

Optimization and reduction of blocking of railway lines using three-layer perceptron neural networks

Maziar yazdani¹, Saeed Ghazi Maghrebi^{2*}, Mohammad Ali Afshar Kazemi³

- 1- Ph.D. Student, Department of Information Technology Management, Qeshm Branch, Islamic Azad University, Qeshm, Iran
- 2- Assistant Professor, Department of Telecommunication Engineering, Electrical and Computer Faculty, Yadgar Imam Khomeini Branch, Shahr Ray, Islamic Azad University, Tehran, Iran
- 3- Assistant Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Today, a huge amount of data is transmitted around the world through the high capacity of optical telecommunication networks. In railways, optical transmission telecommunication networks play a very important role in the transmission of vital rail data and the safety of movement. Reliability stability of telecommunication infrastructure is essential in increasing productivity, maintaining safety and reducing maintenance costs. In this article, the existing reliability level and all relevant parameters (the number of network outages and the duration between network failures, MTBF) of the railway optical transmission telecommunication network to obtain the number of blocked railway lines through the block diagram method (Reliability block diagram model) created and simulated through the Monte Carlo method and then optimized with the aim of reducing line blocking, considering that with each network failure, rail lines are blocked, the number of network outages is equal to line blocking. Therefore, with optimization, the reliability of the line blocking network is reduced. Also, predicting the behavior of the network and obtaining the probability of its failure is done through perceptron three-layer neural networks and its results are presented. The network implemented in this article is an optical telecommunication transmission network. The railway zone of Azerbaijan is 654 km long.

ARTICLE INFO

Receive Date: 02 November 2022
Revise Date: 22 November 2022
Accept Date: 27 November 2022

Keywords:

Optical transmission telecommunication network, Reliability, Monte Carlo simulation, perceptron neural, RBD model

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://doi.org/10.22065/jsce.2022.367487.2959>

*Corresponding author: Saeed Ghazi Maghrebi
Email address: S_ghazi2022@yahoo.com

بهینه سازی و کاهش مسدودی خطوط ریلی با استفاده از شبکه‌های عصبی سه لایه

پرسپترون

مازیار یزدانی^۱، سعید قاضی مغربی^{۲*}، محمد علی افشار کاظمی^۳

۱- دانشجوی دکترا، گروه مدیریت فناوری اطلاعات، واحد قشم، دانشگاه آزاد اسلامی، قشم، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی مخابرات، دانشکده برق و کامپیوتر، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهر ری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

امروزه در سراسر جهان حجم عظیمی از داده‌ها از طریق ظرفیت بالای شبکه‌های مخابراتی نوری انتقال می‌یابد. در راه‌آهن نیز شبکه‌های مخابراتی انتقال نوری در انتقال داده‌های حیاتی ریلی و ایمنی سیر و حرکت نقش بسیار بالایی دارند. پایداری قابلیت اطمینان زیرساخت‌های مخابراتی در افزایش بهره‌وری، حفظ ایمنی و همچنین کاهش هزینه‌های نگهداری الزامی می‌باشد. در این مقاله ابتدا سطح قابلیت اطمینان موجود و کلیه پارامترهای مربوطه (تعداد قطعی‌های شبکه و مدت زمان بین خرابی‌های شبکه (MTBF)) شبکه مخابراتی انتقال نوری راه‌آهن بدست آمده است. برای بدست آوردن تعداد مسدودی خطوط ریلی از طریق روش بلوک دیگرام^۱ مدل‌سازی و از طریق روش مونت کارلو شبیه‌سازی شده و سپس در مرحله دوم با هدف کاهش مسدودی خط قابلیت اطمینان شبکه مخابراتی راه‌آهن بهینه‌سازی شده است با توجه به اینکه با هر خرابی شبکه، خطوط ریلی مسدود می‌شوند، تعداد قطعی شبکه با مسدودی خط برابر است. بنابراین با بهینه‌سازی قابلیت اطمینان شبکه مسدودی خط کاهش می‌یابد. همچنین پیش‌بینی رفتار شبکه و بدست آوردن احتمال خرابی‌های آن از طریق شبکه‌های عصبی سه لایه پرسپترون انجام شده و نتایج آن ارائه شده است. شبکه پیاده‌سازی شده در این مقاله شبکه انتقال مخابرات نوری منطقه ریلی آذربایجان به طول ۶۵۴ کیلومتر می‌باشد.

کلمات کلیدی: شبکه مخابرات انتقال نوری، قابلیت اطمینان، شبیه‌سازی مونت کارلو، شبکه عصبی پرسپترون، مدل RBD

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://doi.org/10.22065/jsce.2022.367487.2959	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2022.367487.2959	۱۴۰۲/۰۶/۳۱	۱۴۰۱/۰۹/۰۶	۱۴۰۱/۰۹/۰۶	۱۴۰۱/۰۹/۰۱	۱۴۰۱/۰۸/۱۱
سعید قاضی مغربی ghazimaghrebi@iausr.ac.ir					*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:	

¹ Reliability block diagram

۱- مقدمه

شبکه‌های مخابرات نوری در حفظ ایمنی راه‌آهن و جلوگیری از سوانح ریلی نقش بسزایی دارند. بنابراین افزایش قابلیت اطمینان این شبکه‌ها نقش مهمی در عملکرد مطلوب شبکه ریلی دارد [۱] تا [۴]. تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده است. نویسندگان در [۵] تا [۷]. تحقیقی مروری بر مهندسی RAMS بین سال‌های (۲۰۰۵-۱۹۹۸) میلادی از مجلات و کنفرانس‌های معتبر ارائه کردند. نویسندگان در [۸] اولین بار مدل قابلیت اطمینان و نگهداری را برای سیستم‌ها زیر سیستم‌ها و ارتباط بین آنها را از طریق مدل بلوک قابلیت اطمینان RBD^۲ نشان دادند. نویسندگان در [۹] قابلیت اطمینان سیگنالینگ ریلی را مدلسازی و تحلیل کردند. نویسندگان در [۱۰] تکنیک‌های مختلف مدل سازی قابلیت اطمینان را در شبکه‌های مخابراتی همچنین شبکه مخابراتی کنترل قطار^۳ (CBTC) بررسی کردند. تاکنون تحقیقات گسترده و مهمی در زمینه ارزیابی قابلیت اطمینان در زیرساخت‌های اصلی راه‌آهن صورت گرفته [۵] تا [۷]. اما سیستم‌های انتقال نوری مخابرات راه‌آهن که جزو زیرساخت‌های اصلی راه‌آهن هستند [۳] از این مقوله بی بهره بوده اند. راه‌آهن‌ها، دارای شبکه‌های خصوصی منحصر به خود هستند [۳]. سیگنال‌های ریلی از طریق شبکه انتقال نوری در تمام ایستگاه‌های راه‌آهن پیاده سازی شده و سرویس‌دهی می‌نمایند [۱] و [۴]. سرویس‌های شبکه انتقال نوری شامل ساختارهای کنترل قطار [۱] و [۳] و نرم افزارهای ریلی نظیر بارنامه می‌باشند. [۲] بنابراین قطع شدن شبکه، منجر به قطع شدن سرویس‌های مذکور و در نهایت کاهش ایمنی ریلی می‌شود [۱] و [۲]. در این تحقیق، علاوه بر مدل سازی و محاسبه قابلیت اطمینان شبکه موجود مخابرات نوری مسیر ریلی منطقه "آذربایجان" نسبت به بهینه سازی و بدست آوردن احتمال تعداد خاموشی و از کار افتادن شبکه فیبر نوری و همچنین شبیه سازی شبکه از طریق روش مونت کارلو اقدام شده است. با توجه به اینکه با هر خرابی شبکه، خطوط ریلی مسدود می‌شوند، تعداد قطعی شبکه با مسدودی خط برابر است. بنابراین با بهینه سازی قابلیت اطمینان شبکه مسدودی خط کاهش می‌یابد.

۱-۱- مدل تحقیق

در این مقاله در دو مرحله به ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه مخابرات نوری راه‌آهن و مسدودی خط پرداخته می‌شود.

- **مرحله اول:** بررسی وضعیت موجود قابلیت اطمینان شبکه مخابرات نوری راه‌آهن. خرابی‌های مربوط به چند سال گذشته از طریق نرم افزار ثبت خرابی راه‌آهن اخذ گردیده است.
- **مرحله دوم:** مدل سازی افزایش قابلیت اطمینان شبکه.

