

اثرات بهینه‌سازی RAM زیرساخت انتقال نوری راه‌آهن در کاهش مسدودی خط

مازیار یزدانی، گروه مدیریت فناوری اطلاعات، واحد قشم، دانشگاه آزاد اسلامی، قشم، ایران
سعید قاضی مغربی (نویسنده مسئول)، گروه مهندسی مخابرات، دانشکده برق و کامپیوتر، واحد
یادگار امام خمینی (ره) شهر ری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
محمد علی افشار کاظمی، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد
اسلامی، تهران، ایران

Email: s_ghazi2002@yahoo.com

دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۸ - پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۶

چکیده

سیر و حرکت ایمن آلات ناقله ریلی بدون سیستم‌های کنترل قطار امکان‌پذیر نمی‌باشد. سیستم‌های کنترل قطار در حمل و نقل ریلی متضمن ایمنی هستند و در افزایش سرعت و ظرفیت حمل و نقل نقش حیاتی ایفا می‌کنند، به طوری که از کار افتادن کل و یا بخشی از آن می‌تواند موجب اختلال ایمنی، کاهش بهره‌وری و افزایش مسدودی خط گردد. با توجه به اینکه کلیه سرویس‌های مخابراتی کنترل قطار بر بستر شبکه‌های انتقال نوری هستند، قطع شدن این شبکه‌ها موجب قطع شدن کلیه سرویس‌های کنترل قطار و در نتیجه مسدودی خط می‌گردد. لذا، ارتقای پایداری زیرساخت انتقال نوری بسیار ضروری می‌باشد. در این تحقیق، به منظور پیش‌بینی تعداد مسدودی بر اثر قطعی زیرساخت انتقال، در دو مرحله به بررسی شبکه انتقال نوری ریلی پرداخته می‌شود. در مرحله نخست، پارامترهای **Availability**، **Reliability** و **Maintainability (RAM)** شبکه انتقال نوری راه‌آهن، ارزیابی شده و رفتار شبکه، از طریق متد مونت کارلو شبیه‌سازی و تحلیل می‌شود. در مرحله دوم تحقیق، با پیاده‌سازی مدل کاهش زمان تعمیر خرابی شبکه، مجدداً مکانیزم **RAM** محاسبه و شبیه‌سازی می‌شود. در هر دو مرحله، احتمال خاموشی شبکه مخابراتی راه‌آهن و تعداد مسدودی خط به دست آمده است. پیش‌بینی تعداد خاموشی‌های شبکه و مسدودیت خطوط راه‌آهن به دلیل قطع سرویس‌های کنترل قطار برای نخستین بار به صورت فعالیت تحقیقاتی انجام شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که کاهش ۱۰ درصدی زمان تعمیر شبکه منجر به افزایش ۳/۵ برابری سطوح مکانیزم **RAM** و کاهش ۷۰ درصدی مسدودی خط گردید. این نتایج ارزش بسیار زیادی در افزایش بهره‌وری سیستم و نیز رضایتمندی کاربران خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی، قابلیت نگهداری، شبکه انتقال مخابرات نوری، مسدودی خط آهن

۱. مقدمه

مخابراتی از جمله شبکه مخابراتی کنترل قطار^۴ CBTC بررسی کردند.

تا کنون تحقیقات گسترده‌ای در زمینه ارزیابی قابلیت اطمینان در زیرساخت های اصلی راه آهن صورت گرفته، اما شبکه‌های انتقال مخابرات نوری راه آهن با اینکه جزو زیرساخت های اصلی راه آهن هستند (لین و دانگ، ۲۰۱۲) و خاموشی آنها می‌تواند منجر به سوانح غیرقابل جبران و مسدودی خط گردد (آنتوا، ۲۰۱۳)، از این مقوله بی‌بهره بوده‌اند. سیستم‌های راه آهن، دارای شبکه‌های خصوصی منحصر به خود هستند. (مین و همکاران، ۲۰۱۳) سیستم‌های کنترل قطار نصب شده روی آلات ناقله ریلی و سیگنال‌های ریلی که در تمام ایستگاه‌های راه آهن پیاده‌سازی شده و سرویس‌دهی می‌نمایند، (چن و همکاران، ۲۰۱۲) بر بستر شبکه انتقال نوری راه آهن قرار دارند. (گویا و همکاران، ۲۰۱۸) بنابراین، از کارافتادگی شبکه مخابرات نوری منجر به قطع سرویس‌ها و ساختارهای کنترل قطار شده و موجب مسدودی خط برای تردد قطارهای باری و مسافری می‌گردد، که علاوه بر کاهش ایمنی، موجب اختلال در سیر و حرکت می‌شود. (لین و همکاران، ۲۰۱۸) کاهش خاموشی شبکه انتقال نوری منجر به کاهش مسدودی خط می‌شود (خدایی و همکاران، ۲۰۱۸).

۱-۱. مسدودی خط

مسدودی خط^۵ وضعیتی است که در آن قطعه‌ای از خط به دلیل نیاز به عملیات نگهداری، تعمیر یا نوسازی به واحد تعمیرات واگذار می‌شود و در نتیجه قطار نمی‌تواند از آن عبور کند. (نیک، ۲۰۱۳) مسدودی خط شامل دو حالت است: مسدودی خط برنامه‌ریزی شده و مسدودی خط به دلیل خرابی‌های تصادفی. در مسدودی‌های برنامه‌ریزی شده، مدت زمان رفع خرابی مشخص است و برای

مهمترین شاخص بهره‌برداری هر سیستم راه آهن، ترافیک ایمن و بدون وقفه قطارها می‌باشد (یزدانی، ۲۰۱۴). شبکه‌های مخابرات نوری به‌عنوان زیرساخت انتقال مخابراتی ریلی، در حفظ ایمنی راه آهن و سیر و حرکت بدون وقفه قطارها (مسدودی خط) نقش به‌سزایی دارند. (لایم و مندیرتا، ۲۰۱۱) پایداری شبکه مخابراتی ریلی به پارامترهای قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی، قابلیت نگهداری و تعمیرپذیری^۳، به‌طور خلاصه RAM، بستگی دارد (قاضی مغربی و همکاران، ۲۰۱۹).

در گذشته، تحقیقات زیادی در خصوص مکانیزم RAMS انجام شده است. کارتر و همکاران (۲۰۰۳) به بررسی پروژه موفق اتحادیه اروپا به نام "RAIL" با رویکرد RCM پرداختند. هدف از این مطالعه، ارائه تکنیک‌های تعمیر و نگهداری زیرساخت‌های راه آهن بود. کومار (۲۰۰۸) تأثیر نگهداری پیشگیرانه در کاهش خرابی‌های زیرساخت راه آهن را نشان داد. ساراسوات و یاداوا (۲۰۰۸) تحقیقی مروری بر مهندسی RAMS بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۵ میلادی ارائه کردند. ماکی و همکاران (۲۰۱۲) در دو مرحله به بررسی مدیریت تعمیر و نگهداری زیربنای راه آهن بر پایه قابلیت اطمینان پرداختند. مرحله نخست شامل ارزیابی قابلیت اطمینان تجهیزات و مرحله دوم ساختن مدل قابلیت اطمینان زیرساخت راه آهن بود. اُلیویری (۲۰۱۵) مدل جدیدی برای کاهش فعالیت‌های نگهداری و تعمیر بر اساس پارامترهای قابلیت اطمینان و قابلیت دسترسی ارائه کرد. دورازو کاردناس و همکاران (۲۰۱۸) استراتژی طراحی یک سیستم یکپارچه تعمیر و نگهداری را با مطالعه راه آهن بریتانیا ارائه کردند. وکار و پروز (۲۰۱۷) تکنیک‌های مختلف مدل‌سازی قابلیت اطمینان را در شبکه‌های

4- Communication base train control

5- Track possession

1- Reliability

2- Availability

3- Maintainability

خرابی مربوط به ۳ سال (۲۰۱۸-۲۰۲۰) از طریق نرم افزار ثبت خرابی "کازوین" متعلق به راه آهن اخذ گردیده است. نمونه موردی پیاده سازی شده در این تحقیق منطقه "آذربایجان" به طول ۶۸۳ کیلومتر واقع در ایران می باشد.

