کند. در این مطالعه ما عملکرد استراتژی‌های بقا را با در نظر گرفتن سه توپولوژی شبکه مختلف تحلیل می‌کنیم.

بخش‌های باقی مانده از مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است. بخش 2 شبکه‌های نوری الاستیک را بررسی می‌کند. بخش 3 برخی از مفاهیم مهم بقا در EON و مطالعات مرتبط را مورد بحث قرار می‌دهد. مدل لایه فیزیکی که برای محاسبه آسیب‌های فیزیکی استفاده می‌شود در بخش 4 توضیح داده شده است. در بخش 5 یک مطالعه ارزیابی عملکرد با مقایسه تکنیک‌های بقا انجام شده است. در نهایت، بخش 6 برخی از نتایج را ارائه می‌کند.

2- شبکه نوری الاستیک

در یک شبکه نوری الاستیک، طیف نوری به فواصل فرکانسی 12.5 گیگاهرتز تقسیم می‌شود. مجموعه‌ای از اسلات‌ها باید در هر لینک از مسیر انتخاب شده برای ایجاد یک مدار نوری اختصاص داده شود. شکل 1 یک مثال ساده از تقسیم اسلات‌ها در فیبر نوری را نشان می‌دهد.



شکل 1: مثال ساده‌ای از تقسیم اسلات‌ها در فیبر نوری

شکل 1 یک فیبر نوری با 8 اسلات را نشان می‌دهد. هر اسلات دارای یک شاخص (1 تا 8) است. هر اسلات می‌تواند به طور جداگانه برای مدارهای نوری مختلف استفاده شود یا در یک مدار واحد جمع شود تا پهنای باند بزرگتری ارائه کند. به منظور ایجاد یک مدار نوری بین یک گره مبدا و یک گره مقصد، لازم است یک مسیر تعریف شود و یک طیف (یعنی مجموعه‌ای از اسلات‌ها) به هر لینک مسیر اختصاص داده شود. این مهم به عنوان مساله مسیریابی و تخصیص طیف (RSA) شناخته می‌شود. لازم است که اسلات‌های فرکانسی اختصاص داده شده در کل مدار نوری یکسان باشند. این اسلات‌های فرکانسی نیز باید در مجاورت یکدیگر باشند تا قید مجاورت طیف را برآورده کنند.

RSA را می‌توان با استفاده از دو رویکرد متمایز حل کرد: ترتیبی یا یکپارچه. در رویکرد ترتیبی، منابع در دو مرحله تخصیص می‌یابد. ابتدا مسیر با یک مسیریابی انتخاب می‌شود. در مرحله دوم، اسلات‌های فرکانسی در لینک‌های مسیر انتخاب شده تخصیص می‌یابند. در این حالت از یک الگوریتم مسیریابی و یک الگوریتم دیگر برای تخصیص اسلات فرکانس استفاده می‌شود. در رویکرد یکپارچه، مسیر و اسلات‌های فرکانس در یک مرحله و تنها با استفاده از یک الگوریتم انتخاب می‌شوند.

برخی از الگوریتم‌های تخصیص طیف دارای بیشترین استناد در مقالات عبارتند از: First Fit, Exact Fit و Last Fit. First Fit اسلات فرکانسی (مجموعه‌ای از اسلات‌ها) موجود با شاخص کمتر را انتخاب می‌کند. الگوریتم Exact Fit سعی می‌کند مجموعه‌ای از اسلات‌های موجود را با تعدادی اسلات برابر با درخواست مدار نوری اختصاص دهد. اگر هیچ مجموعه‌ای از اسلات برابر با مقدار اسلات‌های درخواستی وجود نداشته باشد، الگوریتم Exact Fit مجموعه‌ای از اسلات‌ها را با مقدار تقریبی اسلات برای ایجاد مدار نوری انتخاب می‌کند. الگوریتم Last Fit سعی می‌کند مجموعه‌ای از اسلات‌ها را در انتهای طیف نوری اختصاص دهد. مقدار اسلات فرکانسی استفاده شده در هر مدار نوری به فرمت مدولاسیون اتخاذ شده بستگی دارد [2]. یک فرمت مدولاسیون داده شده می‌تواند بیت‌های بیشتری را در هر نماد نسبت به سایرین انتقال دهد. به عنوان مثال، انتقال با فرمت 32QAM بیت‌های بیشتری در هر نماد نسبت به فرمت BPSK منتقل می‌کند. از طرفی فرمت BPSK به بردهای انتقال بالاتر از فرمت 32QAM دسترسی دارد. به این ترتیب بین تعداد بیت در هر نماد و برد بدست آمده مصالحه وجود دارد [6].

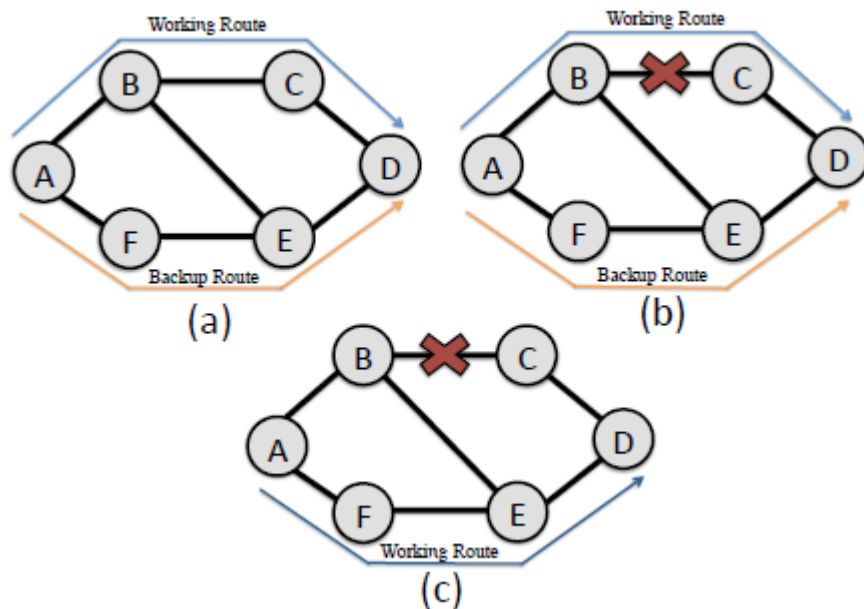
3- قابلیت بقا در شبکه‌های نوری الاستیک

در یک EON، مقدار داده‌های انتقال یافته زیاد است. یک زوج فیبر می‌تواند بین 10 تا 100 ترابیت در ثانیه منتقل کند [7]. بنابراین، خرابی در چنین شبکه‌ای ممکن است منجر به از دست رفتن حجم زیادی از داده‌ها و قطع سرویس‌های حیاتی شود. به عنوان مثال، گروه تحقیقاتی گارتنر در سال 2004 حدود 500 میلیون دلار به دلیل قطعی شبکه از دست داد [8]. به این ترتیب، در دسترس بودن بالا یک نیاز مهم است که باید در برنامه‌ریزی شبکه مورد توجه قرار گیرد. بنابراین، باید از استراتژی‌های بقا بمنتظر بهبود در دسترس بودن شبکه پس از وقوع قطعی استفاده کرد.