در مرحله دوم تحقیق پس از مدل سازی، بمنظور محاسبه قابلیت اطمینان شبکه نیاز به پیش بینی تعداد خرابی‌های آینده شبکه فیبر نوری، می‌باشد بدین منظور ابتدا ماتریس ریسک^۴ شبکه بررسی شده و سپس از طریق شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه^۵ (MLP) تعداد احتمالی خرابی چند سال آینده شبکه فیبر نوری پیش بینی بدست آمده و مجدداً قابلیت اطمینان شبکه محاسبه و شبیه سازی شده است.

۱-۲- مسدودی خط^۶

مسدودی خط وضعیتی است که در آن قطعه‌ای از خط بدلیل نیاز به عملیات نگهداری، تعمیر یا نوسازی به واحد تعمیرات واگذار می‌شود و در نتیجه قطار نمی‌تواند از آن عبور کند. مسدودی خط شامل دو حالت است، مسدودی خط برنامه‌ریزی شده و مسدودی خط بدلیل خرابی‌های تصادفی. در مسدودی‌های برنامه‌ریزی شده، مدت زمان رفع خرابی مشخص است و برای مواردی نظیر تعمیر خط برنامه-

² Reliability block diagram

³ Communication base train control

⁴ Risk

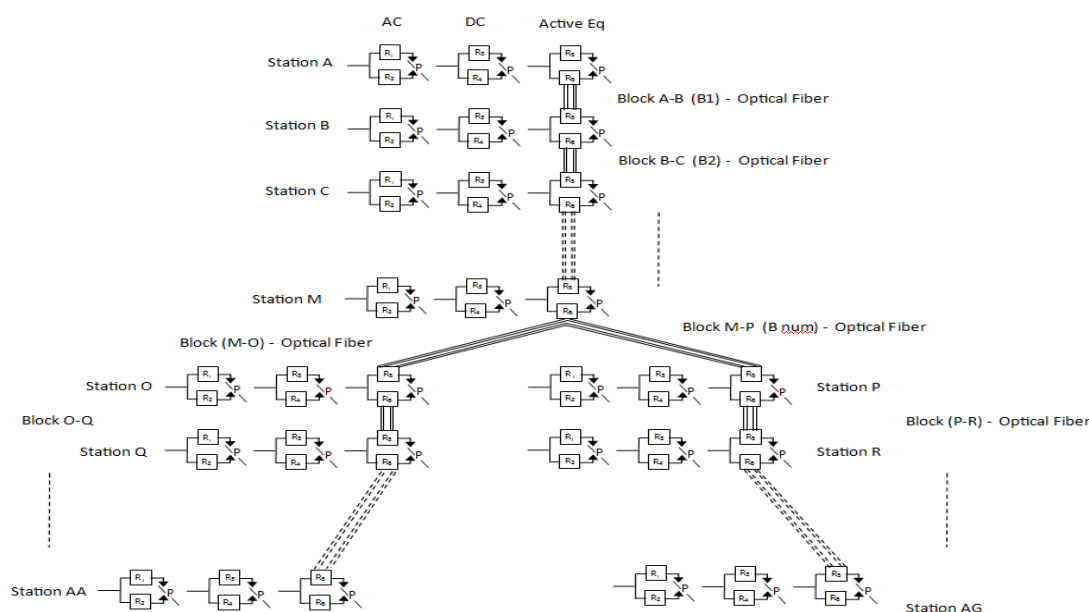
⁵ Multilayer perceptron

⁶ track possession

ریزی شده است. برنامه ریزی زمانی این گونه مسدودی بگونه‌ای است که تداخلی با تردد قطارهای مسافری و باری ندارد. اما 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 [۱].

۳-۱- توپولوژی شبکه انتقال نوری

مطابق شکل ۱ شبکه انتقال مخابرات نوری ریلی شامل خطوط فیبر نوری و تجهیزات انتقال مخابراتی^۷ (SDH/DWDM) می‌باشد. خطوط فیبر نوری بین ایستگاه‌های راه‌آهن در فاصله ۲-۳ متری ریل آهن به صورت سری در سراسر راه‌آهن گسترده شده‌اند. این خطوط دارای خرابی‌های کاملاً مستقل از هم و تصادفی می‌باشند [۱]. به حفاصل بین دو ایستگاه (از سیگنال خروجی ایستگاه مبدأ، تا سیگنال ورودی ایستگاه مقصد) بلاک گفته می‌شود. برای ایجاد ارتباطات مخابراتی بین ایستگاه‌ها و پیاده سازی سرویس‌های مخابراتی کنترل قطار، تمامی بلاک‌ها از طریق فیبر نوری به هم متصل هستند [۱۱]. شکل ۱ شمایی از توپولوژی شبکه انتقال مخابرات ریلی را نشان می‌دهد.



شکل ۱: شمایی از توپولوژی شبکه انتقال مخابرات ریلی [۱۱].

۲- آنالیز قابلیت اطمینان^۸

قابلیت اطمینان شبکه شامل احتمال عملکرد و کارکرد مطلوب یک سیستم برای یک مدت مشخص و در شرایط مشخص می‌باشد [۱۷] تا [۲۰]. در مرحله نخست، تعاریف و روابط قابلیت اطمینان و شبکه عصبی پرسپترون تشریح می‌گردد.

⁷ synchronous digital hierarchy/Dense wavelength division multiplexing

⁸ Reliability Analyze

۲-۱- قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان شبکه شامل احتمال عملکرد مطلوب یک سیستم برای مدت مشخص و شرایط مشخص می‌باشد [۱۲]. قابلیت اطمینان یک سیستم $(R(t))$ ، بیانگر احتمال عدم از کار افتادگی سیستم است که با گذشت زمان تغییر می‌کند. $R(t)$ مکمل تابع توزیع احتمال تجمعی از کار افتادگی $F(t)$ می‌باشد. همچنین $f(t)$ به عنوان تابع چگالی عمر و یا تابع چگالی احتمال تعریف می‌گردد. در سیستم‌هایی تابع $f(t)$ به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود، t زمان و λ نرخ خرابی در واحد زمان است [۱۳].

$$F(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (۱)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (۲)$$

$$R(t) = \int_t^{\infty} \lambda e^{-\lambda t} dt = 1 - \int_0^t \lambda e^{-\lambda t} dt = e^{-\lambda t} \quad (۳)$$

عدم قابلیت اطمینان را با $Q(t)$ نشان داده که در این صورت خواهیم داشت [7] و [13] تا [15].

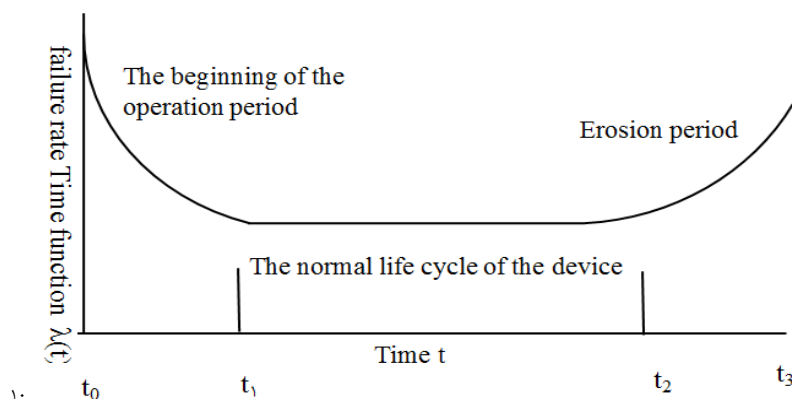
$$Q(t) + R(t) = 1 \Rightarrow Q(t) = 1 - R(t) \quad (۴)$$

$$Q(t) = F(t) = \int_0^t f(t) \cdot dt = 1 - e^{-\lambda t} \quad (۵)$$

۲-۱-۱- توابع قابلیت اطمینان

• تابع نرخ خرابی^۹

نرخ شکست (h) عبارت است از احتمال رخ دادن خرابی در بازه زمانی Δt به شرط کارکرد بدون خرابی تجهیز تا زمان t . در این تحقیق، $h(t)$ شبکه مخابراتی در فاصله زمانی (t_1 و t_2) قرار دارد. این مدت زمان کار نرمال سیستم است و خرابی جنبه تصادفی دارد [۱۴].