۳-۱. توپولوژی شبکه

مطابق شکل ۱، شبکه انتقال مخابرات نوری ریلی شامل خطوط فیبر نوری و تجهیزات انتقال مخابراتی SDH/DWDM^۱ می باشد. (پاندا و همکاران، ۲۰۱۲) خطوط (۱) و (۲) فیبر نوری بین ایستگاه های راه آهن در فاصله ۲-۳ متری دو طرف ریل آهن به صورت موازی در سراسر راه آهن گسترده شده اند. این خطوط که در دو طرف خطوط ریلی و در کانال های مجزا قرار دارند، دارای خرابی های کاملاً مستقل از هم و تصادفی می باشند (خدایی و همکاران، ۲۰۱۸). به حداقل بین دو ایستگاه (از سیگنال خروجی ایستگاه مبدأ، تا سیگنال ورودی ایستگاه مقصد) بلاک گفته می شود. برای ایجاد ارتباطات مخابراتی بین ایستگاه ها و ارائه سرویس های مخابراتی کنترل قطار، تمامی بلاک ها از طریق فیبر نوری به هم متصل هستند، که به آنها "بلاک های فیبر نوری" نیز گفته می شود. سیستم نگهداری شبکه فیبر نوری به این صورت است که هر مرحله قطع شدن شبکه، از طریق شبکه سوپروایزری به تیم نگهداری برای رفع خرابی اطلاع رسانی می گردد. ابتدا محدوده خرابی فیبر نوری از طریق انجام تست OTDR^۲ مشخص می شود. سپس، تیم نگهداری برای تعیین دقیق محل رفع خرابی به محل اعزام می شوند. این فرآیند شامل زمان های تشخیص خرابی شبکه، کشف محل خرابی، مدت زمان رسیدن به محل و مدت زمان رفع خرابی می باشد.

مواردی نظیر تعمیر خط برنامه ریزی شده است. برنامه ریزی زمانی این گونه مسدودی به گونه ای است که تداخلی با تردد قطارهای مسافری و باری ندارد. اما زمانی که خرابی تصادفی منجر به مسدودی خط می شود، معضلاتی نظیر کاهش ظرفیت بالقوه مسیر، ناراضیاتی مسافری، کاهش مشتریان قطارهای باری، جریمه توقف قطارهای باری و مسافری در تمام محور ریلی و ضرردهی به بار می آورد (یزدانی، ۲۰۱۴).

۲-۱. مدل تحقیق

در این تحقیق، در دو مرحله به ارزیابی مکانیزم RAM در شبکه مخابرات نوری راه آهن پرداخته می شود.

الف) مرحله اول: بررسی وضعیت موجود مکانیزم RAM شبکه مخابرات نوری راه آهن

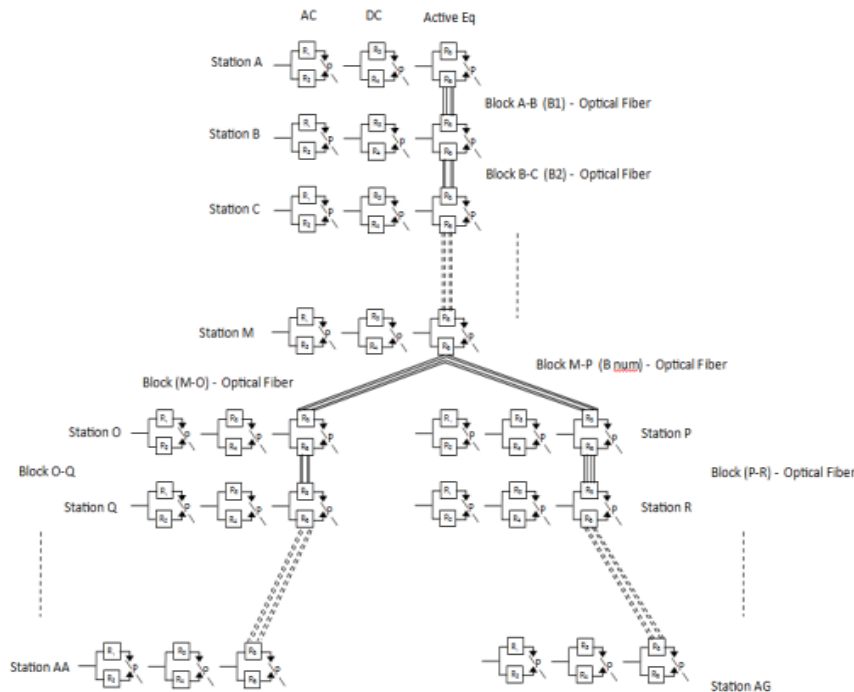
در مرحله اول تحقیق، به منظور دستیابی به وضعیت موجود شبکه مخابرات نوری راه آهن، پارامترهای RAM خطوط فیبر نوری مدل سازی و آنالیز می شوند. آنگاه برای تحلیل صحت محاسبه مکانیزم RAM و همچنین ارزیابی رفتار شبکه، از طریق متد مونت کارلو شبیه سازی می شود.

ب) مرحله دوم: مدل کاهش زمان تعمیر و بررسی اثرات آن بر مکانیزم RAM در شبکه مخابرات نوری راه آهن

در مرحله دوم تحقیق، مدت زمان تعمیر خرابی های شبکه، کاهش داده شده و مجدداً مکانیزم RAM به منظور بررسی نتایج کاهش زمان تعمیر، ارزیابی و از طریق نتایج حاصله، مجدداً رفتار شبکه شبیه سازی می شود. همچنین، برای نخستین بار به صورت فعالیت تحقیقاتی، احتمال تعداد خاموشی های سیستم در ۳ سال آینده در هر دو مرحله تحقیقاتی شبیه سازی شده است. فراوانی و نوع

² - Optical time domain reflect meter

¹ - Synchronous digital hierarchy/Dense wavelength division multiplexing



شکل ۱. شمایی از توپولوژی شبکه انتقال مخابرات ریلی

$$F(t) = I - e^{-\lambda t} \quad (2)$$

$$R(t) = \int_t^{\infty} \lambda e^{-\lambda t} dt = 1 - \quad (3)$$

$$\int_0^t \lambda e^{-\lambda t} dt = e^{-\lambda t}$$

عدم قابلیت اطمینان را با $Q(t)$ نشان داده که در این

صورت خواهیم داشت (وو، ۲۰۲۰):

$$Q(t) + R(t) = I, \quad Q(t) = I - R(t) \quad (4)$$

$$Q(t) = F(t) = \int_0^t f(t) dt = 1 - e^{-\lambda t} \quad (5)$$

معیارهای قابلیت اطمینان عبارتند از:

الف) تابع نرخ خرابی

نرخ شکست^۱ (خرابی) $h(t)$ عبارت است از احتمال رخ دادن خرابی در بازه زمانی Δt به شرط کارکرد بدون خرابی تجهیز تا زمان t (دیلون، ۱۹۹۹). در این تحقیق، مطابق با شکل ۲، $h(t)$ شبکه مخابراتی در فاصله زمانی $(t_1$ و $t_2)$ قرار دارد. این مدت، زمان کار نرمال سیستم است. خرابی و از کارافتادگی در این دوران جنبه تصادفی دارد و هر جزء مستقل از سایر اجزا اتفاق می‌افتد.

۲. آنالیز RAM

در مرحله نخست این تحقیق، تعاریف، روابط و توابع مکانیزم RAM تشریح می‌گردند.

۲-۱. قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان شبکه شامل احتمال عملکرد مطلوب یک سیستم برای مدت مشخص و شرایط مشخص می‌باشد (دورگا رائو و همکاران، ۲۰۱۷). قابلیت اطمینان یک سیستم با نماد $R(t)$ بیانگر احتمال عدم از کارافتادگی سیستم است که با گذشت زمان تغییر می‌کند. (بورنه، ۱۹۸۹) $R(t)$ مکمل تابع توزیع احتمال تجمعی از کارافتادگی $F(t)$ می‌باشد. (دیالیناس، ۱۹۹۲) $f(t)$ به‌عنوان تابع چگالی عمر و یا تابع چگالی احتمال تعریف می‌گردد. در سیستم‌هایی تابع $f(t)$ به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود که t در آن زمان و λ نرخ خرابی در واحد زمان است (وو، ۲۰۲۰).