بقای نوری معمولاً به شکل یکی از استراتژی‌های حفاظت یا بازسازی طبقه‌بندی می‌شود [2]. استراتژی‌های حفاظتی شامل ذخیره منابع اضافی (قبل از وقوع قطعی) است که در یک قطعی احتمالی جایگزین منابع قطع شده می‌شود. در استراتژی‌های بازسازی، منابع اضافی تخصیص داده نمی‌شود. بازسازی تلاش می‌کند تا منابع را به منظور بازیابی خرابی پیدا کند.

علاوه بر این، استراتژی‌های بقای حفاظت و بازسازی را می‌توان برای یک لینک یا مسیر اعمال کرد [12]. در حفاظت/بازیابی لینک، استراتژی سعی می‌کند فقط لینک قطع شده را دور بزند. در حفاظت/بازیابی مسیر، استراتژی، کل مسیری را که حاوی لینک قطعی است تغییر می‌دهد (سپس از یک مسیر منفصل استفاده می‌شود).

حفاظت همچنین می‌تواند به یکی از دو نوع اختصاصی یا مشترک طبقه‌بندی شود. دو مسیر مجزا (اصلی و پشتیبان) برای هر درخواست مدار در حفاظت اختصاصی در نظر گرفته می‌شود. اولی به مسیر اصلی موسوم است و در صورت عدم وجود خرابی استفاده می‌شود. دومی، مسیر پشتیبان بوده و در صورتی استفاده می‌شود که هر یک از منابع مسیر اصلی با خرابی مواجه شود. منابع مسیر پشتیبان، اختصاصی و انحصاری برای دور زدن برخی از خرابی‌های مسیر اصلی است. از طرف دیگر، در حفاظت مشترک، منابع مسیر پشتیبان در میان سایر درخواست‌ها با بقیه مسیرها به اشتراک گذاشته می‌شوند. شکل 2 نمونه‌ای از حفاظت از مسیر اختصاصی برای توپولوژی A6NET را نشان می‌دهد.

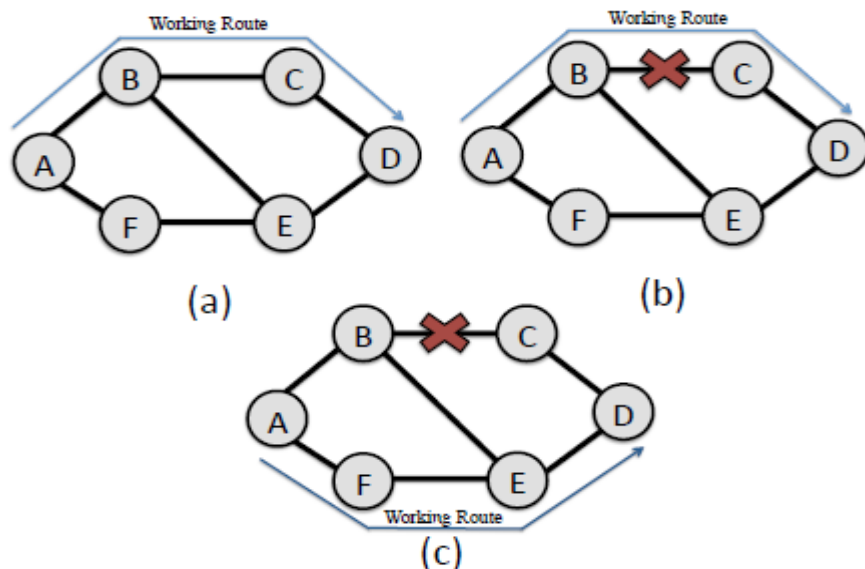


شکل 2: نمونه‌ای از حفاظت از مسیر اختصاصی

شکل 2 (الف) تخصیص دو مسیر مجزا برای پاسخ به درخواست مدار با جفت گره مقصد- مبدا (A, D) را نشان می‌دهد. مسیر اصلی A - B - C - D و مسیر پشتیبان A - F - E - D است. در شکل 2 (ب) لینک B - C از کار می‌افتد و استراتژی حفاظت از مسیر اختصاصی برای تغییر سیگنال نوری به مسیر پشتیبان کار می‌کند. به این ترتیب، اتصال (A, D) از قطعی لینک B - C جان سالم به در می‌برد.

بر خلاف حفاظت، استراتژی بازیابی یک رویکرد واکنشی است که سعی می‌کند قطعی را پس از وقوع آن دور بزند. بازسازی را می‌توان به دو نوع بازسازی پویا یا بازسازی از پیش محاسبه شده طبقه بندی کرد. در حالت اول، مسیر پشتیبان پس از وقوع قطعی محاسبه می‌شود. وضعیت شبکه را در نظر بگیرید. در مورد دوم، مسیر پشتیبان قبلاً محاسبه شده است، اما منابع تنها پس از وقوع خرابی تخصیص می‌یابند. توجه به این نکته مهم است که استراتژی بازیابی تضمین نمی‌کند که منابع در مسیر پشتیبان پس از وقوع خرابی در دسترس باشند. شکل 3 نمونه ای از بازیابی پویا برای توپولوژی A6NET را نشان می‌دهد.

شکل 3 (الف) استفاده از مسیر اصلی A - B - C - D را برای اتصال گره‌های A و D نشان می‌دهد. قبل از وقوع خرابی، هیچ مسیر پشتیبان محاسبه یا تخصیص داده نمی‌شود. بازیابی پویا فقط مسیر پشتیبان را پس از اینکه قطعی رخ داده است محاسبه می‌کند (شکل 3 (ب)). اگر منابع آزاد در مسیر پشتیبان وجود نداشته باشد، ارتباط قابل بازیابی نیست. شکل 3 (ج) مسیر پشتیبان محاسبه شده (A - F - E - D) را از طریق بازیابی پویا برای مصونیت اتصال بین گره‌های A و D نشان می‌دهد. استراتژی‌های بقای دیگری به عنوان جایگزینی برای استراتژی‌های کلاسیک پیشنهاد شده‌اند. نویسندگان [13] یک استراتژی بقا را بر اساس چند مسیر پیشنهاد کردند. در این استراتژی یک اتصال می‌تواند از مسیرهای نوری مختلف برای انتقال داده‌ها استفاده کند. این راه حل مسیریابی چند مسیری قابل بقا (SM-RSA) نامگذاری شده است. تخصیص طیف SM-RSA داده‌ها را با استفاده از N مسیر مجزا منتقل می‌کند. هدف آن کاهش تاثیر تکه‌تکه شدن طیف است. علاوه بر این، SM-RSA بقای اتصال را بهبود می‌بخشد زیرا داده‌ها با استفاده از یک مسیر متفاوت منتقل می‌شوند. در صورت بروز خطا، تنها بخشی از داده‌ها از بین می‌رود.

