

## مدل سازی و بهینه سازی قابلیت اطمینان شبکه مخابراتی راه آهن

### با استفاده از شبکه های عصبی سه لایه پرسپترون

#### مقاله علمی - پژوهشی

فاطمه حاجی زاده، دانشجوی دکترا، گروه مهندسی مخابرات، دانشکده برق و کامپیوتر، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهر ری،

دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

سعید قاضی مغربی، دانشیار، گروه مهندسی مخابرات، دانشکده برق و کامپیوتر، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهر ری،

دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: s\_ghazi2002@yahoo.com

دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۰ - پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۵

صفحه ۳۷۴-۳۵۹

#### چکیده

امروزه در سراسر جهان حجم عظیمی از داده ها از طریق ظرفیت بالای شبکه های مخابراتی نوری انتقال می یابد. در راه آهن نیز شبکه های مخابراتی انتقال نوری در انتقال داده های حیاتی ریلی، نقش بسیار بالایی دارند. پایداری قابلیت اطمینان زیرساخت های مخابراتی در افزایش بهره وری، حفظ ایمنی و همچنین کاهش هزینه های نگهداری الزامی می باشد. در این مقاله سطح قابلیت اطمینان موجود و کلیه پارامترهای مربوطه (تعداد قطعی های شبکه و مدت زمان بین خرابی های شبکه MTBF) شبکه مخابراتی انتقال نوری راه آهن از طریق روش بلوک دیگرام مدل سازی و به روش مونت کارلو شبیه سازی شده و سپس بهینه سازی شده است. همچنین پیش بینی رفتار شبکه و بدست آوردن احتمال خرابی های آن از طریق شبکه های عصبی سه لایه پرسپترون انجام شده و نتایج آن ارائه شده است. شبکه پیاده سازی شده در این مقاله شبکه انتقال مخابرات نوری منطقه ریلی آذربایجان به طول ۶۵۴ کیلومتر می باشد.

**واژه های کلیدی:** شبکه مخابرات انتقال نوری، قابلیت اطمینان، شبیه سازی مونت کارلو، شبکه عصبی پرسپترون، مدل RBD

#### ۱- مقدمه

شبکه مخابراتی کنترل قطار CBTC (Communication base train control) بررسی کردند. تاکنون تحقیقات گسترده و مهمی در زمینه ارزیابی قابلیت اطمینان در زیرساخت های اصلی راه آهن صورت گرفته (قاضی مغربی و دوستان، ۲۰۱۹)، اما سیستم های انتقال نوری مخابرات راه آهن که جزو زیرساخت های اصلی راه آهن هستند، از این مقوله بی بهره بوده اند. راه آهن ها، دارای شبکه های خصوصی منحصر به خود هستند. (قاضی مغربی و دوستان، ۲۰۱۹) سیگنال های ریلی از طریق شبکه انتقال نوری در تمام ایستگاه های راه آهن پیاده سازی شده و سرویس دهی می نمایند. (یزدانی، ۱۳۹۳) سرویس های شبکه انتقال نوری شامل ساختارهای کنترل قطار و نرم افزارهای ریلی نظیر برنامه می باشند. (یزدانی، ۱۳۹۳) بنابراین قطع شدن شبکه، منجر به قطع شدن سرویس های مذکور و در نهایت کاهش ایمنی ریلی می شود. (خدایی و