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (1)$$

¹- Failure rate

به صورت یک بلوک متصل به هم به شرح سیستم‌های سری، موازی و ترکیبی نشان داده می‌شود (گویه و یانگ، ۲۰۰۷).

- سیستم‌های سری

در سیستم‌های سری، عملکرد مطلوب کل سیستم به عملکرد تمامی اجزای آن بستگی دارد و اگر یکی از اجزا از کار بیفتد، کل سیستم متوقف خواهد شد. (جعفری نژاد و اسماعیلیان، ۲۰۱۱) برای محاسبه قابلیت اطمینان سیستم‌های سری (R_{series})، R_i قابلیت اطمینان هر واحد $i = (1, 2, \dots, n)$ و n تعداد کل واحدهای سیستم است. (فیگیل و سوله، ۱۹۹۰) بنابراین، در این سیستم‌ها $R(t)$ ، $Q(t)$ و $MTBF$ به صورت زیر محاسبه می‌شوند (کارانکی و همکاران، ۲۰۲۰):

$$R_{series}(t) = Pr(\bigcap_{i=1}^n A_i) \quad (10)$$

$$(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (11)$$

$$Q_{series} = 1 - \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (11)$$

$$MTBF_{series} = \int_t^\infty R_{SS}(t) dt \quad (12)$$

$$MTBF_{series} = \int_t^\infty e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t} dt \quad (13)$$

$$= \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$$

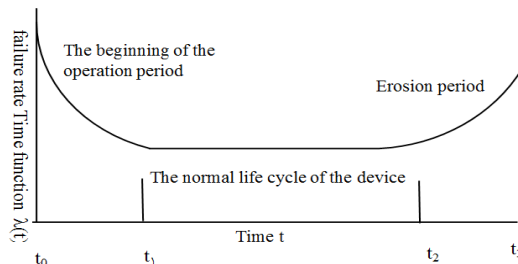
- سیستم‌های موازی

در سیستم‌های موازی، در صورت عملکرد مطلوب یکی از اجزاء، کل سیستم دارای عملکرد مطلوب خواهد بود. برای محاسبه قابلیت اطمینان سیستم موازی ($R_{parallel}$)، R_i قابلیت اطمینان هر واحد $i = (1, 2, \dots, n)$ و n تعداد کل واحدهای سیستم است. بنابراین، در این سیستم‌ها $R(t)$ ، $Q(t)$ و $MTBF$ به صورت زیر محاسبه می‌شوند (وکار و پروز، ۲۰۱۷):

$$R_{parallel}(t) = Pr(\bigcup_{i=1}^n A_i) \quad (14)$$

$$(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t))$$

$$Q_P = \prod_{i=1}^n Q_i(t) \quad (15)$$



شکل ۲. منحنی میزان نرخ حادثه در طول مدت عمر یک دستگاه (وان حمام) (دیلون، ۱۹۹۹)

بنابراین، تعداد خرابی‌ها در شبکه مورد نظر در واحد زمان به صورت یک متغیر تصادفی گسسته دارای توزیع پواسن با پارامتر λ نشان داده می‌شود. در این حالت، فاصله بین خرابی‌ها با توزیع نمایی و پارامتر λ می‌باشد.

$$h(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda \quad (6)$$

اگر n تعداد خرابی، N تعداد تجهیزات و T مجموع زمان باشد، λ مطابق رابطه (۷) محاسبه می‌شود (وکار و پروز، ۲۰۱۷):

$$\lambda = n/(T \times N) \quad (7)$$

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (8)$$

ب) متوسط زمان بین خرابی‌ها^۱ ($MTBF$)

$MTBF$ متوسط زمان بین شکست‌های یک سیستم است (اسمیت، ۲۰۱۷).

$$MTBF = \int_0^\infty R(t) \cdot dt = \int_0^\infty e^{-\lambda t} \cdot dt = \frac{1}{\lambda} \quad (9)$$

ج) مدل بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان (RBD)

در روش RBD از یک دیاگرام برای مدل‌سازی قابلیت اطمینان استفاده می‌شود. (فام، ۲۰۰۳) در این مدل، سیستم

¹- Mean Time Between Failures

ب) مدت زمان رفع خرابی^۱ (MTTR)

MTTR شامل مجموع زمان‌های تشخیص خرابی، ردیابی خرابی و رفع خرابی می‌باشد. اگر K تعداد واحدها، λ_i نرخ واحد خرابی ام $(i=1,2,\dots,k)$ ، TTR_i مدت زمان تعمیر اصلاحی واحد ام باشد، در این حالت به صورت زیر تعریف می‌شود (سید و همکاران، ۲۰۱۹):

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i TTR_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (23)$$

$$TTR_i = TTFDT + TTFD + TFFL + TTAF \quad (24)$$

$TTFDT$ ^۲ برابر است با مدت زمان کشف خرابی، $TFFL$ ^۳ برابر است با مدت زمان یافتن محل خرابی، $TTAF$ ^۴ برابر است با مدت زمان رسیدن به محل خرابی و $TTFD$ ^۵ برابر است با زمان تعمیر خرابی. با توجه به اینکه زمان تعمیر از توزیع نمایی با پارامتر μ پیروی می‌کند، بنابراین، قابلیت نگهداری با توزیع نمایی زمان-های سرویس برابر است با:

$$M(t) = \int_0^t \frac{1}{MTTR} e^{-\frac{1}{MTTR}t} dt \quad (25)$$

$$= 1 - e^{-\frac{1}{MTTR}t}$$

۲-۳. قابلیت دسترسی

قابلیت دسترسی سیستم، مدت زمان‌های فعال شبکه در دوره زمانی مشخص است و با استفاده از قابلیت اطمینان و قابلیت نگهداری به صورت زیر محاسبه می‌شود (کالیکستو، ۲۰۱۶):

$$Availability(A) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (26)$$

با توجه به اینکه زمان خرابی از توزیع نمایی با پارامتر λ و زمان تعمیر از توزیع نمایی با پارامتر (μ) برخوردار است، قابلیت دسترسی (A) و عدم قابلیت دسترسی (\bar{A}) به شکل زیر تعریف می‌شوند (سید و همکاران، ۲۰۱۹):

$$MTBF_{parallel} = \int_0^{\infty} RPS(t) dt \quad (16)$$

$$MTBF_{parallel} = \int_0^{\infty} [1 - (1 - e^{-\lambda t})^n] dt \quad (17)$$

$$MTBF_{parallel} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} \quad (18)$$

- سیستم‌های ترکیبی

سیستم‌های ترکیبی به صورت ترکیبی از سیستم‌های سری و موازی می‌باشند. در سیستم‌هایی که عملکرد زیرسیستم‌ها ترکیبی از سیستم‌های سری و موازی باشد، برای محاسبه قابلیت اطمینان شبکه از روابط زیر استفاده می‌شود (وکار و پروز، ۲۰۱۷).

$$R_{parallel-series} = Pr \quad (19)$$

$$(U_{i=1}^M \cap_{j=1}^N A_{ij}(t)) = 1 - \prod_{i=1}^M (1 - \prod_{j=1}^N (R_{ij}(t)))$$

$$R_{series-parallel} = Pr \quad (20)$$

$$(\cap_{j=1}^N U_{i=1}^M A_{ij}(t)) =$$

$$\prod_{i=1}^N (1 - \prod_{j=1}^M (1 - R_{ij}(t)))$$

۲-۲. قابلیت نگهداری

قابلیت نگهداری شامل زمان بازگرداندن سیستم از حالت خرابی به یک سطح مشخص از عملکرد با هدف کاهش زمان تعمیر می‌باشد. (پینهل و همکاران، ۲۰۱۸) قابلیت نگهداری با توزیع نمایی و نرخ تعمیر (μ) به صورت زیر بیان می‌شود (سید و همکاران، ۲۰۱۹):

$$M(t) = \int_0^t \mu e^{-\mu t} dt = 1 - e^{-\mu t} \quad (21)$$

معیارهای قابلیت نگهداری عبارتند از:

الف) نرخ تعمیر (μ)