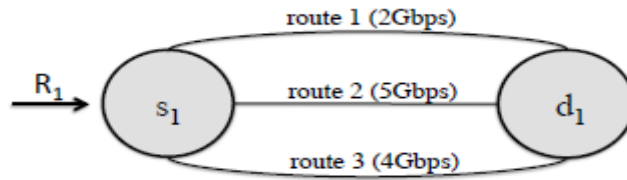


شکل 3: نمونه ای از بازیابی پویای مسیر

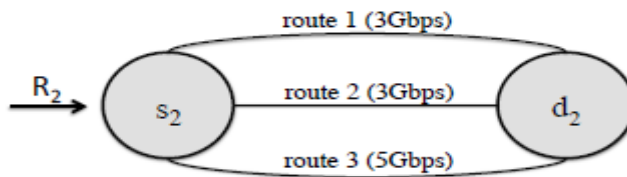
در استراتژی SM-RSA، یک درخواست با $r = (s, d, B, q)$ ، نشان داده می‌شود که در آن s و d گره‌های مبدا و مقصد، B پهنای باند درخواست، و q سطح بقا است. ($0 \leq q \leq 1$)

نشان داده می‌شود که پهنای باند qB باید پس از هر قطعی لینک منفرد در دسترس باشد. مطابق با [13]، برای انطباق با درخواست اتصال $r = (s, d, B, q)$ با استفاده از روش چند مسیره، باید $N \geq 2$ مسیر بین s و d را پیدا کرد و ظرفیت را در هر یک از N مسیر تخصیص داد به طوری که ظرفیت کل در مسیرهای N حداقل B باشد و ظرفیت کل در هر گروه از مسیرهای N حداقل qB باشد. شکل 4 استفاده از استراتژی RSA-MS را برای شرکت در درخواست $R1=(s1,d1,B=10,q=0.3)$ شکل 4-الف و $R2=(s2,d2,B=10,q=0.7)$ شکل 4-ب نشان می‌دهد.

درخواست $R1$ به 30٪ قابلیت بقا ($q=0.3$) و 10 گیگابیت بر ثانیه پهنای باند ($B = 10$) نیاز دارد. راه حل نشان داده شده در شکل 4-الف از 3 مسیر ($N=3$) استفاده می‌کند و با هم نیاز پهنای باند ($B=10\text{Gbps}$) را برآورده می‌کنند. در یک سناریوی خرابی واحد، اگر یکی از لینک‌های مسیر 1 خراب شود، مسیر 2 و مسیر 3، 9 گیگابیت در ثانیه (90 درصد بقا) را تضمین می‌کند. اگر یکی از لینک‌های مسیر 2 از کار بیفتد، مسیر 1 و مسیر 3، 6 گیگابیت در ثانیه (60 درصد قابلیت بقا) را تضمین می‌کند. و در صورت خرابی در مسیر 3، مسیر 1 و مسیر 2، 7 گیگابیت بر ثانیه (70 درصد قابلیت بقا) را تضمین می‌کند. بنابراین، برای همه موارد دارای یک قطعی، راه حل SM-RSA (شکل 4-الف) الزامات $R1=(s1,d1,B=10,q=0.3)$ را برآورده می‌کند. برای درخواست $R2=(s2,d2,B=10,q=0.7)$ نشان داده شده در شکل 4-ب، تحت یک سناریوی تک خرابی، نیاز پهنای باند رعایت می‌شود، اما سطح بقا خیر. این راه حل همچنین از 3 مسیر ($N=3$) استفاده می‌کند و با هم نیاز پهنای باند ($B=10\text{Gbps}$) را برآورده می‌کند. با این حال، اگر یکی از لینک‌های مسیر 3 از کار بیفتد، مسیر 1 و مسیر 2 فقط 6 گیگابیت در ثانیه (60 درصد بقا) را تضمین می‌کنند. در این مورد، روش حل SM-RSA (شکل 4-ب) الزامات $R2=(s2,d2,B=10,q=0.7)$ را برآورده نمی‌کند. بنابراین، درخواست $R2$ باید مسدود شود زیرا نیاز آن امکان پذیر نیست.



(a) $R_1 = (s_1, d_1, B=10, q=0,3)$



(b) $R_2 = (s_2, d_2, B=10, q=0,7)$

شکل 4: نمونه ای از الگوریتم SM-RSA

در [13] استراتژی SM-RSA عملکرد بهتری را در مقایسه با سایر استراتژی‌های بقای مبتنی بر تک مسیر ارائه می‌دهد. به طور کلی، SM-RSA از نظر احتمال مسدود کردن زمانی که مقادیر کمتر از q استفاده می‌شود، کارایی بیشتری به دست می‌آورد. با این حال، انتخاب مقادیر کاهش یافته q بقای الگوریتم را کاهش می‌دهد.

4- اثر لایه فیزیکی

طبیعتاً کیفیت سیگنال نوری در خلال انتقالش کاهش می‌یابد. این به دلیل اثرات لایه فیزیکی است. تخریب هم در دستگاه‌های موجود در نودهای شبکه و هم در لینک‌ها رخ می‌دهد. این گونه تخریب‌ها در دو دسته جمع می‌شوند: اختلالات خطی (LI) و اختلالات غیرخطی.

اختلالات خطی آنهایی هستند که مستقل از قدرت سیگنال هستند. پراکندگی رنگی (CD)، انتشار خودبه‌خودی تقویت‌شده (ASE) و تضعیف فیبر از انواع این دسته هستند. اختلالات غیرخطی به قدرت سیگنال‌های نوری بستگی دارد و می‌تواند هم در خود مدار و هم در همسایگانش تداخل ایجاد کند. مدولاسیون خود فاز (SPM)، مدولاسیون فاز متقاطع (XPM) و اختلاط چهار موجی (FWM) نمونه‌هایی از اثرات غیرخطی هستند.