شکل ۲: منحنی میزان نرخ حادثه در مدت عمر یک دستگاه (وان حمام) [۱۴]

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 [۹].

^۹ Failure Rate

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

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

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

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

• متوسط زمان بین خرابی‌ها (MTBF)^{۱۱}.

MTBF متوسط زمان بین شکست‌های یک سیستم است و در این حالت به صورت زیر محاسبه می‌شود [۹] تا [۱۵].

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

• مدل بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان (RBD)^{۱۲}.

در مدل RBD از یک دیاگرام برای مدل سازی قابلیت اطمینان استفاده می‌شود. در این مدل سیستم به صورت یک بلوک متصل بهم به صورت سیستم‌های سری، موازی و ترکیبی نشان داده می‌شود [۹] تا [۱۶].

الف - سیستم‌های سری

در سیستم‌های سری، عملکرد مطلوب کل سیستم به عملکرد تمامی اجزای آن بستگی دارد و اگر یکی از اجزاء از کار بیفتد، کل سیستم متوقف خواهد شد. اگر سیستم‌های سری (R series)، R_i قابلیت اطمینان هر واحد ($i=1,2,\dots,n$) و n تعداد کل واحدهای سیستم است [۹] و [۱۶] تا [۱۷]. بنابراین در این سیستم‌ها $R(t)$ ، $Q(t)$ و MTBF به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$R_{series}(t) = Pr(\cap_{i=1}^n AI(t)) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (10)$$

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

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

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

¹¹ Mean Time Between Failure

¹² Reliability Block Diagram Model

ب- سیستم‌های موازی

در سیستم‌های موازی در صورت عملکرد مطلوب یکی از اجزاء، کل سیستم دارای عملکرد مطلوب خواهد بود. برای محاسبه قابلیت اطمینان اگر سیستم موازی ($R_{parallel}$)، قابلیت اطمینان هر واحد ($i=1,2,\dots,n$) و n تعداد کل واحدهای سیستم باشد. بنابراین در این سیستم‌ها $R(t)$ ، $Q(t)$ و $MTBF$ به صورت زیر محاسبه می‌شوند [۹] و [۱۶] تا [۱۷].

$$R_{parallel}(t) = Pr(\cup_{i=1}^n A_i(t)) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t)) \quad (14)$$

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

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

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

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

ج- سیستم‌های ترکیبی

سیستم‌های ترکیبی، بصورت ترکیبی از سیستم‌های سری و موازی می‌باشند. برای محاسبه قابلیت اطمینان شبکه ترکیبی از روابط زیر استفاده می‌شود. [۹] و [۱۶] تا [۱۷].

$$R_{parallel-series} = Pr(\cup_{i=1}^M \cap_{j=1}^N A_{ij}(t)) = 1 - \prod_{i=1}^M (1 - \prod_{j=1}^N (R_{ij}(t))) \quad (19)$$

$$R_{series-parallel} = Pr(\cap_{j=1}^N \cup_{i=1}^M A_{ij}(t)) = \prod_{i=1}^N (1 - \prod_{j=1}^M (1 - R_{ij}(t))) \quad (20)$$

۲-۲- شبکه پرسپترون چند لایه (MLP) Multilayer perceptron

یکی از پایه‌ای‌ترین مدل‌های عصبی موجود، مدل پرسپترون چند لایه (MLP) است که عملکرد انتقالی مغز انسان را شبیه‌سازی می‌کند. انواع قسمت‌ها و فرآیندهای پرسپترون چند لایه عبارتند از:

الف- لایه‌ها

MLP شامل سه یا تعداد بیشتری از لایه‌ها است که از گره‌های غیرخطی فعال کننده هستند.

ب- یادگیری

یادگیری در شبکه عصبی با تغییر وزن اتصال پس از پردازش هر قطعه از داده‌ها، براساس میزان خطا در خروجی در مقایسه با نتیجه مورد انتظار رخ می‌دهد. خطای موجود در گره خروجی J را در n امین نقطه داده به صورت زیر نشان داده می‌شود.

$$e_j(n) = d_j(n) - y_j(n) \quad (21)$$

که در آن d مقدار هدف و y مقدار تولید شده توسط پرسپترون می‌باشد.

$$\Delta w_{ji}(n) = -\eta \frac{\partial \varepsilon(n)}{\partial v_j(n)} y_i(n) \quad (22)$$

که در آن y_i خروجی نورون پیشین و میزان یادگیری است که انتخاب شده تا اطمینان حاصل شود که وزن‌ها به سرعت به واکنش بدون

$$\frac{\partial \varepsilon(n)}{\partial v_j(n)} = e_j(n) \phi'(v_j(n)) \quad (23)$$

نوسان همگرا می‌شوند.

که در آن ϕ مشتق تابع فعال‌سازی است. الگوریتم شماره ۵-۱ فرایند شبکه پرسپترون چند لایه (MLP) را نشان می‌دهد.

۳ - بررسی قابلیت اطمینان موجود شبکه (مرحله اول تحقیق)

برای مدل‌سازی و تحلیل قابلیت اطمینان شبکه فیبر نوری از طریق روش RBD ابتدا قابلیت اطمینان زیرسیستم‌های بلاک‌های فیبر نوری و سپس قابلیت اطمینان شبکه سری فیبر نوری مدل‌سازی و محاسبه می‌شود. در جدول شماره ۱، تعداد خرابی‌های شبکه در هر بلاک، (تعداد مسدودی خط با خرابی‌های شبکه برابر است) نرخ شکست و قابلیت اطمینان هر بلاک شبکه محاسبه شده و سپس قابلیت اطمینان کل شبکه فیبر نوری بدست آمده است.

جدول ۱- قابلیت اطمینان زیر سیستم‌های بلاک‌های شبکه سری فیبر نوری شامل تمامی بلاک‌ها

R(t)	(λ)	تعداد خرابی‌ها	بلاک‌های فیبر نوری
------	-----	----------------	--------------------

۰/۹۹۶۶۲۰	۰/۰۰۰۶۰۸۸	۱۶	A - B
۰/۹۹۷۹۱۰	۰/۰۰۰۴۰۳۳	۱۵	B - C
۰/۹۹۶۶۲۰	۰/۰۰۰۶۰۸۸	۱۶	C - D
۰/۹۹۸۱۴۰	۰/۰۰۰۴۳۲۷	۱۴	D - E
۰/۹۹۵۱۳۰	۰/۰۰۰۴۷۳۱	۱۷	E - F
۰/۹۹۵۰۳۱	۰/۰۰۰۴۹۷۱	۱۸	F - G
۰/۹۹۵۰۳۱	۰/۰۰۰۴۹۷۱	۱۸	G - H
۰/۹۹۸۱۴۰	۰/۰۰۰۴۳۲۷	۱۴	H - I
۰/۹۹۸۱۲۷	۰/۰۰۰۲۷۷۸۳	۱۲	I - J
۰/۹۹۷۹۱۰	۰/۰۰۰۴۰۳۳	۱۵	J - K
۰/۹۹۸۱۴۰	۰/۰۰۰۴۳۲۷	۱۴	K - L
۰/۹۹۷۹۱۰	۰/۰۰۰۴۰۳۳	۱۵	L - M

۳-۱- نتایج مدل سازی و محاسبه قابلیت اطمینان سیستم در مدت ۲۶۲۸۰ ساعت

$$R_{b \text{ Line (1)}} = \prod_{i=1}^n R_{b \text{ Line (1)}} = R(b)_1 R(b)_2 R(b)_3 R(b)_4 R(b)_5 R(b)_6 R(b)_7 R(b)_8 R(b)_9 R(b)_{10} R(b)_{11} R(b)_{12} \quad (24)$$

$$= 0.994552 \times 0.998181 \times 0.997726 \times 0.998181 \times 0.996365 \times 0.995911 \times 0.996365 \times 0.996818 \times 0.997726 \times 0.996365 \times 0.997272 \times 0.997726 = 0.9192$$

$$Q_{b \text{ Line (1)}} = \prod_{i=1}^n Q_i(t) = 1 - R(t) = 1 - 0.9192 = 0.0803 \quad (25)$$

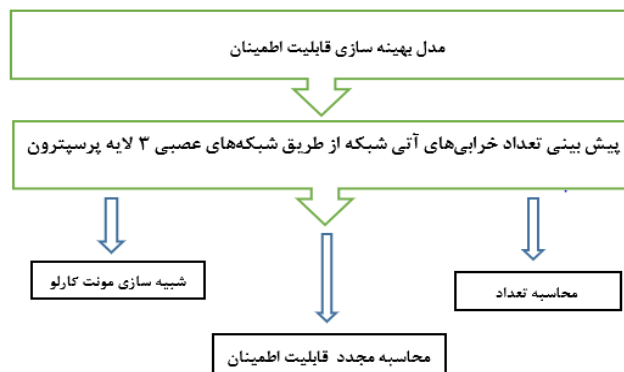
$$MTBF_{series} = \int_t^{\infty} e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i(t)} dt = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} = \frac{1}{0.0070} = 141 \text{ h} \quad (26)$$

در این قسمت با استفاده از مدل RBD قابلیت اطمینان شبکه مخابراتی موجود بدست می‌آید.