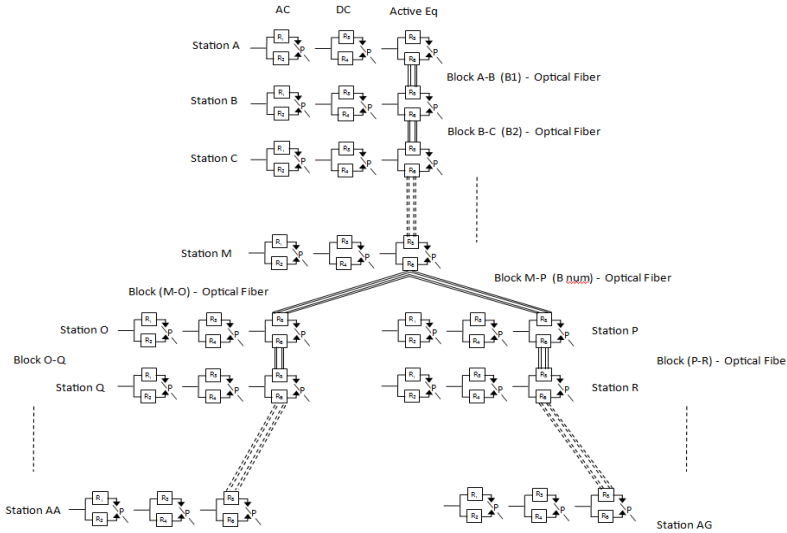
شبکه های مخابرات نوری در حفظ ایمنی راه آهن و جلوگیری از سوانح ریلی نقش بسزایی دارند. بنابراین افزایش قابلیت اطمینان این شبکه ها نقش مهمی در عملکرد مطلوب شبکه ریلی دارد. (یزدانی، ۱۳۹۳) تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده است. نویسندگان در (خدایی و دوستان، ۱۳۹۷) تحقیقی مروری بر مهندسی RAMS بین سال های (۲۰۰۵ - ۱۹۹۸) میلادی از مجلات و کنفرانس های معتبر ارائه کردند. نویسندگان در (فیگل و دوستان، ۱۹۹۰) اولین بار مدل قابلیت اطمینان و نگهداری را برای سیستم ها و زیر سیستم ها و ارتباط بین آنها را از طریق مدل بلوک قابلیت اطمینان (Reliability block diagram (RBD نشان دادند. (یو و دوستان، ۲۰۱۳) قابلیت اطمینان سیگنالینگ ریلی را مدلسازی و تحلیل کردند. نویسندگان در (واکر و دوستان، ۲۰۱۷) تکنیک های مختلف مدل سازی قابلیت اطمینان را در شبکه های مخابراتی همچنین

بینی بدست آمده و مجددا قابلیت اطمینان شبکه محاسبه و شبیه سازی شده است.

## ۲-۱- توپولوژی شبکه انتقال نوری

مطابق شکل ۱ شبکه انتقال مخابرات نوری شامل خطوط فیبر نوری و تجهیزات انتقال مخابراتی synchronous digital hierarchy/Dense – wavelength division multiplexing (SDH/DWDM) می باشد.

خطوط فیبر نوری بین ایستگاه های راه آهن در فاصله ۲-۳ متری ریل آهن به صورت سری در سراسر راه آهن گسترده شده اند. این خطوط دارای خرابی های کاملاً مستقل از هم و تصادفی می باشند. (یزدانی، ۱۳۹۳) به حد فاصل 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 پیاده سازی سرویس های مخابراتی کنترل قطار، تمامی بلاک ها از طریق فیبر نوری به هم متصل هستند. (قاضی مغربی و دوستان، ۲۰۱۹) شکل ۱ شمایی از توپولوژی شبکه انتقال مخابرات ریلی را نشان می دهد.



شکل ۱. شمایی از توپولوژی شبکه انتقال مخابرات ریلی قاضی مغربی و دوستان، ۲۰۱۹

## ۳- آنالیز قابلیت اطمینان

روابط قابلیت اطمینان و شبکه عصبی پرسپترون تشریح می گردد.

دوستان، ۱۳۹۷) 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.

## ۲- مدل تحقیق

در این مقاله در دو مرحله به ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه مخابرات نوری راه آهن پرداخته می شود.

**مرحله اول:** بررسی وضعیت موجود قابلیت اطمینان شبکه مخابرات نوری راه آهن. خرابی های مربوط به چند سال گذشته از طریق نرم افزار ثبت خرابی راه آهن 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 خرابی های آینده شبکه فیبر نوری، می باشد بدین منظور ابتدا ماتریس ریسک شبکه بررسی شده و سپس از طریق شبکه های عصبی پرسپترون چند لایه - MLP) Multilayer perceptron (تعداد خرابی احتمالی چند سال آینده شبکه فیبر نوری پیش

قابلیت اطمینان شبکه شامل احتمال عملکرد و کارکرد مطلوب یک سیستم برای یک مدت مشخص و در شرایط مشخص می باشد. (بورن، ۱۹۸۹) در مرحله نخست تعاریف و

### الف- قابلیت اطمینان

افتادگی  $F(t)$  می‌باشد. همچنین  $f(t)$  به عنوان تابع چگالی عمر یا تابع چگالی احتمال تعریف می‌گردد. در سیستم‌هایی تابع  $f(t)$  به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود،  $t$  زمان و  $\lambda$  نرخ خرابی در واحد زمان است. (سنگوو، ۲۰۲۰)

قابلیت اطمینان شبکه شامل احتمال عملکرد مطلوب یک سیستم برای مدت مشخص و شرایط مشخص می‌باشد. (دیهلون، ۱۹۹۹) 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