در طول انتقال یک سیگنال، هر چه مسافت طی‌شده در طول فیبر بیشتر باشد، تضعیف قدرت سیگنال بیشتر می‌شود. این به گونه‌ای اتفاق می‌افتد که نیاز به تقویت سیگنال نوری را ایجاد می‌کند تا توان خود را دوباره بازسازی کند و در نتیجه بتوان آن را در مقصد آشکارسازی کرد. معمولاً تقویت نوری توسط تجهیزات تقویت‌کننده فیبر دوپ شده اربیم (EDFA) انجام می‌شود. تقویت‌کننده های EDFA به طور طبیعی نویز ASE تولید می‌کنند. در این کار نویز ASE و اثرات SPM، XPM و FWM در نظر گرفته شده است. SPM به این دلیل رخ می‌دهد که ضریب شکست فیبر دارای یک مولفه وابسته به شدت است. این باعث یک تغییر فاز القایی شده که متناسب با شدت پالس است و موجب تغییر فاز متفاوت قسمت‌های مختلف پالس می‌گردند. XPM تغییر فاز سیگنال ناشی از نوسانات شدت کانال‌های دیگر است که اثراتی را در فرکانس‌های نوری مختلف به اشتراک می‌گذارند. این اثر ممکن است با افزایش فاصله بین مدارها یا با ایجاد مداراتی برای کار با نرخ بیت‌های مختلف کاهش یابد. در نهایت، FWM

با عمل غیر خطی بین سه فرکانس نوری که منجر به فرکانس چهارم می‌شود، رخ می‌دهد. اگر فرکانس چهارم برابر یا نزدیک به یکی از سه فرکانس دیگر باشد، این سیگنال با دیگر سیگنال‌ها تداخل خواهد داشت. برای این کار از مدل لایه فیزیکی پیشنهاد شده در [17، 18] استفاده خواهیم کرد.

در یک شبکه نوری الاستیک، چنین اثرات لایه فیزیکی ممکن است بر کیفیت سیگنال نوری تأثیر بگذارد، زیرا نرخ خطای بیت (BER) ممکن است غیرقابل تحمل شود. از این منظر، اگر BER به سطوح بالایی برسد، کیفیت انتقال (QoT) تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. بنابراین، می‌تواند یک مسدودی توسط QoT تولید کند. گیرنده‌های نوری منحنی عملکردی دارند که نسبت سیگنال به نویز (SNR) را مستقیماً با BER مرتبط می‌کند، بنابراین SNR می‌تواند به عنوان معیار QoT لایه فیزیکی یک مدار نوری استفاده شود.

با توجه به [17، 18] محاسبه SNR برای مدار i با استفاده از مسیر r_i به صورت زیر بیان می‌شود:

$$SNR_i = \frac{I}{I_{ASE}^d + I_{NLI}^d}$$

متغیر I چگالی طیفی توان (PSD) است، که در آن $I = P_{TX}/\Delta f$ است که P_{TX} توان سیگنال و Δf پهنای باند مدار است. PSD نویز ASE توسط رابطه زیر بدست می‌آید:

$$I_{ASE}^d = \sum_{l \in r_i} N_l I_{ASE}$$

که در آن N_l تعداد اسپن‌های لینک l است. و $I_{ASE} = (G_{amp} - 1)Fh\nu$

متغیر F ضریب انتشار خود به خودی است که برابر با نیمی از عدد نویز (NF) تقویت کننده است [19]، h ثابت پلانک است.

ν فرکانس نور و G_{amp} بهره تقویت کننده نوری است. PSD نویز اثرات غیرخطی اختلالات غیرخطی (NLI) طبق رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$I_{NLI}^d = \sum_{l \in r_i} N_l I_{NLI}$$

که در آن I_{NLI} بیانگر PSD نویز NLI در یک اسپن از لینک l است و با استفاده از [18] به فرم زیر بیان می‌شود:

$$I_{NLI}^d = \frac{3\gamma^2 I^3}{2\pi\alpha|\beta_2|} \left(\operatorname{arcsinh} \left(\frac{\pi^2 |\beta_2| B_i^2}{2\alpha} \right) + \sum_j \ln \left[\frac{\left(\Delta f_{ij} + \frac{B_j}{2} \right)}{\left(\Delta f_{ij} - \frac{B_j}{2} \right)} \right] \right)$$

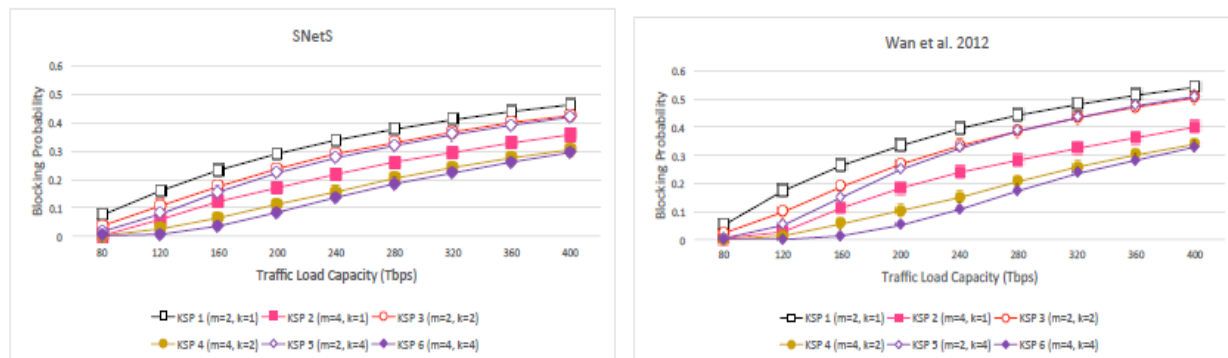
که j مدار دیگری است که از لینک l استفاده می‌کند. B_j و B_i به ترتیب پهنای باند مدارهای i و j هستند. Δf_{ij} فاصله فرکانس مرکزی بین مدارهای i و j است. γ ضریب غیر خطی فیبر است. β_2 پارامتر پاشندگی فیبر و α تضعیف توان ناشی از فیبر است.

اگر سطوح توان QoT کافی نباشند، درخواست می‌تواند توسط QoTN (QoT در مدار جدید) یا QoTO (QoT در سایر مدارهای از قبل ایجاد شده) مسدود شود. QoTN آن مسدودی است که اگر درخواست جدید به سطوح مناسب QoT نرسد، متحمل می‌شود. حتی اگر یک درخواست جدید این نیاز را برآورده کند، در صورتی که ایجاد درخواست جدید بر QoT مدارهای از قبل ایجاد شده تأثیر بگذارد، همچنان ممکن است مسدود شود و در نتیجه باعث QoTO شود. این دو نوع مسدودی در ارزیابی عملکرد این مقاله در نظر گرفته شده است.