با استفاده از نتایج بدست آمده از جدول ۱ قابلیت اطمینان شبکه فیبر نوری موجود راه‌آهن ۰,۹۱۹۲ و MTBF (متوسط زمان بین شکست-های شبکه) آن ۱۴۱ ساعت بدست آمد.

۴- مرحله دوم تحقیق

برای انجام مرحله دوم تحقیق که شامل مدل سازی و بهینه‌سازی قابلیت اطمینان شبکه است، مراحل زیر انجام می‌شود.



شکل ۳: فرآیند مرحله دوم تحقیق

۴-۱- مدل بهینه سازی قابلیت اطمینان و کاهش مسدودی خط

بمنظور افزایش قابلیت اطمینان، ۱۲ بلاک شبکه سری موجود به صورت ترکیبی زیر مدل سازی می‌شود.

$$R_{b \text{ Optical fiber parallel}} = 1 - \left[\prod_{i=1}^N (1 - R_i(t)) \right] = 1 - (1 - R_{b \text{ Line } (1)}) (1 - R_{b \text{ Line } (2)}) = 1 - R(b)_{\text{Line } 1}$$

$$R(b)_{\text{Line } 2} R(b)_{\text{Line } 3} R(b)_{\text{Line } 4} R(b)_{\text{Line } 5} R(b)_{\text{Line } 6} R(b)_{\text{Line } 7} R(b)_{\text{Line } 8} R(b)_{\text{Line } 9} R(b)_{\text{Line } 10} \quad (27)$$

$$\times (1 - R(b)_{\text{Line } 11}) R(b)_{\text{Line } 12} R(b)_{\text{Line } 1} R(b)_{\text{Line } 2} R(b)_{\text{Line } 3} R(b)_{\text{Line } 4} R(b)_{\text{Line } 5}$$

$$R(b)_{\text{Line } 6} R(b)_{\text{Line } 7} R(b)_{\text{Line } 8} R(b)_{\text{Line } 9} R(b)_{\text{Line } 10} R(b)_{\text{Line } 11} R(b)_{\text{Line } 12}$$

پس از مدل سازی برای محاسبه مجدد قابلیت اطمینان شبکه نیاز به پیش بینی تعداد خرابی‌های آینده شبکه فیبر نوری، می‌باشد. بدین منظور ابتدا ماتریس ریسک^{۱۳} شبکه تهیه شده و سپس از طریق شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) تعداد احتمالی خرابی چند سال آینده شبکه فیبر نوری پیش بینی می‌شود.

۴-۲- پیش بینی خرابی‌های مسیرهای فیبر نوری با استفاده از شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه^{۱۴}

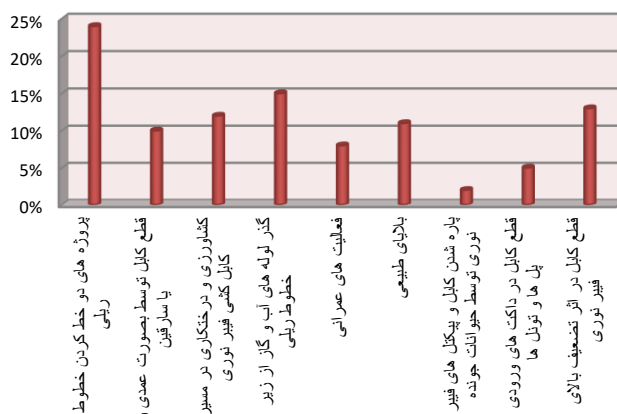
برای بدست آوردن تعداد خرابی‌های آینده شبکه فیبر نوری، ابتدا ماتریس ریسک بدست می‌آید. شکل شماره ۳ نتایج حاصل از

اجرای ماتریس ریسک را نشان می‌دهد.

¹³ Risk

¹⁴ Multilayer perceptron

فراوانی خرابی و قطعی خطوط ارتباطی فیبر نوری

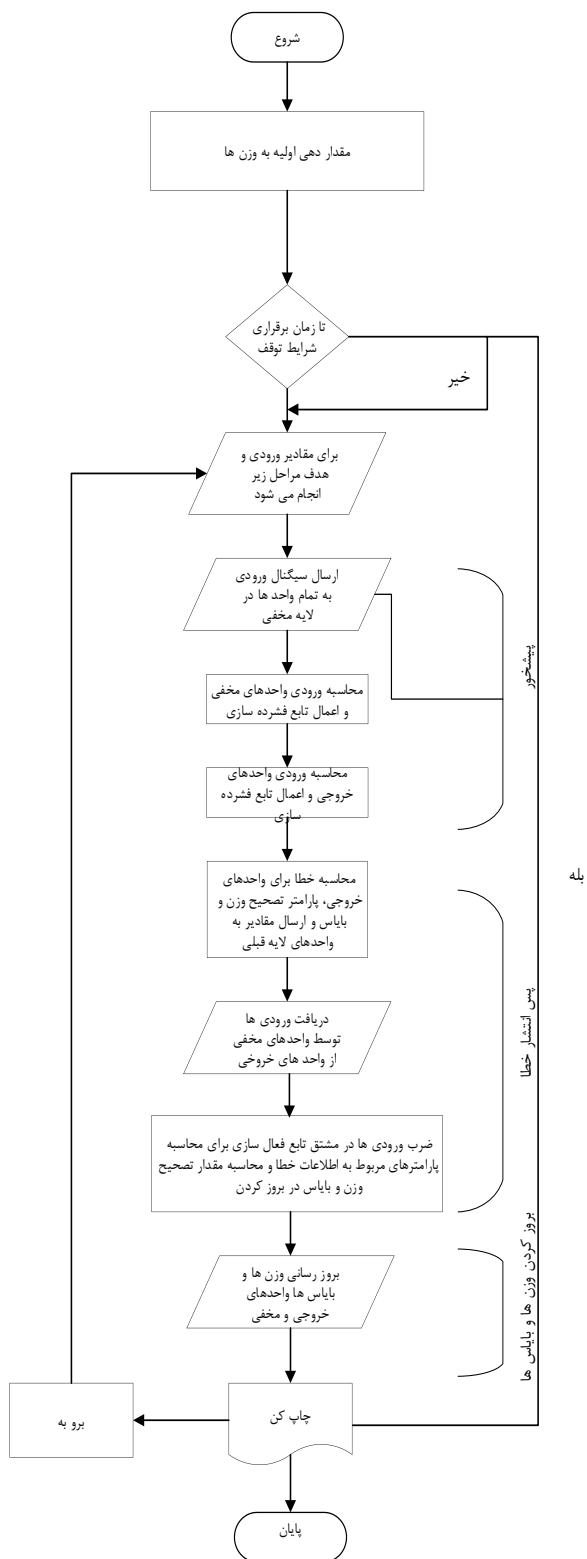


شکل ۴: ضرایب ریسک های شبکه

سپس، احتمال وقوع خرابی های شبکه فیبر نوری از طریق شبکه پرسپترون چند لایه پیش بینی شده است. فرآیند اجرای MLP به شرح الگوریتم شکل شماره ۵ و نتایج آن در نمودارهای شکل های ۶ تا ۹ نشان داده شده است. مبنای ریاضی الگوریتم شکل ۵، بهینه سازی کاهش گرادیان با هدف نمایانگر کردن جهتی که تابع در آن سریع تر شیب بگیرد، می باشد. تابع مورد نظر ما، تابع خطای شبکه و متغیرها، وزن شبکه هستند.

مراحل الگوریتم پرسپترون چند لایه به صورت زیر است.