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

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2)$$

$$R(t) = \int_t^{\infty} \lambda e^{-\lambda t} dt = 1 - \int_0^t \lambda e^{-\lambda t} dt = e^{-\lambda t} \quad (3)$$

عدم قابلیت اطمینان را با  $Q(t)$  نشان داده که در این صورت خواهیم داشت. (سنگوو، ۲۰۲۰)

$$Q(t) + R(t) = 1 \quad Q(t) = 1 - R(t) \quad (4)$$

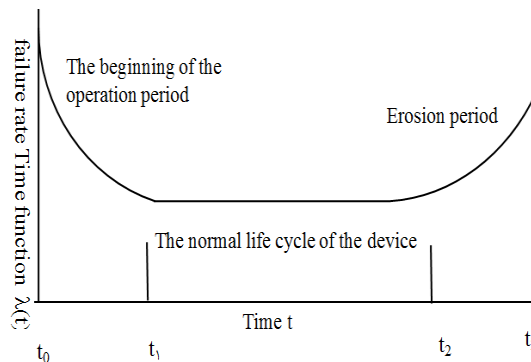
$$Q(t) = F(t) = \int_0^t f(t) \cdot dt = 1 - e^{-\lambda t} \quad (5)$$

### توابع قابلیت اطمینان

#### تابع نرخ خرابی

قرار دارد. این مدت زمان کار نرمال سیستم است و خرابی جنبه تصادفی دارد. (دیهلون، ۱۹۹۹)

نرخ شکست  $(h)$  عبارت است از احتمال رخ دادن خرابی در بازه زمانی  $\Delta t$  به شرط کارکرد بدون خرابی تجهیز تا زمان  $t$ . در این تحقیق،  $h(t)$  شبکه مخابراتی در فاصله زمانی  $(t_1$  و  $t_2)$



شکل ۲. منحنی میزان نرخ حادثه در مدت عمر یک دستگاه (وان حمام) (واکار، ۲۰۱۷)

پارامتر  $\lambda$  نشان داده می‌شود. در این حالت فاصله بین خرابی‌ها با توزیع نمایی و پارامتر  $\lambda$  می‌باشد. (دیهلون، ۱۹۹۹)

بنابراین تعداد خرابی‌ها در شبکه مورد نظر در واحد زمان به صورت یک متغیر تصادفی گسسته دارای توزیع پواسن با

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

اگر  $n$  تعداد خرابی‌ها،  $N$  تعداد تجهیزات و  $T$  مجموع زمان باشد،  $\lambda$  مطابق رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

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

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

متوسط زمان بین خرابی‌ها

MTBF متوسط زمان بین شکست‌های یک سیستم است و در این حالت به صورت زیر محاسبه می‌شود. (ساراوات، ۲۰۰۸)

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

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. در سیستم‌های سری ( $R_{series}$ )، قابلیت اطمینان هر واحد ( $i=1,2,\dots,n$ ) و  $n$  تعداد کل واحدهای سیستم است (ساراوات و دوستان، ۲۰۰۸). بنابراین در این سیستم‌ها  $R(t)$  و  $Q(t)$  به صورت زیر محاسبه می‌شوند.

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

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

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

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

سیستم‌های موازی

قابلیت اطمینان هر واحد ( $i=1,2,\dots,n$ ) و  $n$  تعداد کل واحدهای سیستم باشد. بنابراین در این سیستم‌ها  $R(t)$  و  $Q(t)$  و  $MTBF$  به صورت زیر محاسبه می‌شوند. (اسمیت، ۲۰۱۷)

در سیستم‌های موازی در صورت عملکرد مطلوب یکی از اجزاء، کل سیستم دارای عملکرد مطلوب خواهد بود. برای محاسبه قابلیت اطمینان اگر سیستم موازی ( $R_{parallel}$ )،  $R_i$

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

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

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

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

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

سیستم‌های ترکیبی

سیستم‌های ترکیبی، بصورت ترکیبی از سیستم‌های سری و موازی می‌باشند. برای محاسبه قابلیت اطمینان شبکه ترکیبی از روابط زیر استفاده می‌شود. (واکار، ۲۰۱۷)

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

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

ب- شبکه پرسپترون چند لایه

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: (ساین و دوستان، ۲۰۱۹)

- لایه‌ها

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

- یادگیری

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

به صورت زیر نشان داده می‌شود که در آن  $d$  مقدار هدف و  $y$  مقدار تولید شده توسط پرسپترون می‌باشد.

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  $j$  در  $n$  امین نقطه داده

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

به واکنش بدون نوسان همگرا می‌شوند [20] که در آن  $\eta$  مشتق تابع فعال‌سازی است.