نرخ تعمیر، میانگین تعداد سرویس‌های تعمیر ارائه شده در واحد زمان است. در شبکه مخابرات نوری، مطابق با نمودار وان، در فاصله زمان بین t_1 و t_2 زمان تعمیر از توزیع نمایی پیروی می‌کند. در این حالت، نرخ تعمیر برابر معکوس میانگین زمان تعمیر است:

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (22)$$

^۱- Time to arrive the failure location

^۲- Time to failure repair

^۱- Mean Time to Repair

^۲- Time to failure detection

^۳- Time to find the failure location

زیرسیستم‌های بلاک‌های سری فیبر نوری به صورت مجزا محاسبه و سپس در روابط (۲۹) تا (۳۱) قابلیت اطمینان شبکه موازی فیبر نوری محاسبه شده است. سپس، از طریق نتایج حاصله و با استفاده از رابطه (۱۴)، قابلیت اطمینان شبکه موازی فیبر نوری محاسبه می‌شود. نتایج نهایی قابلیت اطمینان شبکه فیبر نوری مستخرج از جدول ۱ به شرح زیر می‌باشد.

$$R_{b \text{ Line } (1)} = \prod_{i=1}^n R_{b \text{ Line } (1)} = R(b)_{1...} \quad (29)$$

$$R(b)_{12} = 0.9197$$

$$Q_{b \text{ Line } (1)} = 1 - R(t) = 1 - 0.9197 = 0.0803$$

$$R_{b \text{ Line } (2)} = \prod_{i=1}^n R_{b \text{ Line } (2)} = R(b)_{1...} \quad (30)$$

$$R(b)_{12} = 0.9188$$

$$Q_{b \text{ Line } (2)} = 1 - R(t) = 1 - 0.9188 = 0.0812$$

$$R_{\text{parallel Lines A \& B}} = I - \quad (31)$$

$$\left[\prod_{i=1}^N (1 - R_i(t)) \right] = I - (I - R_{b \text{ Line } (1)}) (I - R_{b \text{ Line } (2)}) = R_{b \text{ Line } (1)} + R_{b \text{ Line } (2)} - R_{b \text{ Line } (1)} R_{b \text{ Line } (2)}$$

$$R_{\text{parallel Lines A \& B}} = 0.993$$

$$Q_{\text{parallel Lines A \& B}} = 1 - R(t) = 1 - 0.99 = 0.006$$

در رابطه (۲۹)، قابلیت اطمینان کابل فیبر نوری سری اول، در رابطه (۳۰) قابلیت اطمینان کابل فیبر نوری سری دوم و در رابطه (۳۱) با استفاده از نتایج روابط (۲۹) و (۳۰) قابلیت اطمینان شبکه فیبر نوری موازی راه‌آهن محاسبه شده است.

جدول ۱. قابلیت اطمینان زیرسیستم‌های بلاک‌های شبکه سری فیبر نوری در ۲۶۲۸۰ ساعت (۳ سال)

نام بلاک	تعداد خرابی‌ها		نرخ شکست (λ)		قابلیت اطمینان $R(t)$	
	خط ۱	خط ۲	خط ۱	خط ۲	خط ۱	خط ۲
A-B	۱۶	۱۶	۰/۰۰۰۶۰	۰/۰۰۰۶۰	۰/۹۹۷۷	۰/۹۹۷۷
B-C	۱۵	۱۴	۰/۰۰۰۵۷	۰/۰۰۰۵۳	۰/۹۹۶۸	۰/۹۹۸۱
C-D	۱۶	۱۶	۰/۰۰۰۶۰	۰/۰۰۰۶۰	۰/۹۹۷۷	۰/۹۹۷۷
D-E	۱۴	۱۴	۰/۰۰۰۵۳	۰/۰۰۰۵۳	۰/۹۹۸۱	۰/۹۹۸۱
E-F	۱۷	۱۵	۰/۰۰۰۶۴	۰/۰۰۰۵۷	۰/۹۹۷۲	۰/۹۹۶۳
F-G	۱۸	۱۳	۰/۰۰۰۶۸	۰/۰۰۰۴۹	۰/۹۹۷۷	۰/۹۹۵۹
G-H	۱۸	۱۱	۰/۰۰۰۶۸	۰/۰۰۰۴۱	۰/۹۹۷۷	۰/۹۹۶۳
H-I	۱۴	۱۴	۰/۰۰۰۵۳	۰/۰۰۰۵۳	۰/۹۹۸۱	۰/۹۹۶۸
I-J	۱۲	۱۸	۰/۰۰۰۴۵	۰/۰۰۰۶۸	۰/۹۹۶۳	۰/۹۹۷۷
J-K	۱۵	۱۹	۰/۰۰۰۵۷	۰/۰۰۰۳۰	۰/۹۹۶۳	۰/۹۹۶۳
K-L	۱۴	۲۳	۰/۰۰۰۵۰	۰/۰۰۰۱۹	۰/۹۹۷۷	۰/۹۹۷۲
L-M	۱۵	۱۴	۰/۰۰۰۵۷	۰/۰۰۰۳۴	۰/۹۹۵۹	۰/۹۹۷۲

$$Availability(A) = \quad (27)$$

$$\frac{MTBF}{MTBF+MTTR} = \frac{\frac{1}{\lambda}}{\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\mu}} = \frac{\mu}{\mu+\lambda}$$

$$\bar{A} = I - A = \frac{\lambda}{\mu+\lambda} \quad (28)$$

۳. آنالیز، مدل سازی و شبیه سازی پارامترهای RAM

در این قسمت، در دو مرحله، به آنالیز، مدل‌سازی و شبیه‌سازی پارامترهای RAM پرداخته می‌شود.

۳-۱. بررسی وضعیت موجود مکانیزم RAM در شبکه مخابرات نوری راه‌آهن (مرحله اول)

در این مرحله، پارامترهای قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی و قابلیت نگهداری (RAM) شبکه مخابرات نوری راه‌آهن برای تحلیل وضعیت وجود آنها آنالیز شده و در انتها رفتار شبکه از طریق شبیه‌سازی مونت کارلو تحلیل می‌شود.

۳-۱-۱. قابلیت اطمینان شبکه فیبر نوری

در جدول ۱، تعداد خرابی‌های هر یک از بلاک‌های سری فیبر نوری نشان داده شده است که از نرم‌افزار ثبت خرابی راه‌آهن "کازوین" استخراج شده است. از طریق روابط (۷) و (۱۰)، نرخ شکست و قابلیت اطمینان

$$M(t)_{line 2} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR}t} = I - e^{-\frac{1}{6:54} \times 3} = 0.907 \quad (37)$$

بنابراین، MTTR، μ و قابلیت نگهداری هر یک از خطوط فیبر نوری، از طریق روابط (32) تا (37) محاسبه گردید. در شکل 3، میانگین MTTR موجود شبکه در هر یک از بلاک‌های منطقه آذربایجان نشان داده شده است.

۱-۳-۲. قابلیت نگهداری شبکه فیبر نوری (M(t))

در این قسمت، با استفاده از روابط (21) تا (25)، سطح نگهداری موجود شبکه ریلی برای هر یک از خطوط فیبر نوری راه آهن، به صورت مجزا، محاسبه می‌گردد.

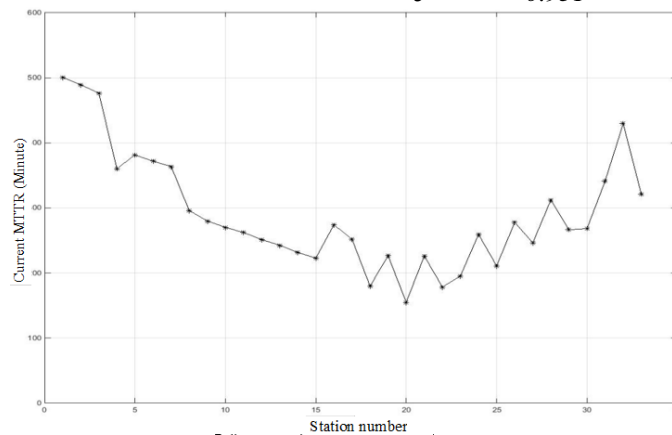
$$MTTR (Line 1) = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i TTR_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} = 6:20 \quad (32)$$

$$MTTR (Line 2) = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i TTR_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} = 6:54 \quad (33)$$

$$\mu_1 (line 1) = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{6:20} = 0.158 \mu_1 \quad (34)$$

$$\mu_2 (line 2) = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{6:54} = 0.143 \quad (35)$$

$$M(t)_{line 1} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR}t} = I - e^{-\frac{1}{6:20} \times 3} = 0.931 \quad (36)$$



شکل 3. میانگین MTTR موجود شبکه

فرآیند شبیه‌سازی مونت کارلو به منظور اثبات محاسبات تحلیلی و پیش‌بینی الگوری رفتاری شبکه در طول زمان به کار می‌رود (روبن اشتاین و کروس، 2016).