5- ارزیابی عملکرد

این بخش مطالعه‌ای را برای ارزیابی عملکرد بر اساس شبیه‌سازی رویدادهای گسسته ارائه می‌کند. شبیه‌سازی‌ها با استفاده از شبیه‌ساز شبکه SLICE (SNetS)، یک ابزار شبیه‌سازی که برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های نوری الاستیک OFDM استفاده می‌شود، انجام شد.

به منظور اعتبارسنجی نتایج به دست آمده از طریق شبیه‌سازی با SNetS، مقایسه‌ای با نتایج شبیه‌سازی ارائه شده در [21] انجام شد. تمام پارامترهای مورد استفاده در این مطالعه اعتبارسنجی مطابق با مدل ارائه شده در [21] است. در این مطالعه اعتبارسنجی، احتمال مسدودی K کوتاهترین مسیر (KSP) را با در نظر گرفتن $k = 1, 2, 4$ برای توپولوژی NSFNet مقایسه می‌کنیم. سطح مدولاسیون (m) را 2 و 4 بیت در سیگنال فرض می‌کنیم. شکل 5 نتایج شبیه‌سازی به دست آمده توسط SNetS و [21] را نشان می‌دهد.



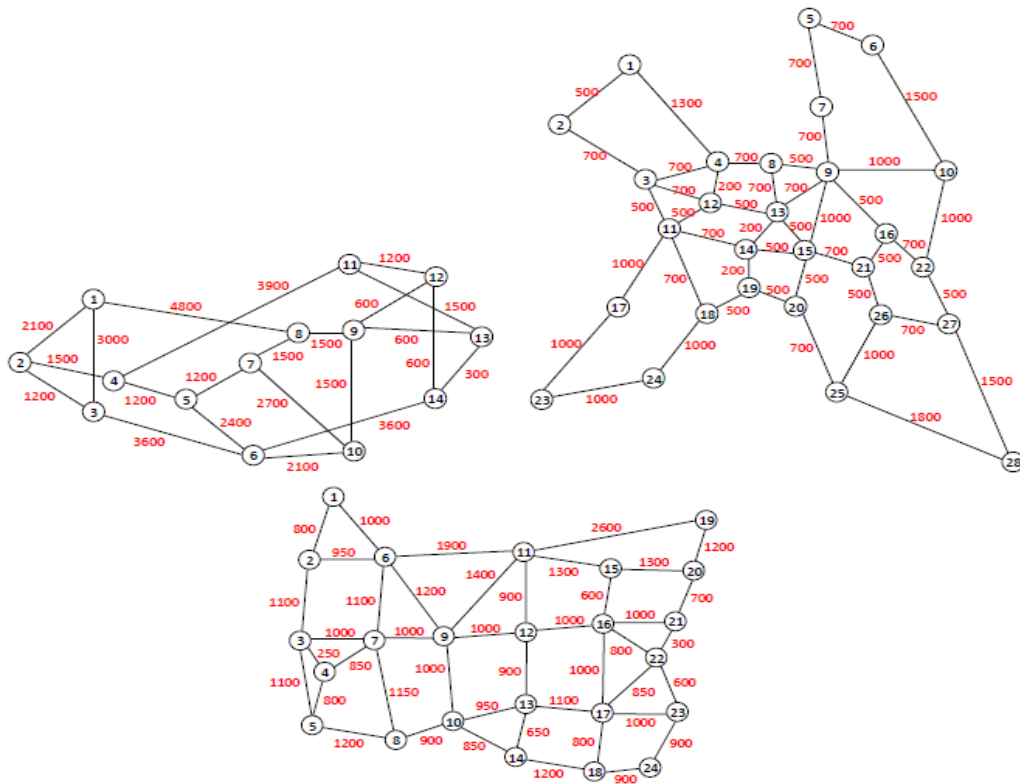
شکل 5: احتمال مسدود کردن KSP بدست آمده توسط SNetS و [21]

ممکن است از منحنی‌ها مشاهده شود که SNetS نتایج احتمال مسدود کردن را با رفتاری مشابه نتایج ارائه شده توسط [21] ارائه می‌کند. در این بخش، عملکرد استراتژی‌های مسیریابی چند مسیره و تخصیص طیف (SM-RSA) و حفاظت از مسیر اختصاصی (DPP) تحت اختلالات لایه فیزیکی مقایسه می‌شوند. احتمال مسدود کردن هر دو استراتژی بقا برای NSFnet، EON و روی شبکه ایالات متحده تجزیه و تحلیل می‌شود.

در این بخش، عملکرد استراتژی‌های مسیریابی چند مسیره و تخصیص طیف (SM-RSA) و حفاظت از مسیر اختصاصی (DPP) تحت اختلالات لایه فیزیکی مقایسه می‌شوند. احتمال مسدود شدن هر دو استراتژی بقا برای توپولوژی های شبکه NSFnet، EON و USA، که در شکل 6 نشان داده شده است، تجزیه و تحلیل شده است. مقدار نشان داده شده در هر لینک توپولوژی، فاصله لینک را بر حسب کیلومتر نشان می‌دهد. ارزیابی عملکرد، شبکه را بدون و با اختلالات لایه فیزیکی در نظر گرفته و مطالعه

می‌کند. در شبکه بدون اثرات لایه فیزیکی، مدولاسیون بر اساس حداکثر برد انتقال، مطابق با [2] و [13] محاسبه می‌شود. ذکر این نکته ضروری است که چنین فرضی واقع بینانه نیست. بنابراین، در این مقاله کار اصلی ما مطالعه عملکرد استراتژی‌های بقا تحت اثرات و اختلالات لایه فیزیکی است. در این زمینه واقعی‌تر، مدولاسیون با در نظر گرفتن QoT هر مدار نوری محاسبه می‌شود. چنین رویکردی مطابق با [19] است. برای مسیر انتخاب شده، QoT به دست آمده برای هر فرمت مدولاسیون تأیید می‌شود. پس از آن، کارآمدترین فرمت مدولاسیون که آستانه مورد نیاز شبکه را ارضا می‌کند انتخاب می‌شود.

با پیروی از رویکرد مدل‌سازی واقعی‌تر، می‌توانیم احتمال انسداد کلی شبکه را به سه جزء تجزیه کنیم: الف- مسدود کردن توسط عدم وجود اسلات در دسترس معروف به LAS ب- OSNR برای مدار نوری جدید ناکافی است موسوم به OIN و ج- OSNR برای برخی از مدارهای نوری دیگر که قبلاً در شبکه فعال بودند نامناسب است یا OIO. در این مقاله، مسدودسازی OIN و OIO به ترتیب مربوط به مسدودسازی QoTN و QoTO هستند.