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

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

مرحله اول تحقیق: بررسی قابلیت اطمینان موجود شبکه

در مسیر ریلی آذربایجان ۱۲ بلاک می‌باشد. در جدول شماره ۱، تعداد خرابی‌های شبکه در هر بلاک، نرخ شکست و قابلیت اطمینان هر بلاک شبکه محاسبه شده و سپس از طریق نتایج حاصله قابلیت اطمینان کل شبکه فیبر نوری بدست آمده است.

برای مدل سازی و تحلیل قابلیت اطمینان شبکه فیبر نوری از طریق متد RBD ابتدا قابلیت اطمینان زیرسیستم‌های بلاک‌های فیبر نوری و سپس قابلیت اطمینان شبکه سری فیبر نوری مدل سازی و محاسبه می‌شود. تعداد بلاک‌های فیبر نوری

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

$R(t)$	$\lambda$	تعداد خرابی‌ها	بلاک‌های فیبر
۰,۹۹۷۷۲۶	۰,۰۰۰۶۰۸۸	۱۶	A - B
۰,۹۹۸۱۸۱	۰,۰۰۰۵۷۰۸	۱۵	B - C
۰,۹۹۷۷۲۶	۰,۰۰۰۶۰۸۸	۱۶	C - D
۰,۹۹۸۱۸۱	۰,۰۰۰۵۳۲۷	۱۴	D - E
۰,۹۹۶۳۶۵	۰,۰۰۰۶۴۶۹	۱۷	E - F
۰,۹۹۵۹۱۱	۰,۰۰۰۶۸۴۹	۱۸	F - G
۰,۹۹۶۳۶۵	۰,۰۰۰۶۸۴۹	۱۸	G - H
۰,۹۹۶۸۱۸	۰,۰۰۰۵۳۲۷	۱۴	H - I
۰,۹۹۷۷۲۶	۰,۰۰۰۴۵۶۶	۱۲	I - J
۰,۹۹۶۳۶۵	۰,۰۰۰۵۷۰۸	۱۵	J - K
۰,۹۹۷۲۷۲	۰,۰۰۰۵۳۲۷	۱۴	K - L
۰,۹۹۷۲۲۶	۰,۰۰۰۵۷۰۸	۱۵	L - M

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

$$0.994552 \times 0.998181 \times 0.997726 \times 0.998181 \times 0.996365 \times 0.995911 \times 0.996365 \times 0.996818 \times$$

$$0.997726 \times 0.996365 \times 0.997272 \times 0.997726 = 0.9192$$

$$Q_{b \text{ Line (1)}} = \prod_{i=1}^{12} Q_i(t) = 1 - R(t) = 1 - 0.9192 = 0.0803 \quad (25)$$

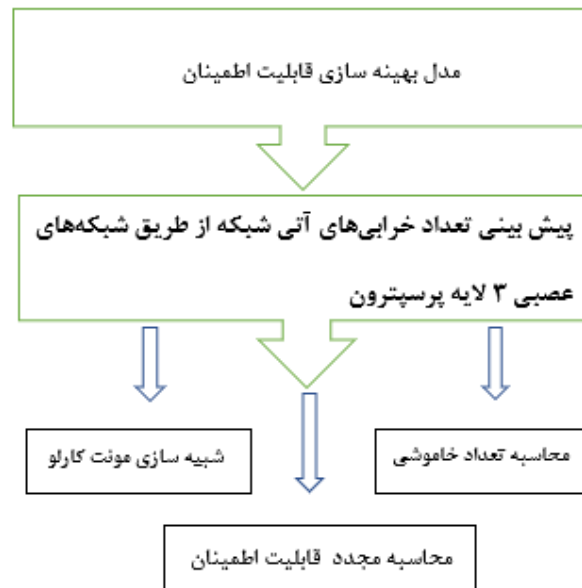
$$MTBF_{series} = \int_0^{\infty} e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i(t)} dt = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} = \frac{1}{0.0070} = 141 \text{ h} \quad (26)$$

نتایج مدل سازی و محاسبه قابلیت اطمینان سیستم در مدت ۲۶۲۸۰

با استفاده از نتایج بدست آمده از جدول شماره ۱ قابلیت اطمینان شبکه فیبر نوری موجود راه آهن ۰,۹۱۹۲ و MTBF آن ۱۴۱ ساعت بدست آمد.

### مرحله دوم تحقیق

برای انجام مرحله دوم تحقیق، مراحل زیر انجام می شود.