برای انجام شبیه‌سازی، محدوده توزیع یکنواخت اعداد تصادفی به نسبت احتمال عملکرد و از کار افتادن تقسیم می‌شود. (برمود، 2020) با آزمایش‌های مکرر، توالی سیکل‌های عملکرد و تعمیر برای هر یک از واحدها مقایسه می‌شود. هر گاه در زمان MTTR، همزمانی دوره-های تعمیر اتفاق بیفتد، یعنی شبکه به طور کامل خاموش شده است. در غیر این صورت، شبکه در دسترس قرار دارد. برای انجام فرآیند شبیه‌سازی از نتایج به دست آمده λ و μ هر دو خط فیبر نوری استفاده می‌شود. (فیشمن، 2013)

۱-۳-۳. قابلیت دسترسی شبکه

قابلیت دسترسی خطوط سری فیبر نوری با استفاده از روابط (38) تا (39) به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$Availability (A, B) = I - \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_1 + \mu_1)(\lambda_2 + \mu_2)} = \quad (38)$$

$$I - \frac{0.0070 \times 0.0071}{(0.0070 + 0.158) \times (0.0071 + 0.143)} = I - \frac{0.000049}{0.1650 \times 0.1500} = 0.9979 \quad (39)$$

بنا بر رابطه (38)، سطح دسترسی خطوط موازی فیبر نوری 0/9979 محاسبه گردید. بدین معنی که 99/9979٪ زمان در مدت سه سال محاسبه شده، شبکه فیبر نوری متشکل از دو خط موازی، در دسترس بوده است.

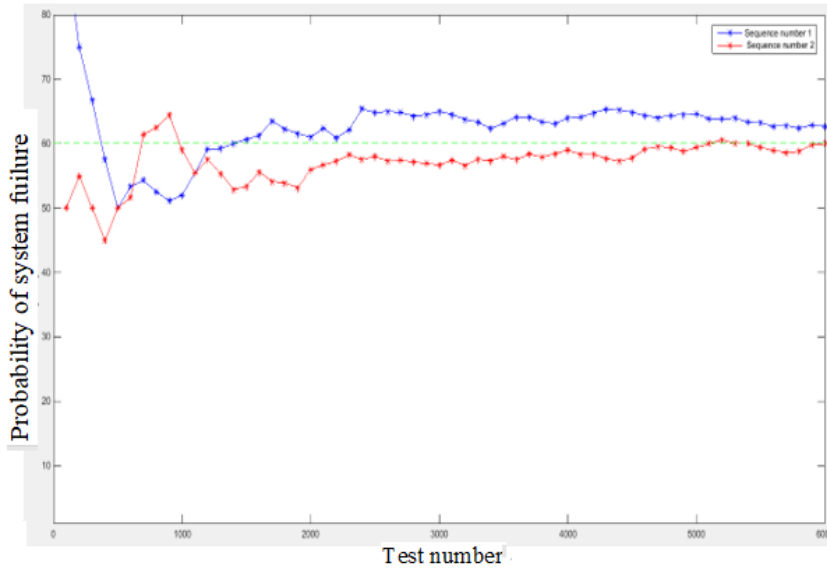
۴-۱-۳. شبیه‌سازی مونت کارلو بر اساس مکانیزم

RAM

$$\lambda 1 = 0.0070, \lambda 2 = 0.0024$$

$$\mu 1 = 0.158, \mu 2 = 0.143$$

$$\text{Unreliability} = 0.08 \times 0.08 = 0.006$$



شکل ۴. نمودار مشابه سازی عدم قابلیت اطمینان سیستم با دو واحد موازی تعمیرپذیر

۰/۰۰۶) به دست آمد. در جدول ۲ نتایج مشابه سازی ارائه شده است.

در جدول ۲، تعداد تجمعی از کارافتادگی های هر یک از اعضا، تعداد از کارافتادگی ها با تلاقی زمان (خاموشی کامل شبکه) و احتمال تجمعی از کارافتادگی های سیستم نشان داده شده است.

مطابق با شکل ۴، شبیه سازی مونت کارلو شبکه برای پیش بینی رفتار شبکه، از طریق نرم افزار متلب و در ۶۰۰۰ نمونه انجام شد. همانطور که در شکل دیده می شود بعد از آزمون ۳۰۰۰ ام، نتیجه ای مشابه با نتایج قابلیت اطمینان در محاسبه تحلیلی RBD (عدم قابلیت اطمینان برابر با

جدول ۲. تحلیل نتایج مشابه سازی قابلیت اطمینان سیستم با دو عضو موازی

تعداد تجمعی از کارافتادگی های هر یک از اعضا	تعداد از کارافتادگی ها با تلاقی زمان		احتمال تجمعی از کارافتادگی های سیستم		
	تعداد	تعداد از کارافتادگی ها با تلاقی زمان	تجمعی	منفرد	
دنباله شماره ۱	۱	۲	تجمعی	منفرد	$10^4 \times$
۱۰۰	۱۳	۱۸	۱	۱	۵۰
۵۰۰	۳۱	۴۳	۳	۲	۶۸
۱۰۰۰	۴۳	۵۶	۵	۲	۵۰
۲۰۰۰	۸۶	۹۱	۱۰	۵	۵۳
۳۰۰۰	۱۳۹	۱۴۱	۱۶	۶	۵۴
۴۰۰۰	۱۵۳	۱۶۶	۲۲	۶	۵۸
۵۰۰۰	۱۷۱	۱۷۸	۲۹	۷	۵۹
۶۰۰۰	۱۸۸	۱۹۸	۳۶	۷	۶۰

۳-۱-۴. محاسبه MTBF بر اساس نتایج مونت کارلو

MTBF شبکه فیبر نوری، از طریق تحلیل رفتار شبکه در شبیه‌سازی مونت کارلو (تعداد خرابی‌های شبکه و λ آن) و جدول ۲ و همچنین با استفاده از رابطه (۱۸) برای مدت ۳ سال به شرح زیر محاسبه می‌شود.

$$MTBF_{parallel} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} = \frac{1}{N \times T} \times \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} = \frac{1}{\frac{36}{2 \times 26280}} \sum_{i=1}^{12} \frac{1}{i} = \frac{1}{0.0006849} \times 3.10321 = 4531 \text{ h}$$

بنابراین، MTBF شبکه فیبر نوری موازی در مدت ۳ سال ۴۵۳۱ ساعت به دست آمد.

۳-۱-۵. نتایج مرحله اول تحقیق: بررسی وضعیت موجود پارامترهای RAM در شبکه مخابرات نوری راه آهن

در این قسمت، نتایج تحلیل پارامترهای RAM و شبیه‌سازی مونت کارلوی شبکه مخابرات نوری منطقه ریلی آذربایجان (مرحله اول) ارائه شده است. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌گردد، با توجه به تعداد خرابی‌های خطوط سری فیبر نوری که از جدول ۱ استخراج گردیده است، پارامترهای RAM شبکه موجود فیبر نوری موجود در راه آهن در مرحله اول تحقیق و همچنین تعداد مسدودی خط (خاموشی کامل شبکه موازی) به دست آمد.