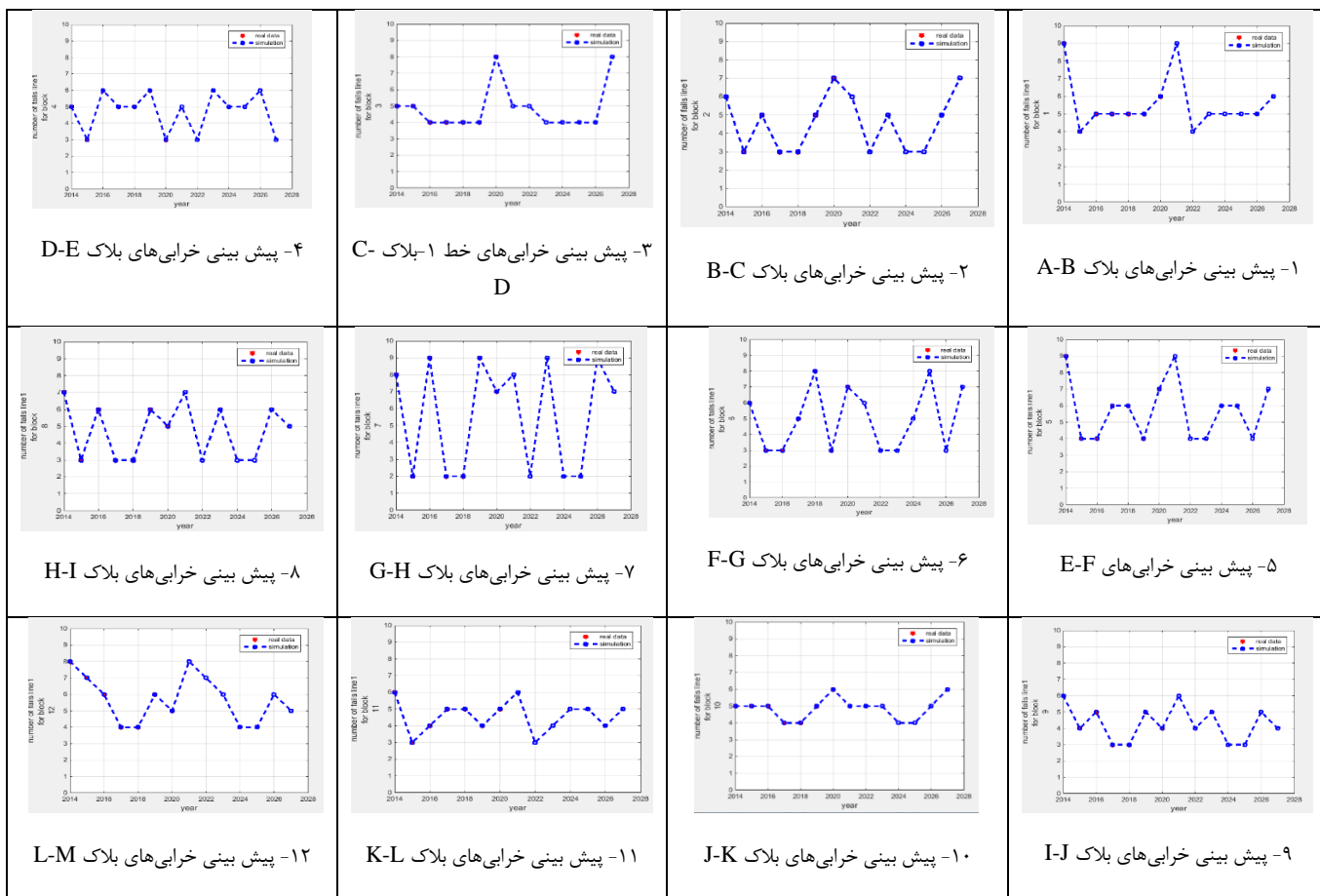
- ۱- پیش خور کردن الگوی آموزش
- ۲- پس انتشار خطای مربوطه
- ۳- تنظیم وزن ها و به روز کردن



شکل ۵: فرایند اجرای شبکه پرسپترون چند لایه (MLP)

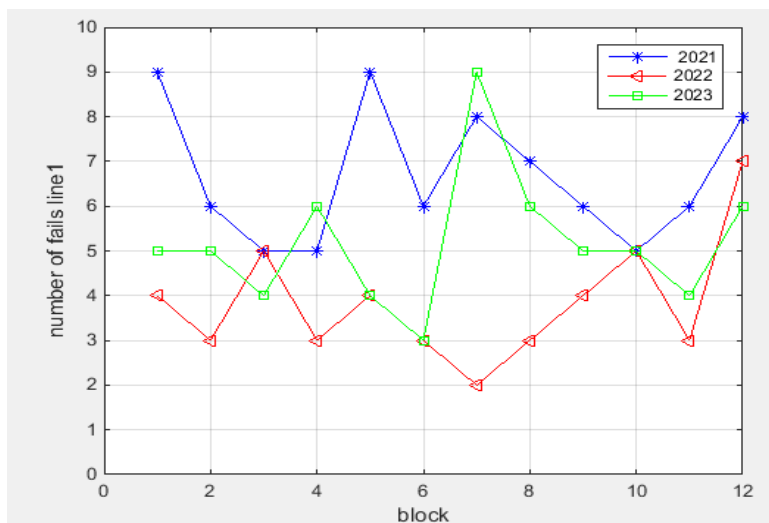
مطابق با الگوریتم شکل شماره ۵ به وزن‌ها مقدار اولیه می‌دهیم و تا زمان برقراری شرایط توقف فرآیند الگوریتم اجرا می‌شود. نتایج اجرای الگوریتم شکل ۵ در شکل‌های شماره ۶ تا ۹ نشان داده شده است.

نمودارهای خروجی پیش‌بینی خرابی‌های مربوط به خط ۱ شبکه فیبر نوری در شکل شماره ۵ نشان داده شده است.



شکل ۶: نمودارهای خروجی ۱ تا ۱۲، پیش‌بینی خرابی‌های مربوط به خط ۱ شبکه فیبر نوری

نتایج کلی پیش‌بینی خرابی‌های خط ۱ شبکه فیبر نوری در شکل شماره ۷ و جدول شماره ۲ ارائه شده است.



شکل ۷: نمودار شماره ۱۳ پیش بینی خرابی‌های فیبر نوری آینده (خط ۱)