شکل 6: توپولوژی‌های NSFnet، EON و USA

مدل لایه فیزیکی ارائه شده در بخش 4 در SNetS برای ارزیابی تاثیرات لایه فیزیکی در مدارهای نوری پیاده‌سازی شد. همه لینک‌های شبکه دو طرفه هستند و دارای پهنای باند طیف تقسیم شده به 400 اسلات فرکانسی هستند. اسلات‌های فرکانسی دارای پهنای باند 12.5 گیگاهرتز و باندهای حفاظتی دارای پهنای باند 6.25 گیگاهرتز هستند. گین تقویت کننده‌ها برای جبران تلفات طراحی شده است. سایر پارامترهای مورد استفاده در شبیه‌سازی در جدول 1 آورده شده است.

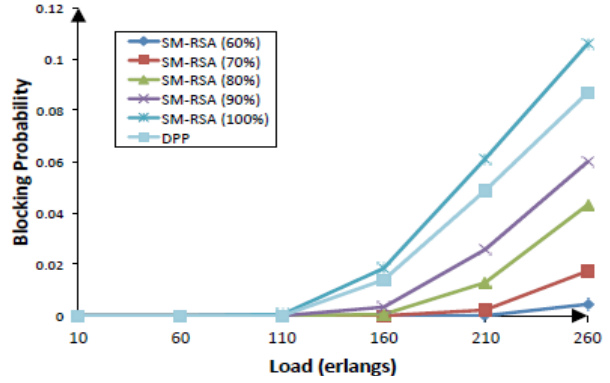
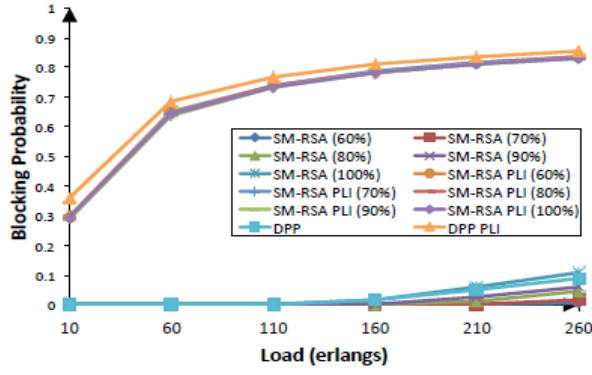
جدول 1: پارامترهای لایه فیزیکی مورد استفاده در شبیه‌سازی‌ها

پارامتر	مقدار
چگالی طیفی توان سیگنال	-17 dBm/GHz
تضعیف توان	0.2 dB/km
پاشندگی هر اسپن	16 Ps^2 /km
ضریب غیرخطی فیبر	1.3 $(Wkm)^{-1}$
طول هر اسپن	100 km

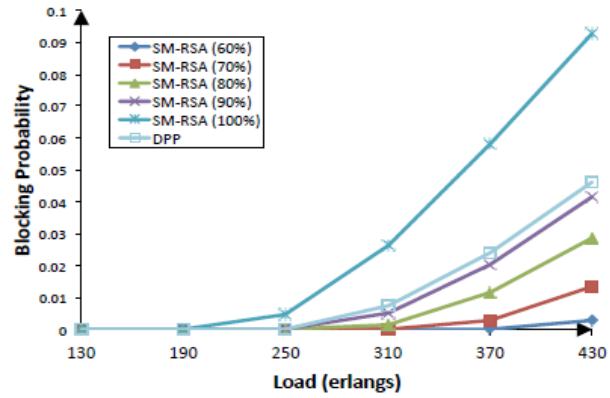
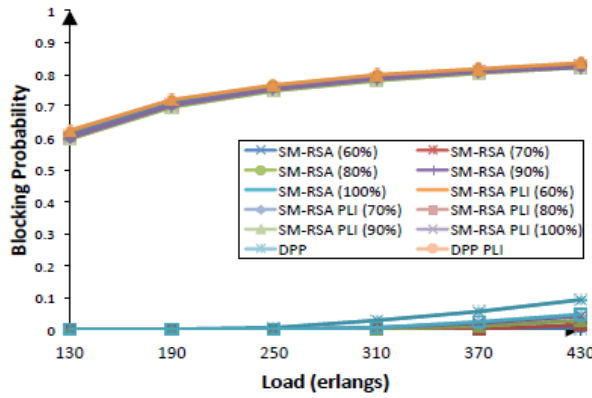
یک مدل ترافیک پویا در شبیه‌سازی‌ها استفاده شده که در آن درخواست‌های اتصال به دنبال فرآیند پواسون با نرخ متوسط λ به هر نود می‌رسند. بار به طور یکنواخت برای همه نودها توزیع می‌شود. زمان نگهداری اتصالات به طور نمایی با میانگین $1/\mu$ توزیع می‌شود. بار شبکه $\rho = \lambda/\mu$ است. در مجموع 100000 درخواست برای هر تکرار ایجاد می‌شود. برای هر شبیه‌سازی، 10 تکرار با سیدهای تولید متغیر تصادفی مختلف انجام می‌شود. در تمامی نتایج ارائه شده در این مقاله، سطح اطمینان 95 درصد در نظر گرفته شده است. ما عملکرد SM-RSA را تحت مقادیر مختلف q (0.6؛ 0.7؛ 0.8؛ 0.9 و 1.0) مورد مطالعه قرار دادیم. چنین مقادیری از q به ترتیب به معنی سطوح بقای 60٪، 70٪، 80٪، 90٪ و 100٪ است. تعداد مسیرهای در نظر گرفته شده $N = 2$ بود. بنابراین، هر درخواست نوری باید با استفاده از 2 مسیر مجزا انجام شود. نرخ بیت برای هر مدار درخواستی می‌تواند 10، 40، 80، 100، 160، 200 و 400 گیگابیت بر ثانیه باشد. فرمت‌های مدولاسیون در نظر گرفته شده در این مطالعه BPSK، QPSK، 8QAM، 16QAM، 32QAM و 64QAM هستند و آستانه SNR مربوطه 6، 9، 12، 15، 18 و 21 دسی بل است.

شکل‌های 7، 8، 9 به ترتیب احتمال مسدود شدن توپولوژی‌های NSFNET، EON و USA را نشان می‌دهند. در شکل‌های 7 (الف)، 8 (الف)، 9 (الف)، احتمال مسدود شدن در هر دو سناریو، با و بدون اختلالات لایه فیزیکی مقایسه شده است.