جدول ۳. نتایج تحلیل پارامترهای RAM شبکه موجود انتقال نوری و شبیه‌سازی مونت کارلو (مرحله اول)

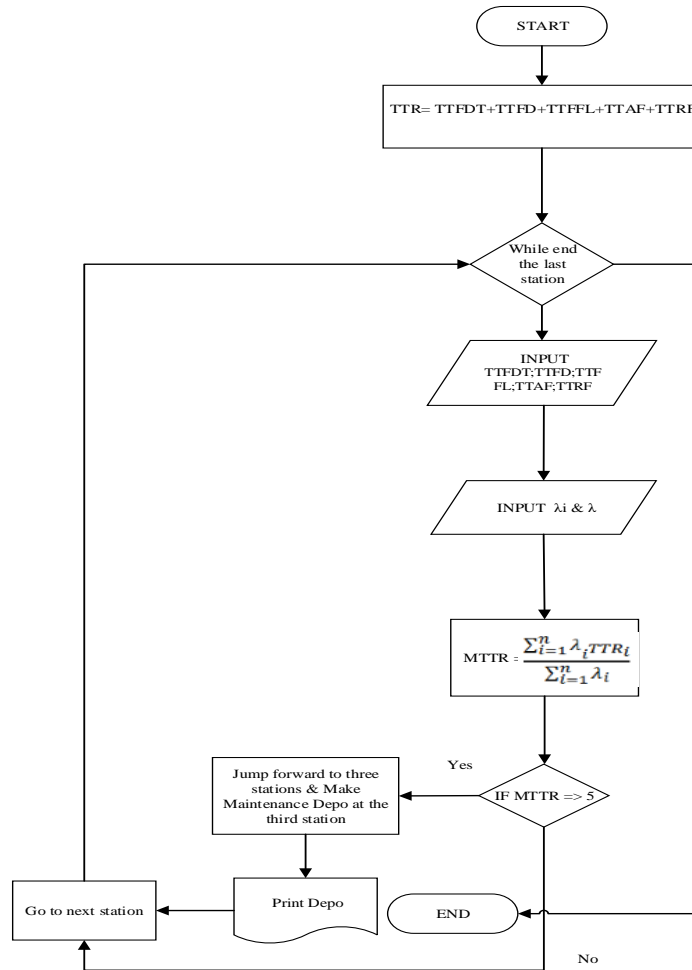
مسیر	تعداد خرابی	نرخ شکست (λ)	قابلیت اطمینان	MTBF	قابلیت نگهداری	قابلیت دسترسی
خط ۱	۱۸۴	۰/۰۰۷۰	۰/۹۱۹	۱۴۲ h	۰/۹۳۱	
خط ۲	۲۰۷	۰/۰۰۷۲	۰/۰۹۱	۱۴۱ h	۰/۹۰۷	۰/۹۹۷
موازی (مسدودی خط)	۷	۰/۰۰۰۶	۰/۹۹۳	۴۵۳۱ h		

۳-۲. مدل پیشنهادی برای کاهش MTTR و

بررسی اثرات آن بر پارامترهای RAM در شبکه مخابرات نوری راه آهن (مرحله دوم تحقیق)

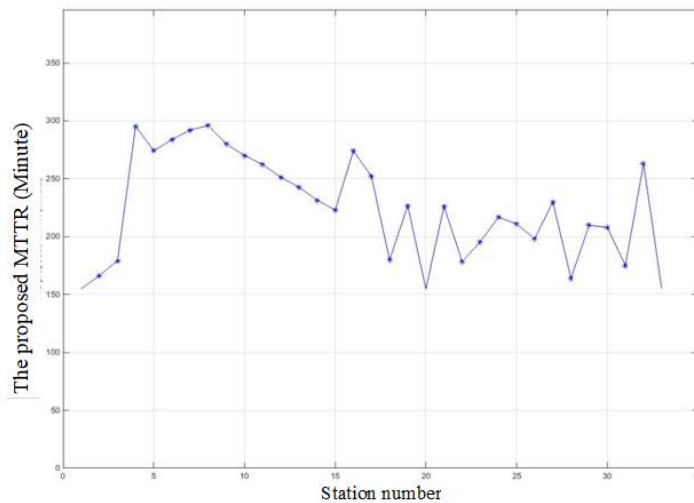
در مرحله دوم تحقیق، از طریق مدل پیشنهادی کاهش زمان تعمیر و در نتیجه کاهش MTTR، مجدداً به منظور ارزیابی تأثیر کاهش MTTR، به تحلیل پارامترهای RAM و شبیه‌سازی رفتار شبکه پرداخته شده است. برای طراحی جانمایی مراکز تعمیر و نگهداری و به منظور کاهش MTTR در مدل پیشنهادی مطابق با شکل ۵، نرم‌افزار کلیه پارامترهای MTTR را دریافت می‌کند و فاصله زمانی آنها را با مراکز تعمیر و نگهداری موجود مقایسه می‌نماید. در

صورت بیشتر بودن از زمان مد نظر که در این تحقیق حداکثر ۵ ساعت در نظر گرفته شده است، محل ایجاد مرکز جدید تعمیر و نگهداری جدید را شناسایی می‌نماید. افزودن اصولی مراکز جدید تعمیر و نگهداری، منجر به کاهش زمان رسیدن به محل خرابی و در نتیجه کاهش MTTR می‌شود. مطابق با شکل‌های ۶ و ۷، با پیاده‌سازی مدل فاصله‌گذاری مراکز تعمیر و نگهداری، MTTR کاهش می‌یابد که تأثیرات آن در مرحله دوم تحقیق بر پارامترهای RAM بررسی می‌گردد.

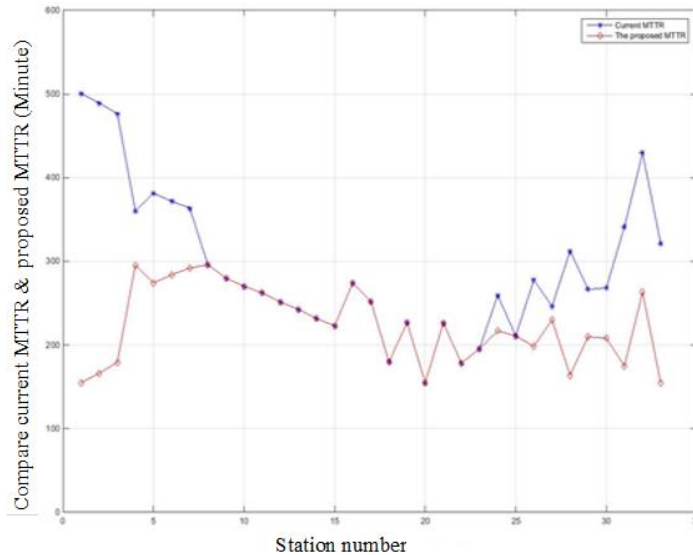


شکل ۵. مدل کاهش زمان MTTR

نتایج حاصل از خروجی اجرای فلوجارت شکل ۵ در کاهش مدت MTTR در شکل های ۶ و ۷ نشان داده شده است.



شکل ۶. نمودار کاهش MTTR با اجرای فلوجارت شکل ۵



شکل ۷. نمودار مقایسه MTTR موجود شبکه و مدل پیشنهادی

افزایش سطوح پارامترهای قابلیت نگهداری و قابلیت دسترسی شبکه موزی فیبر نوری نسبت به وضعیت موجود هستیم.

۲-۲-۳. محاسبه قابلیت اطمینان از طریق شبیه‌سازی مونت کارلو

با کاهش زمان MTTR در مرحله دوم، قابلیت اطمینان شبکه فیبر نوری از طریق بررسی مجدد رفتار شبکه محاسبه می‌گردد. بدین منظور، در شبیه‌سازی مونت کارلو از طریق آزمایش‌های مکرر، توالی سیکل‌های عملکرد و تعمیر برای هر یک از واحدها مقایسه می‌شود. هر گاه در زمان MTTR همزمانی دوره‌های تعمیر اتفاق بیفتد، به مفهوم خاموشی شبکه می‌باشد. در غیر این صورت، با عدم همزمانی تعمیر در دو مسیر، شبکه در دسترس قرار دارد. نتایج شبیه‌سازی قابلیت اطمینان شبکه با توزیع احتمال نمایی دارای μ و λ که از نتایج اجرای فلوچارت شکل ۵ به دست آمده است، در شکل ۸ نشان داده شده است.