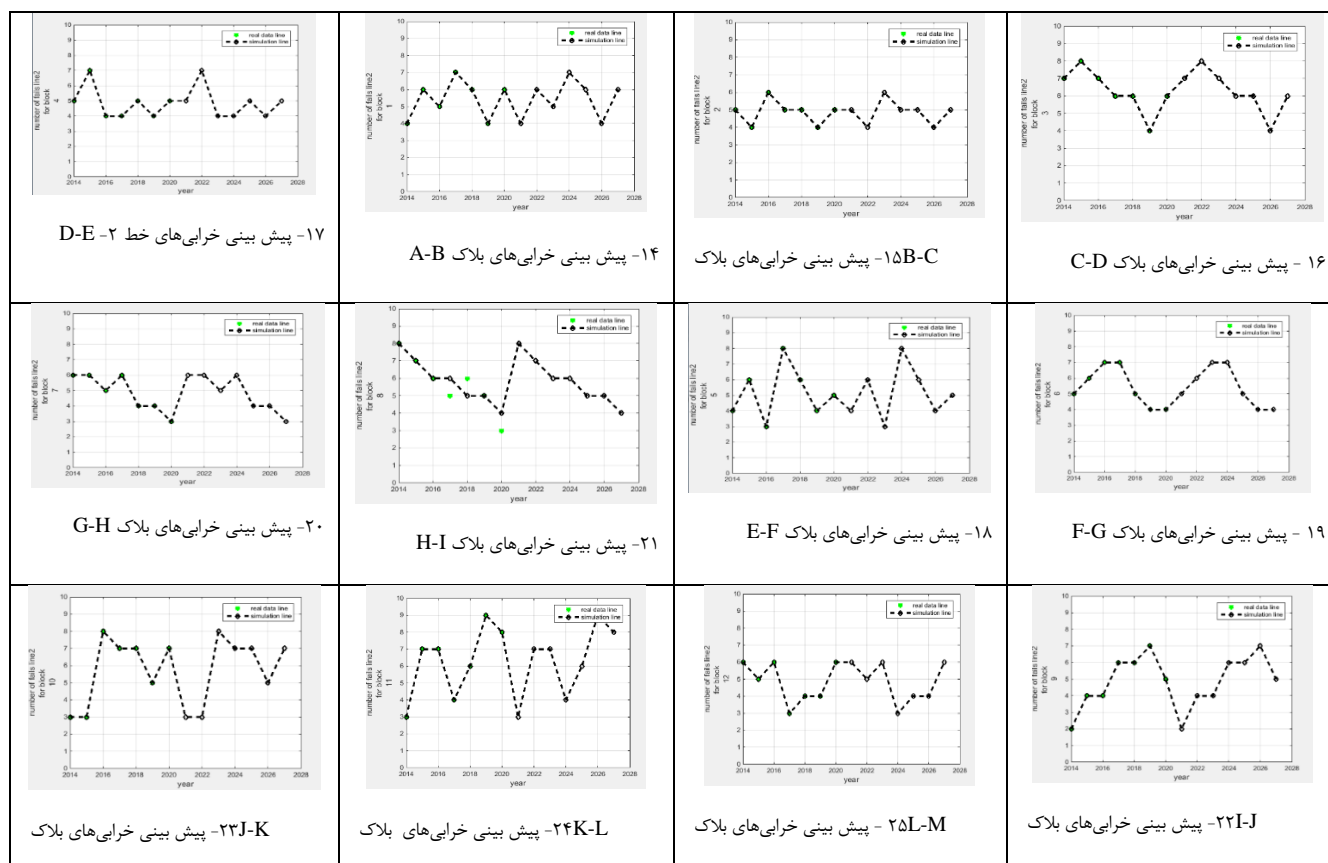
احتمال وقوع خرابی‌های بلاک‌های هر دو خط فیبر نوری به صورت مجزا برای چند سال آینده پیش‌بینی گردید. نمودارهای شکل ۵ پیش‌بینی خرابی‌های مربوط به خط ۱ شبکه فیبر نوری را نشان می‌دهد. شکل ۷ مجموع خرابی‌های پیش‌بینی شده بلاک‌های خط ۱ شبکه فیبر نوری و جدول شماره ۲ آمار احتمالی خرابی‌های خط ۱ شبکه فیبر نوری حاصل از اجرای شبکه عصبی الگوریتم پرسپترون چند لایه و جداول ریسک را نشان می‌دهد.

جدول ۲- احتمال خرابی‌های خط ۱ شبکه فیبر نوری

بلاک	۱۴۱۲	۱۴۱۱	۱۴۱۰	۱۴۰۹	۱۴۰۸	۱۴۰۷	۱۴۰۶	۱۴۰۵	۱۴۰۴	۱۴۰۳	۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۰	۱۳۹۹	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۴	۱۳۹۳
A-B	۵	۴	۶	۴	۵	۴	۵	۵	۴	۶	۵	۵	۴	۵	۵	۵	۵	۴	۴	۵
B-C	۷	۸	۴	۶	۵	۶	۶	۷	۸	۷	۶	۶	۴	۶	۷	۶	۴	۴	۷	۶
C-D	۴	۶	۵	۷	۶	۴	۶	۴	۶	۵	۷	۶	۴	۶	۷	۶	۶	۴	۴	۶
D-E	۵	۴	۶	۳	۵	۴	۵	۵	۴	۶	۵	۵	۴	۵	۷	۳	۴	۳	۴	۵
E-F	۷	۵	۷	۶	۵	۶	۶	۷	۸	۷	۶	۶	۴	۶	۷	۶	۴	۴	۵	۶
F-G	۵	۸	۳	۶	۵	۶	۶	۷	۸	۷	۶	۶	۴	۶	۷	۶	۴	۴	۷	۶
G-H	۴	۶	۵	۷	۶	۴	۶	۴	۶	۵	۷	۶	۴	۶	۷	۶	۶	۴	۴	۶
H-I	۵	۴	۶	۳	۵	۴	۵	۵	۴	۶	۵	۵	۴	۵	۷	۳	۴	۳	۴	۵
I-J	۷	۵	۷	۶	۵	۶	۶	۷	۸	۷	۶	۶	۴	۶	۷	۶	۴	۴	۵	۶

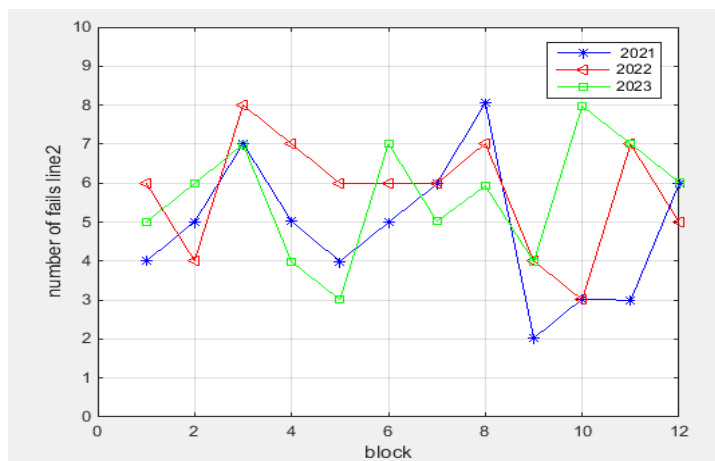
۵	۸	۳	۶	۵	۶	۶	۷	۸	۷	۶	۶	۴	۶	۷	۶	۴	۴	۷	۶	J-K
۷	۵	۷	۶	۵	۶	۶	۷	۸	۷	۶	۶	۴	۶	۷	۶	۴	۴	۵	۶	k-L
۵	۸	۳	۶	۵	۶	۶	۷	۸	۷	۶	۶	۴	۶	۷	۶	۴	۴	۷	۶	L-M

نمودارهای خروجی پیش‌بینی خرابی‌های مربوط به خط ۲ شبکه فیبر نوری در شکل شماره ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸: نمودارهای ۱۴ تا ۲۵، پیش‌بینی خرابی‌های مربوط به خط ۲ شبکه فیبر نوری

نتایج کلی پیش‌بینی خرابی‌های خط ۲ شبکه فیبر نوری در شکل ۹ و جدول شماره ۳ ارائه شده است.



شکل ۹: نمودار ۲۶- نمودار پیش بینی خرابی‌های فیبر نوری (خط ۲)

شکل ۹ آمار پیش بینی شده خرابی‌های بلاک‌های خط ۲ شبکه فیبر نوری و جدول شماره ۳ آمار احتمالی و پیش بینی شده خرابی‌های خط ۲ شبکه فیبر نوری را نشان می‌دهد.

جدول ۳ - آمار خرابی‌های خط ۲ شبکه فیبر نوری

بلاک	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۴	۱۴۰۵	۱۴۰۶	۱۴۰۷	۱۴۰۸	۱۴۰۹	۱۴۱۰	۱۴۱۱	۱۴۱۲
A - B	۶	۴	۴	۴	۶	۷	۶	۴	۶	۷	۵	۶	۴	۶	۴	۶	۷	۵	۶	۴
B - C	۵	۴	۴	۵	۵	۵	۵	۴	۵	۵	۶	۴	۵	۵	۴	۵	۴	۵	۶	۵
C - D	۶	۷	۴	۴	۶	۷	۶	۴	۶	۶	۷	۸	۷	۶	۶	۶	۵	۶	۴	۸
D - E	۶	۴	۴	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۷	۵	۶	۴	۶	۴	۶	۴	۶	۵	۶
E - F	۵	۴	۳	۴	۳	۷	۵	۴	۵	۵	۶	۴	۵	۵	۴	۵	۴	۳	۶	۴
F - G	۶	۵	۴	۴	۶	۶	۶	۴	۶	۶	۷	۸	۷	۶	۶	۶	۵	۶	۷	۵
G - H	۶	۷	۴	۴	۶	۶	۶	۴	۶	۶	۷	۸	۷	۶	۶	۶	۵	۶	۳	۸
H - I	۵	۴	۴	۷	۵	۴	۵	۴	۵	۳	۶	۴	۵	۵	۴	۵	۴	۵	۷	۵
I - J	۶	۷	۴	۴	۶	۶	۶	۴	۶	۶	۷	۸	۷	۶	۶	۶	۵	۶	۴	۸
J - K	۶	۴	۴	۶	۶	۶	۶	۶	۴	۷	۵	۶	۶	۴	۴	۶	۴	۵	۷	۶
K - L	۵	۴	۳	۴	۳	۷	۵	۴	۵	۵	۶	۴	۵	۵	۴	۵	۴	۳	۶	۴
L - M	۶	۵	۴	۴	۶	۶	۶	۴	۶	۶	۷	۸	۷	۶	۶	۶	۵	۶	۷	۵

۳-۴ - محاسبه قابلیت اطمینان شبکه فیبر نوری

مطابق با مدل بهینه سازی، شبکه فیبر نوری متشکل از دو زیرسیستم سری بصورت موازی می باشد. هر کدام از خطوط سری فیبر نوری شامل دوازده بلاک در منطقه آذربایجان می باشند. برای محاسبه قابلیت اطمینان بلاک های سری فیبر نوری، قابلیت اطمینان عضوهای متوالی بلاک (۱) تا بلاک (۱۲) فیبر نوری هر یک از خطوط فیبر نوری محاسبه می شود. سپس از طریق نتایج حاصله و با استفاده از رابطه ۱۴، قابلیت اطمینان شبکه موازی فیبر نوری محاسبه می شود.