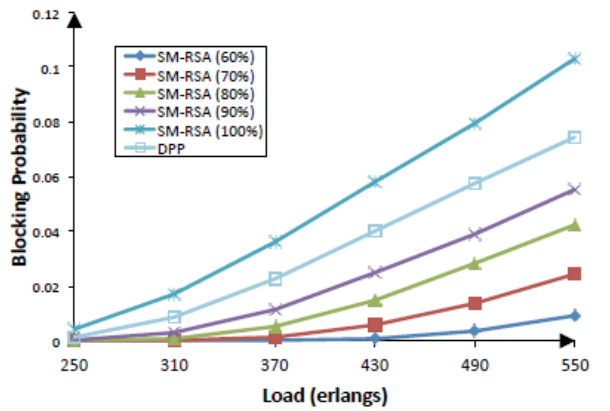
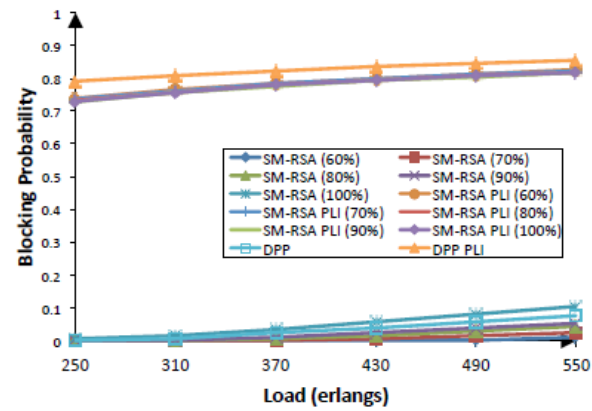
ما از نماد PLI برای نشان دادن اینکه نتایج خاص تحت اختلالات لایه فیزیکی انجام شده است استفاده می‌کنیم. در شکل‌های 7 (ب)، 8 (ب)، 9 (ب)، نتایج بدون PLI برای تجسم بهتر ارائه شده است.



شکل 7: احتمال مسدود شدن برای NSFNet



شکل 8: احتمال مسدود شدن برای EON



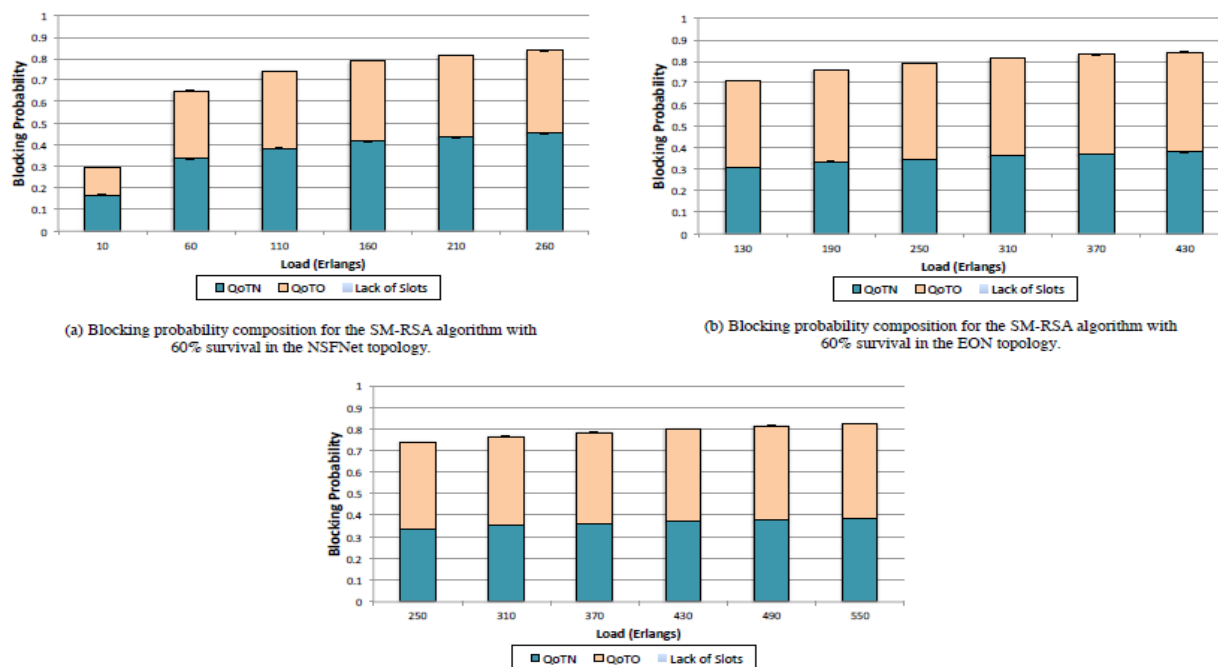
شکل 9: احتمال انسداد برای ایالات متحده آمریکا

از شکل‌های 7- الف، 8- الف و 9- الف مشاهده می‌شود که احتمال مسدود کردن تحت PLI در مقایسه با یک سناریوی بدون PLI به طور قابل توجهی بالاتر است. در بار ترافیکی بالاتر، استراتژی‌های بقا به احتمال مسدود کردن بالای 80 درصد تحت PLI برای سه توپولوژی مورد مطالعه دست یافتند. به طور کلی، DPP بدترین عملکرد را زمانی ارائه می‌دهد که آسیب‌های لایه فیزیکی فرض شود. برای همه توپولوژی‌های مورد مطالعه تحت بار ترافیکی بالاتر، افزایش احتمال مسدود شدن شبکه با در نظر گرفتن PLI در مقایسه با شبکه بدون در نظر گرفتن PLI حداقل 500٪ برای همه استراتژی‌های بقا است. چنین رفتاری نشان می‌دهد که هنگام برنامه‌ریزی بقای شبکه نوری الاستیک، توجه به اثرات لایه فیزیکی مهم است.

شکل‌های 10- الف، 10- ب و 10- ج سه جزء احتمالات مسدود کردن را نشان می‌دهند وقتی که SM-RSA ($q=0.6$) به ترتیب برای توپولوژی‌های NSFNET، EON و USA با PLI استفاده می‌شود. این مقدار q به این دلیل انتخاب شد که در مقایسه با سناریوی بدون PLI، بیشترین افزایش نسبی احتمال مسدودی را به دست آورد.

از شکل‌های 10- الف، 10- ب و 10- ج، می‌توان مشاهده کرد که بلوک‌های QoTN و QoTO مسئول اصلی سطوح بالای احتمال مسدود شدن هستند. تحت بار ترافیکی بالاتر، SM-RSA ($q=0.6$) به 46 درصد QoTN و 38 درصد QoTO در توپولوژی NSFnet، 38 درصد QoTN و 46 درصد QoTO در توپولوژی EON، 39 درصد QoTN و 44 درصد QoTO می‌رسد. در توپولوژی ایالات متحده تأثیر PLI برای همه توپولوژی‌ها زیاد است، بنابراین به دلیل عدم وجود اسلات موجود (LAS) مسدود نمی‌شود.