۲-۳-۱. تحلیل نتایج حاصل از اجرای فلوچارت

کاهش MTTR بر پارامترهای RAM

به‌منظور مشاهده اثرات کاهش MTTR در مرحله دوم، مجدداً پارامترهای RAM آنالیز می‌گردند. در این قسمت، قابلیت نگهداری و قابلیت دسترسی شبکه از طریق روابط (۴۱) تا (۴۸) به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$MTTR (Line 1) = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i TTR_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} = 4:24 \quad (41)$$

$$0,226 = \frac{1}{MTTR_1} = \frac{1}{4:24} = \mu_1 \quad (42)$$

$$MTTR (Line 2) = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i TTR_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} = 4:51 \quad (43)$$

$$0,205 = \frac{1}{MTTR_2} = \frac{1}{4:51} = \mu_2 \quad (44)$$

$$1 - e^{-\frac{1}{MTTR} \times t} = 1 - M(t) \text{ line 1} = \quad (45)$$

$$e^{-\frac{1}{4:24} \times 3} = 0.987$$

$$1 - e^{-\frac{1}{MTTR} \times t} = 1 - M(t) \text{ line 2} = \quad (46)$$

$$e^{-\frac{1}{4:51} \times 3} = 0.978$$

$$Availability (A, B) = 1 - \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_1 + \mu_1)(\lambda_2 + \mu_2)} = \quad (47)$$

$$1 - \frac{0.0070 \times 0.0071}{(0.0070 + 0.226) \times (0.0071 + 0.205)} = 0.9989$$

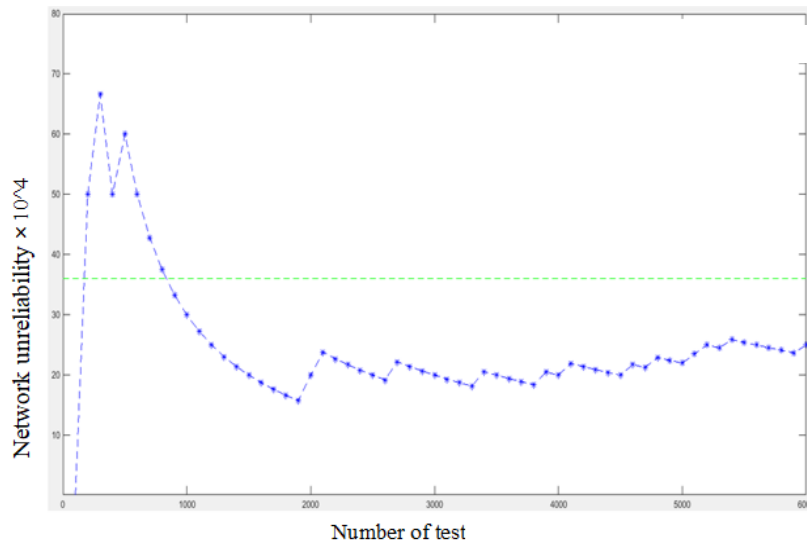
$$\bar{A} (A, B) = 1 - 0.9989 = 0.0011 \quad (48)$$

همانطور که از نتایج محاسبه روابط (۴۱) تا (۴۸) مشاهده می‌گردد، با پیاده‌سازی فلوچارت شکل ۵، شاهد

$$\lambda_1 = 0.0070, \lambda_2 = 0.0024$$

$$\mu_1 = 0.226, \mu_2 = 0.205$$

$$\text{Unreliability} = 0.002$$



شکل ۸. افزایش قابلیت اطمینان (کاهش عدم قابلیت اطمینان) شبکه

مطابق شکل ۸، شبیه‌سازی مونت کارلو از طریق نرم‌افزار MATLAB به ازای ۶۰۰۰ نمونه انجام شد. بعد از آزمون ۳۰۰۰ ام، نتیجه‌ای معادل با عدم قابلیت اطمینان برابر با ۰/۰۰۰۲ به دست آمد.

جدول ۴. تحلیل نتایج شبیه‌سازی قابلیت اطمینان شبکه با کاهش MTTR

تعداد آزمون‌ها	تعداد تجمعی از کارافتادگی‌های هر یک از اعضا		تعداد از کارافتادگی‌ها با تلافی زمان تعمیر		احتمال تجمعی از کارافتادگی‌های سیستم $\times 10^4$
	۱	۲	تجمعی	منفرد	
۱۰۰	۳۵	۴۱	۶	۶	۶۸
۱۰۰۰	۵۶	۶۲	۷	۱	۶۱
۳۰۰۰	۸۶	۱۰۱	۱۰	۳	۶۶
۵۰۰۰	۱۸۳	۱۷۵	۱۴	۴	۶۲
۶۰۰۰	۱۹۳	۲۰۱	۱۶	۲	۶۱

۳-۲-۳. محاسبه MTBF بر اساس نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو

با کاهش زمان تعمیر حاصل از اجرای مرحله دوم تحقیق و نتایج حاصل از شبیه‌سازی مجدد، با استفاده از رابطه (۱۸) مدت زمان MTBF برای مدت ۲۶۲۸۰ ساعت (۳ سال)، ۱۰۱۹۴ ساعت به دست آمد.

$$\text{MTBF}_{\text{parallel}} = \frac{1}{N \times T} \times \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} = \quad (49)$$

$$\frac{1}{\frac{12}{2 \times 26280}} \sum_{i=1}^{12} \frac{1}{12} = \frac{1}{0.0003044} \times 3.10321 = 10194 \text{ h}$$

در جدول ۴، با در نظر گرفتن زمان خرابی و مدت زمان تعمیر شبکه، تعداد از کارافتادگی‌ها با تلافی زمان نشان داده شده است که منجر به خاموشی شبکه در سه سال آینده می‌شود. همانطور که در نتایج مشاهده می‌شود با کاهش MTTR شاهد کاهش تعداد خاموشی شبکه می‌باشیم.

تعداد خاموشی‌های شبکه و مسدودی خط و کاهش آن پرداخته است. در مرحله اول وضعیت موجود شبکه آنالیز و رفتار شبکه شبیه‌سازی شده است و در مرحله دوم با پیاده‌سازی مدل کاهش MTTR مجدداً کلیه پارامترهای RAM تحلیل و در نهایت مجدداً رفتار شبکه شبیه‌سازی شده است. در جدول ۵، مجموع نتایج حاصل از مقایسه پارامترهای RAM در هر دو مرحله ارائه شده است.

بنابراین، زمان بین خاموشی‌های شبکه ۱۰۱۹۴ ساعت می‌باشد.

۴. یافته‌ها و نتایج حاصل از اجرای فلوجارت

کاهش MTTR

این تحقیق در دو مرحله به آنالیز و شبیه‌سازی مکانیزم RAM شبکه انتقال مخابرات نوری راه‌آهن برای محاسبه

جدول ۵. مقایسه تأثیرات کاهش MTTR در سطوح پارامترهای RAM

تعداد خاموشی‌های شبکه در سال و مسدودی خط	$MTBF(h) = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i}$	$MTTR(h) = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i TTR_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$	قابلیت نگهداری $M(t) = \frac{1}{1 - e^{-\frac{t}{MTTR}}}$	قابلیت دسترسی $A = \frac{I - \lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_1 + \mu_1)(\lambda_2 + \mu_2)}$	قابلیت اطمینان $I - R(t) = \prod_{i=1}^N (1 - R_i(t))$	وضعیت خطوط A & B
۷	۶۰۹۵	۶:۲۷	۰/۹۱۹	۰/۹۹۷	۰/۹۹۳	موجود
۲	۱۰۱۹۴	۴:۳۲	۰/۹۸۲	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	مرحله دوم

بررسی وضعیت موجود شبکه انتقال نوری ریلی و ارزیابی آن پرداخته شد و نتایج زیر حاصل گردید. در مرحله اول، ضمن بررسی و ارائه تمام پارامترهای RAM شبکه موجود سیستم انتقال نوری راه‌آهن، تعداد مسدودی خط به دلیل خاموشی شبکه ۷ مرتبه و MTBF آن ۴۵۳۱ ساعت به دست آمد.