جدول ۴- قابلیت اطمینان زیر سیستم های بلاک های شبکه سری فیبر نوری در ۲۶۲۸۰ ساعت (۳ سال)

نام بلاک	تعداد خرابی خط ۱ و ۲		Lines (λ)		Lines R(t)	
	۱	۲	Line	Line 2	line 1	line 2
A-B	۱۶	۳۶	۰/۰۰۰۶۰	۰/۰۰۰۶۸	۰/۹۹۴۵	۰/۹۹۷۷
B-C	۱۵	۱۴	۰/۰۰۰۵۷	۰/۰۰۰۵۳	۰/۹۹۸۱	۰/۹۹۶۸
C-D	۱۶	۱۶	۰/۰۰۰۶۰	۰/۰۰۰۶۰	۰/۹۹۷۷	۰/۹۹۸۶
D-E	۱۴	۱۴	۰/۰۰۰۵۳	۰/۰۰۰۵۳	۰/۹۹۸۱	۰/۹۹۷۲
E-F	۱۷	۱۵	۰/۰۰۰۶۴	۰/۰۰۰۵۷	۰/۹۹۶۳	۰/۹۹۷۲
F-G	۱۸	۱۳	۰/۰۰۰۶۸	۰/۰۰۰۴۹	۰/۹۹۵۹	۰/۹۹۷۷
G-H	۱۸	۱۱	۰/۰۰۰۶۸	۰/۰۰۰۴۱	۰/۹۹۶۳	۰/۹۹۷۷
H-I	۱۴	۱۴	۰/۰۰۰۵۳	۰/۰۰۰۵۳	۰/۹۹۸۱	۰/۹۹۷۲
I-J	۱۲	۱۸	۰/۰۰۰۴۵	۰/۰۰۰۶۸	۰/۹۹۷۷	۰/۹۹۶۲
J-K	۱۵	۱۹	۰/۰۰۰۵۷	۰/۰۰۰۳۰	۰/۹۹۶۳	۰/۹۹۶۳
K-L	۱۴	۲۳	۰/۰۰۰۵۳	۰/۰۰۰۱۰	۰/۹۹۷۲	۰/۹۹۷۷
L-M	۱۵	۱۴	۰/۰۰۰۵۷	۰/۰۰۰۳۰	۰/۹۹۷۷	۰/۹۹۵۹

در جدول شماره (۴) با استفاده از خرابی های هر یک از بلاک های سری فیبر نوری که از طریق شبکه سه لایه پرسپترون پیش بینی شده است، قابلیت اطمینان زیر سیستم های بلاک های سری فیبر نوری محاسبه شده است. قابلیت اطمینان کل مستخرج از جدول ۴ به شرح روابط ۲۸-۳۰ می باشد.

$$R_{b \text{ Line } (1)} = \prod_{i=1}^n R_{b \text{ Line } (1)} = R(b)_{1...} R(b)_{12} = 0.9197 \quad (28)$$

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

$$R_{b \text{ Line } (2)} = \prod_{i=1}^n R_{b \text{ Line } (2)} = R(b)_{1...} R(b)_{12} = 0.9188 \quad (29)$$

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

$$R_{\text{parallel Lines A \& B}} = 1 - [\prod_{i=1}^N (1 - R_i(t))] = 1 - (1 - R_{b \text{ Line } (1)}) (1 - R_{b \text{ Line } (2)}) = R_{b \text{ Line } (1)} + R_{b \text{ Line } (2)} - R_{b \text{ Line } (1)} R_{b \text{ Line } (2)} \quad (30)$$

$$R_{\text{Line } (1)} R_{b \text{ Line } (2)} = 0.993$$

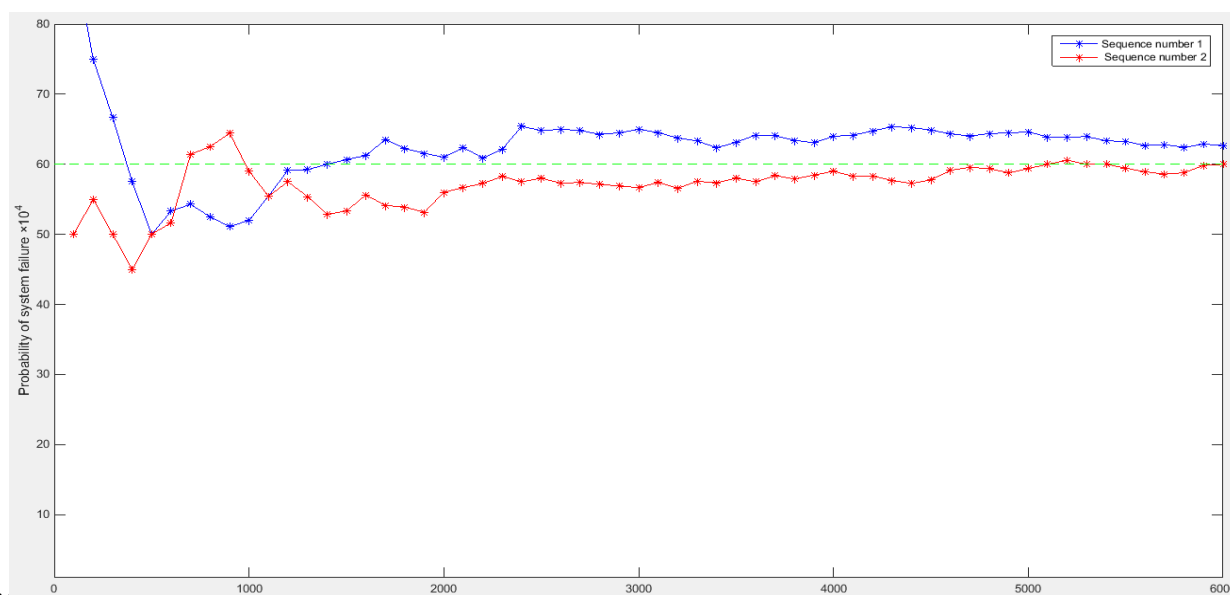
$$Q_{\text{parallel Lines A \& B}} = 1 - R(t) = 1 - 0.99 = 0.006$$

در رابطه (۲۸) قابلیت اطمینان کابل فیبر نوری سری اول، در (۲۹) قابلیت اطمینان کابل فیبر نوری سری دوم و در رابطه (۳۰) با استفاده از نتایج (۲۸) و (۲۹) قابلیت اطمینان شبکه فیبر نوری موازی راه آهن محاسبه شده است.

۴-۴- شبیه سازی مونت کارلو بر اساس مکانیزم RAM

فرآیند شبیه سازی مونت کارلو بمنظور اثبات محاسبات تحلیلی و پیش بینی الگوی رفتاری شبکه در طول زمان بکار می رود. برای انجام شبیه سازی، محدوده توزیع یکنواخت اعداد تصادفی به نسبت احتمال عملکرد و از کار افتادن سیستم که از طریق مدل سازی شبکه بدست آمد، توزیع می شود.

$$\text{عدم قابلیت اطمینان} = 0.08 \times 0.08 = 0.006$$



شکل ۱۰: نمودار مشابه سازی عدم قابلیت اطمینان سیستم با دو واحد موازی

مطابق با شکل شماره ۱۰ شبیه سازی مونت کارلو بمنظور پیش بینی رفتار شبکه، از طریق نرم افزار مطلب 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 بدست آمد. در جدول شماره ۵ نتایج مشابه سازی ارائه شده است.