همانطور که مشاهده شد، الگوریتم‌های پیشنهادی، اختلالات لایه فیزیکی را در نظر نمی‌گیرند. بنابراین، در ارزیابی عملکرد این الگوریتم‌ها، افزایش احتمال مسدود شدن هنگام وارد کردن این اختلالات مشاهده می‌شود. این نشان دهنده نیاز به توسعه استراتژی‌ها با در نظر گرفتن بیشتر است.



شکل 10: ترکیب احتمال مسدود کردن برای الگوریتم SM-RSA با PLI و 60٪ بقا در توپولوژی NSFNet، EON و USA.

6- نتیجه

این مقاله مطالعه جدیدی را ارائه می‌کند که عملکرد استراتژی‌های بقا را با و بدون در نظر گرفتن اثرات لایه فیزیکی در شبکه‌های نوری الاستیک مقایسه می‌کند. تا آنجا که ما می‌دانیم، هیچ کاری برای تجزیه و تحلیل تأثیر این اثرات در احتمال مسدود کردن استراتژی‌های بقای پیشنهادی برای شبکه نوری الاستیک انجام نشده است.

برای همه توپولوژی‌های مورد مطالعه، استراتژی‌های بقای SM-RSA و DPP به دلیل اختلالات لایه فیزیکی، نرخ‌های احتمال مسدود شدن بالایی را به دست آوردند. استراتژی‌های DPP و SM-RSA به احتمال مسدود کردن بالای 80 درصد برای توپولوژی‌های EON، NSFNet و USA دست یافتند. در کارهای آتی، می‌توان تعداد زیادی از استراتژی‌های بقا را فقط تحت اختلالات لایه فیزیکی مطالعه نمود. همچنین عملکرد استراتژی‌های بقا را در شبکه نوری الاستیک نیمه شفاف با استفاده از برخی 3Rها برای کاهش احتمال مسدود شدن به دلیل اختلال لایه فیزیکی ارزیابی کرد. علاوه بر این، استراتژی‌های بقا را با در نظر گرفتن بار ترافیکی که تا 1٪ احتمال مسدود شدن را به دست آورده است، مطالعه کرد.

7- مراجع

1. M. Jinno, H. Takara, B. Kozicki, Y. Tsukishima, Y. Sone, and S. Matsuoka, "Spectrum-efficient and scalable elastic optical path network: architecture, benefits, and enabling technologies," *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 11, pp. 66–73, November 2009
2. B. Chatterjee, N. Sarma, and E. Oki, "Routing and spectrum allocation in elastic optical networks: A tutorial," *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 17, no. 3, pp. 1776–1800, thirdquarter 2015..
3. I. Santos, *Alocação de Recursos para o Estabelecimento de Circuitos em Redes Ópticas WDM e OFDM*. Teresina: Universidade Federal do Piauí, 2015. [Online]. Available: <https://dl.dropboxusercontent.com/u/58561826/dissertacoes/2015/Iallen2015.pdf>
4. A. Horota, G. Figueiredo, and N. Fonseca, "Algoritmo de roteamento e atribuição de espectro com minimização de fragmentação em redes ópticas elásticas," *XXXII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, 2014.
5. A. S. Tanenbaum and D. J. Wetherall, *Redes de Computadores*, 5th ed. Pearson Education - Br, 2011
6. X. Zhou, W. Lu, L. Gong, and Z. Zhu, "Dynamic rmsa in elastic optical networks with an adaptive genetic algorithm," in *Global Communications Conference (GLOBECOM)*, 2012 IEEE, Dec 2012, pp. 2912–2917.

7. P. J. Winzer, "Beyond 100g ethernet," IEEE Communications Magazine, vol. 48, no. 7, pp. 26–30, July 2010.
8. W. Fawaz and K. Chen, Survivability-Oriented Quality of Service in Optical Networks. ISTE, 2010, pp. 197–211. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1002/9780470611470.ch8>
9. C. Wang, G. Shen, B. Chen, and L. Peng, "Protection path-based hitless spectrum defragmentation in elastic optical networks: Shared backup path protection," in 2015 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC), March 2015, pp. 1–3.
10. D. Amar, E. L. Rouzic, N. Brochier, and C. Lepers, "Multilayer restoration in elastic optical networks," in 2015 International Conference on Optical Network Design and Modeling (ONDM), May 2015, pp. 239–244.
11. X. Chen, S. Zhu, D. Chen, S. Hu, C. Li, and Z. Zhu, "On efficient protection design for dynamic multipath provisioning in elastic optical networks," in 2015 International Conference on Optical Network Design and Modeling (ONDM), May 2015, pp. 251–256.
12. A. Soares, "Uma metodologia para planejamento de redes de circuitos opticos transparentes com qos no niAvel do usuario," Ph.D. dissertation, CIn-UFPE, 2009.
13. L. Ruan and Y. Zheng, "Dynamic survivable multipath routing and spectrum allocation in ofdm-based flexible optical networks," IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, vol. 6, no. 1, pp. 77–85, Jan 2014.
14. A. G. Rahbar, "Review of dynamic impairment-aware routing and wavelength assignment techniques in all-optical wavelength-routed networks," IEEE Communications Surveys Tutorials, vol. 14, no. 4, pp. 1065–1089, Fourth 2012.
15. C. V. Saradhi and S. Subramaniam, "Physical layer impairment aware routing (pliar) in wdm optical networks: issues and challenges," IEEE Communications Surveys Tutorials, vol. 11, no. 4, pp. 109–130, Fourth 2009.
16. R. Ramaswami and K. N. Sivarajan, Optical Network - A Practical Perspective, 3rd ed. Morgan Kaufmann Publishers, 2009.
17. P. Johannisson and E. Agrell, "Modeling of nonlinear signal distortion in fiber-optic networks," Journal of Lightwave Technology, vol. 32, no. 23, pp. 4544–4552, Dec 2014.

18. J. Zhao, H. Wymeersch, and E. Agrell, "Nonlinear impairment-aware static resource allocation in elastic optical networks," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 33, no. 22, pp. 4554–4564, Nov 2015.
19. H. Beyranvand and J. Salehi, "A quality-of-transmission aware dynamic routing and spectrum assignment scheme for future elastic optical networks," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 31, no. 18, pp. 3043–3054, Sept 2013.
20. A. Fontinele, I. Santos, G. Durães, and A. Soares, "Achievement of fair and efficient regenerator allocations in translucent optical networks using the novel regenerator assignment algorithm," *Optical Switching and Networking*, vol. 19, Part 1, pp. 22 – 39, 2016. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1573427715000879>
21. X. Wan, N. Hua, and X. Zheng, "Dynamic routing and spectrum assignment in spectrum-flexible transparent optical networks," *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, vol. 4, no. 8, pp. 603–613, Aug 2012