در مرحله دوم، پس از کاهش MTTR، با بهینه‌سازی و شبیه‌سازی مجدد پارامترهای RAM، افزایش کیفی سطوح مکانیزم RAM نسبت به مرحله اول مشاهده و نتایج تغییرات آن ارائه گردید. همچنین، تعداد خاموشی کامل شبکه (قطع همزمان دو خط فیبر نوری و مسدودی خط) ۲ مرتبه و MTBF آن ۱۰۱۹۴ ساعت به دست آمد. در نهایت، با مقایسه نتایج تحلیلی و شبیه‌سازی در هر دو مرحله، مشاهده گردید که کاهش ۱۰ درصدی زمان MTTR، منجر به افزایش ۳/۵ برابری سطوح کیفی

۵. نتیجه‌گیری

پایداری زیرساخت‌های انتقال مخابراتی و سیر و حرکت ایمن ریلی رابطه مستقیم دارند. سیستم‌های کنترل قطار راه‌آهن که بر بستر شبکه‌های انتقال مخابراتی هستند، متضمن ایمنی بوده و در افزایش سرعت و ظرفیت حمل و نقل نقشی حیاتی دارند.

زمانی که خرابی تصادفی منجر به مسدودی خط می‌شود، معضلاتی نظیر کاهش ظرفیت بالقوه مسیر، نارضایتی مسافری، کاهش مشتریان قطارهای باری، جریمه توقف قطارهای باری و مسافری در تمام محور ریلی و ضرردهی به بار می‌آورد.

بنابراین، از کار افتادن کل و یا بخشی از آن، می‌تواند موجب اختلال در ایمنی، کاهش بهره‌وری و افزایش مسدودی خط گردد.

در این تحقیق، به منظور پیش‌بینی تعداد مسدودی خط بر اثر قطعی زیرساخت انتقال مخابراتی، در دو مرحله به

مکانیزم RAM و کاهش ۷۰ درصدی خاموشی شبکه و به دلیل قطع زیرساخت مخابراتی برای نخستین بار مسدودی خط شد. تحقیقاتی انجام شده است.

در مورد بهینه‌سازی زیرساخت مخابراتی انتقال و پیش‌بینی تعداد خاموشی‌های شبکه و مسدودی خط آهن

۶. مراجع

- Antova, M. 2013 "The introduction of common safety methods". IEEE International Conference on Railway Safety Assurance: Management and Method in a Safe Network, UK, March 20.
- Bourne, A. J. 1989 "Book review: Advances in reliability technology symposium". Int. J. Elec. Eng. Educ. 26(4): 376-376.
- Brémaud, P. 2020. "Markov chains: Gibbs fields, Monte Carlo simulation and queues". Springer International Publishing.
- Calixto, E. 2016. "Chapter 4- Reliability, availability, and maintainability (RAM analysis), modeling and analysis". Elsevier books.
- Carretero, J., Perez, J. M., Garcia-Carballeira, F., Calderón, A., Fernández, J., D. García, J., Lozano, A., Cardona, L., Cotaina, N. and Prete, P. 2003. "Applying RCM in large scale systems: A case study with railway networks". Reliab. Eng. Syst. Safe., 82(3): 257-273.
- Chen, L., Tang, T., Zhao, X. and Schnieder, E. 2012. "Verification of the safety communication protocol in train control system using colored petri net". Reliab. Eng. Syst. Safe., 100: 8-18.
- Dhillon, B. S. 1999. "Design reliability: Fundamentals and applications". University of Ottawa, Ontario, Canada.
- Dialynas, E. N. 1992. "Book review: 11th advances in reliability technology symposium". Int. J. Elec. Eng. Educ., 29(2): 132-132.
- Durazo-Cardenas, I., Starr, A., Turner, C., Tiwari, A., Kirkwood, L., Bevilacqua, M., Tsourdos, A., Shehab, E., Baguley, P., Yu, C. and Emmanouilidis, C. 2018. "An autonomous system for maintenance scheduling data-rich complex infrastructure: Fusing the railways' condition, planning and cost". Transport. Res. C: Emerg. Technol., 89: 234-253.
- Durga Rao, K., Gopika, V. and Srividya, A. 2017 "Reliability and advances in RAMS engineering E book". Springer, Cham, Switzerland.
- Figiel, K. D. and Sule, D. R. 1990 "A generalized reliability block diagram (RBD) simulation". IEEE Simulation Conference Proceedings, USA, Dec. 9-12.
- Fishman, G. 2013. "Monte Carlo: Concepts, algorithms, and applications". Springer Science & Business Media.
- Ghazi Maghrebi, S., Yazdani, M. and Hajizadeh, F. 2019. "Examining liberalization of Iranian railway communication service". IEEE International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC), Turkey, June 27-28.
- Goya, J., De Miguel, G., Arrizabalaga, S., Zamora-Cadenas, L., Adin, I. and Mendizabal, J. 2018. "Methodology and key performance indicators (KPIs) for railway on-board positioning systems". IEEE Trans. Intel. Transport. Syst., 19: 4035-4042.
- Guo, H. and Yang, X. 2007. "A simple reliability block diagram method for safety integrity verification". Reliab. Eng. Syst. Safe., 92: 1267-1273.
- Jafarnejad, A. and Esmaelian, M. 2011. "Reliability and maintenance management". University Books Study and Printing Organization, Tehran.
- Karanki, D. R., Vinod, G. and Srividya, A. 2020. "Advances in RAMS Engineering". Springer Nature, Switzerland.
- Khodayi, A., Yazdani, M. and Hajizadeh, F. 2018. "The liberation of rail telecommunication services". Iranian Railways Training and Research Center.
- Kumar, S. 2008. "Reliability analysis and cost modeling of degrading systems". Luleå University of Technology, Division of Operation and Maintenance Engineering.
- Liem, M. and Mendiratta, V. B. 2011. "Mission critical communication networks for railways". Bell Labs Tech. J., 16: 29-46.
- Lin, J. T. and Dang, J. W. 2012. "Reliability models of GSM-R redundant network on high-speed railway". Appl. Mech. Mater., 198-199: 1783-1788.
- Lin, S., Fang, X., Lin, F., Yang, Z. and Wang, X. 2018. "Reliability of rail transit traction drive system-A review". Microelectron. Reliab., 88-90: 1281-1285.
- Macchi, M., Garetti, M., Centrone, D., Fumagalli, L. and Piero Pavirani, G. 2012. "Maintenance management of railway infrastructures based on reliability analysis". Reliab. Eng. Syst. Safe., 104: 71-83.
- Min, Y., Chunhui, Y. and Sen, Z. 2013. "Reliability model for control center of railway signalling system based on SRN". IEEE Fourth International Conference on Digital Manufacturing & Automation, China, June 29-30.
- Nick Holmes, M. 2013 "Safety acceptance for whole-railway projects understanding the real safety acceptance challenge". IEEE ET Seminar on Railway Safety Assurance: Management and Method in a Safe Network, London, UK, March 20.
- Olivieri, J. 2015. "Modeling multiple preventative maintenance actions in a RAMS analysis". IEEE Conference, USA, May 11.

- Panda, Ch., Patro, S. and Gantayat, P. K. 2012. "Link reliability in WDM optical network". *Indian J. Comput. Sci. Eng.*, 3(1): 126-132.
- Pham, H. 2003. "Handbook of reliability engineering". Springer, London, UK.
- Pinhel, A., Filho, A. A. S., Landi, R. P. and Alves, D. G. 2018. "Matching cyber security with reliability and maintainability: An example on power systems for data networks". *IEEE Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, USA, Jan. 22-25.
- Rubinstein, R. Y. and Kroese, D. P. 2016. "Simulation and the Monte Carlo method". John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Saraswat, S. and Yadava, G. S. 2008. "An overview on reliability, availability, maintainability and supportability (RAMS) engineering". *Int. J. Qual. Reliab. Manage.*, 25: 330-344.
- Sayed, A., Shimy, M., Metwally, M. and Ishahed, M. 2019 "Reliability, availability and maintainability analysis for grid-connected solar photovoltaic systems". *MDPI J.*, 12: 1-18.
- Smith, D. 2017. "Reliability, maintainability and risk". Elsevier Ebook, 9th Edition.
- Waqar, H. and Pervez, Q. 2017. "Reliability modeling and analysis of communication networks", *J. Netw. Comput. Appl.*, 78: 191-215.
- Woo, S. 2020. "Reliability design of mechanical systems". Springer, Cham.
- Yazdani, M. 2014. "Signaling and communication in the railway from yesterday to tomorrow". The Iranian Railway Training and Research Center.