جدول ۵- تحلیل نتایج مشابه سازی قابلیت اطمینان سیستم با دو عضو موازی

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

در جدول شماره ۵ تعداد تجمعی از کار افتادگیهای هر یک از اعضا، تعداد از کار افتادگیها با تلاقی زمان (خاموشی کامل شبکه) و احتمال تجمعی از کار افتادگیهای سیستم نشان داده شده است.

۴-۵- محاسبه MTBF بر اساس نتایج مونت کارلو

MTBF شبکه فیبر نوری (مدت زمان بین خرابیهای شبکه)، از طریق تحلیل رفتار شبکه در شبیه سازی مونت کارلو (تعداد خرابیهای شبکه و λ آن) و جدول شماره ۵ همچنین با استفاده از رابطه (۱۸) برای مدت (۳) سال به شرح ذیل محاسبه می شود.

$$MTBF_{parallel} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} = \frac{1}{\frac{n}{N \times T}} \times \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} = \frac{1}{\frac{36}{2 \times 26280}} \sum_{i=1}^{12} \frac{1}{12} = \frac{1}{0.0006849} \times 3.10321 = 4531 \quad (31)$$

h

بنابراین، MTBF شبکه فیبر نوری (۲ خط موازی) در مدت ۳ سال ۴۵۳۱ ساعت بدست آمد.

جدول ۶- نتایج مدل سازی و بهینه سازی قابلیت اطمینان شبکه

مسیر	تعداد مسدودی خط	تعداد خرابی	نرخ شکست (λ)	R(t)	Q(t)	MTBF
خط (۱)	۱۸۴	۱۸۴	۰/۰۰۷۰	۰/۹۱۹۷	۰/۰۸۰۳	۱۴۲ h
خطوط موازی	۷	۷	۰/۰۰۰۶	۰/۹۹۳	۰/۰۰۶	۴۵۳۱h

در جدول شماره ۶ مقایسه قابلیت اطمینان شبکه در وضعیت موجود و همچنین پس از بهینه سازی شامل قابلیت اطمینان و MTBF شبکه، تعداد مسدودی خط و کاهش آن نشان داده شده است.

۵- نتایج

این تحقیق در دو مرحله انجام و نتایج به شرح زیر حاصل گردید.

مرحله اول تحقیق:

وضعیت موجود قابلیت اطمینان شبکه موجود انتقال نوری راه آهن، از طریق روش RBD مدل سازی و محاسبه تحلیلی گردید.

مرحله دوم تحقیق:

در مرحله دوم تحقیق پس از مدل سازی بهینه سازی قابلیت اطمینان شبکه، بمنظور مشاهده نتایج حاصله، مجدداً قابلیت اطمینان شبکه محاسبه و برای مشاهده الگوی رفتاری شبکه از طریق روش مونت کارلو شبیه سازی گردید. همچنین برای محاسبه تحلیلی با استفاده از شبکه‌های عصبی پرسپترون خرابی‌های آینده پیش بینی گردید. همانطور که در جدول شماره ۶ نشان داده شد، پس از بهینه سازی قابلیت اطمینان شبکه، نتایج زیر حاصل گردید:

۱- تعداد خاموشی‌های شبکه و در نتیجه تعداد مسدودی خط از ۱۸۴ مورد به ۷ مرتبه کاهش یافت و شبیه سازی گردید.

۲- مدت زمان بین خرابی‌های منجر به خاموشی شبکه (MTBF)، از ۱۴۱ ساعت به ۴۵۳۱ ساعت افزایش یافت و شبیه سازی گردید.

همچنین در این تحقیق با مقایسه تعداد خاموشی‌های شبکه و مسدودی خط، با توجه به اهمیت ایمنی در راه آهن به صاحبان

شبکه دیدگاهی داده شد تا با اطلاع از قابلیت اطمینان موجود شبکه، نسبت به افزایش قابلیت اطمینان شبکه اقدام نمایند.

مراجع

- [1] Ghazi Mazhrebi, S. Yazdani, M. and Hajizadeh, f. (2019), "Examining Liberalization of Iranian Railway Communication Service," *IEEE International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC)*.
- [2] Yazdani, M. (2014). "signaling & communication in the railway from yesterday to tomorrow", The Iranian Railway Training & research center, Tehran, P. 303.
- [3] khodae, A, Yazdani, M, Hajizadeh, F. (2018). "The liberation of rail telecommunication services", the Iranian railways training and research center, Tehran, p. 318.

- [4] Bourne, A. J. (1989). "Book Review: *Advances in Reliability Technology Symposium*", The international journal of electrical Engineering & education, Volume: 26 issue: 4, p. 376-376.
- [5] Dialynas, E. N. (1992). "Book Review: *11th Advances in Reliability Technology Symposium*", The international journal of electrical Engineering & education, Vol 29, Issue 2, pp. 132-132,
- [6] Smith, D. (2017). "Reliability, Maintainability and Risk", Elsevier Ebook, 9th Edition, p. 430.
- [7] Saraswat, S. and Yadava, G.S. (2008). "An overview on reliability, availability, maintainability and supportability (RAMS) engineering", International Journal of Quality & Reliability Management, VOL. 25, p. 330-344.
- [8] Figiel, K.D. and Sule, D.R. (1990). "A generalized reliability block diagram (RBD) simulation", IEEE Simulation Conference Proceedings, USA.
- [9] Min, Yu. Chunhui, Y. and Sen, Z. (2013). "Reliability Model for Control Centre of Railway Signalling System Based on SRN", IEEE Fourth International Conference on Digital Manufacturing & Automation, CHINA.
- [10] Wakar, A, Osman. H, Usman. P, and Junaid. Q, (2017), "Reliability Modelling and Analysis of Communication Networks", Elsevier Journal of Network and Computer Applications, Volume 78, p. 191-215.
- [11] Macchi, M. Garetti, M. Centrone, D. Fumagalli, L. and Pavirani, G. (2012). "Maintenance management of railway infrastructures based on reliability analysis", Elsevier Reliability Engineering & System Safety, Vol 104, p. 71-83.
- [12] Ting, J. and Jian, D. W, (2012). "Reliability Models of GSM-R Redundant Network on High-Speed Railway" Materials science & Engineering, vol.198-199, p. 1783-1788.
- [13] Lijie, Ch. Tao, T. Xianqiong, Zh. and Schnieder, E. (2012). "Verification of the safety communication protocol in train control system using colored Petri net" Reliability Engineering & System Safety, Vol. 100, P 8-18.
- [14] A. Maria, (2013), "The introduction of common safety methods" IEEE International Conference on Railway Safety Assurance: Management and Method in a Safe Network, London, UK.
- [15] Seongwoo, W. (2020), "Reliability Design of Mechanical Systems", chapter "Modern Definitions in Reliability Engineering", ResearchGate, p 53-99.
- [17] Dhillon, B. S. (1999), "Design Reliability: Fundamentals and Applications, university of Ottawa", Ontario, Canada.
- [18] Allan, R. N. , (1979), "Book Review: *Economics of Reliability in Electrical Power Systems*", The international journal of electrical Engineering & education, Vol 16, Issue 4, p. 383-383.
- [19] Karanki, D. Vinod, G. and Ajit S, (2020), "Advances in RAMS Engineering", book, Springer Nature Switzerland AG.
- [20] Singh, J. and Banerjee, R , (2019), "A Study on Single and Multi-layer Perceptron Neural Network" IEEE 3rd International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC).
- [21] Panda, Ch. Narayan Patro, S. and Kumar Gantayat, P.(2012), "Link Reliability in WDM Optical Network", Chinmayananda Panda et al / Indian Journal of Computer Science and Engineering (IJCSE), Vol. 3 No. 1, P. 126-132.
- [22] Brémaud, P. (2020), "Markov Chains: Gibbs Fields, Monte Carlo Simulation and Queues ", Springer International Publishing, p. 557.
- [23] Bing. H, Zhengyang. Ch, Bei L, Yanmin. Q, (2022), "MLP-SVNET: A Multi-Layer Perceptrons Based Network for Speaker Verification", IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)Singapore.
- [24] Yuan. L, (2022), "Research of reliability data analysis and optimization for interior system", IEEE Global Reliability and Prognostics and Health Management (PHM-Yantai), China.