### مدل بهینه‌سازی قابلیت اطمینان

به منظور افزایش قابلیت اطمینان، ۱۲ بلاک شبکه سری موجود به صورت ترکیبی زیر مدل سازی می شود.

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

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

$$R(b)_{\text{Line 11}} R(b)_{\text{Line 12}} \times (1 - R(b)_{\text{Line 1}} R(b)_{\text{Line 2}} R(b)_{\text{Line 3}} R(b)_{\text{Line 4}} R(b)_{\text{Line 5}} R(b)_{\text{Line 6}}$$

$$R(b)_{\text{Line 7}} R(b)_{\text{Line 8}} R(b)_{\text{Line 9}} R(b)_{\text{Line 10}} R(b)_{\text{Line 11}} R(b)_{\text{Line 12}} \quad (27)$$

بدین منظور ابتدا ماتریس ریسک شبکه تهیه شده و سپس از طریق شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) تعداد خرابی احتمالی چند سال آینده شبکه فیبر نوری پیش‌بینی می‌شود.

پس از مدل سازی برای محاسبه مجدد قابلیت اطمینان شبکه نیاز به پیش بینی تعداد خرابی‌های آینده شبکه فیبر نوری می‌باشد.

#### ۴-۲- پیش بینی خرابی‌های مسیرهای فیبر نوری با استفاده از شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه

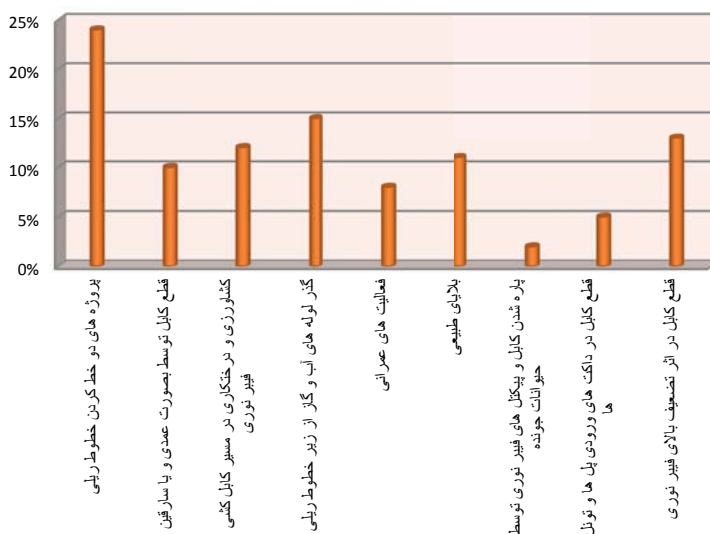
برای بدست آوردن تعداد خرابی‌های آینده شبکه فیبر نوری، ابتدا ماتریس ریسک بدست می‌آید. شکل ۳ نتایج حاصل از اجرای ماتریس ریسک را نشان می‌دهد.

شکل ۵، بهینه‌سازی کاهش گرادیان با هدف نمایانگر کردن جهتی است که تابع در آن سریع‌تر شیب بگیرد. تابع مورد نظر ما، تابع خطای شبکه و متغیرها، وزن شبکه هستند. مراحل الگوریتم پرسپترون چند لایه به صورت زیر است.

- ۱- پیش‌خور کردن الگوی آموزش
- ۲- پس انتشار خطای مربوطه
- ۳- تنظیم وزن‌ها و به‌روز کردن

سپس، احتمال وقوع خرابی‌های شبکه فیبر نوری از طریق شبکه پرسپترون چند لایه پیش‌بینی شده است. فرآیند اجرای MLP به شرح الگوریتم شکل ۵ و نتایج آن در نمودارهای شکل‌های ۵ تا ۸ نشان داده شده است. مبنای ریاضی الگوریتم

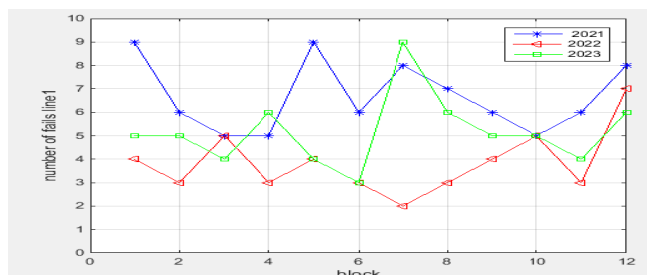
فراوانی خرابی و قطعی خطوط ارتباطی فیبر نوری



شکل ۳. ضرایب ریسک‌های شبکه

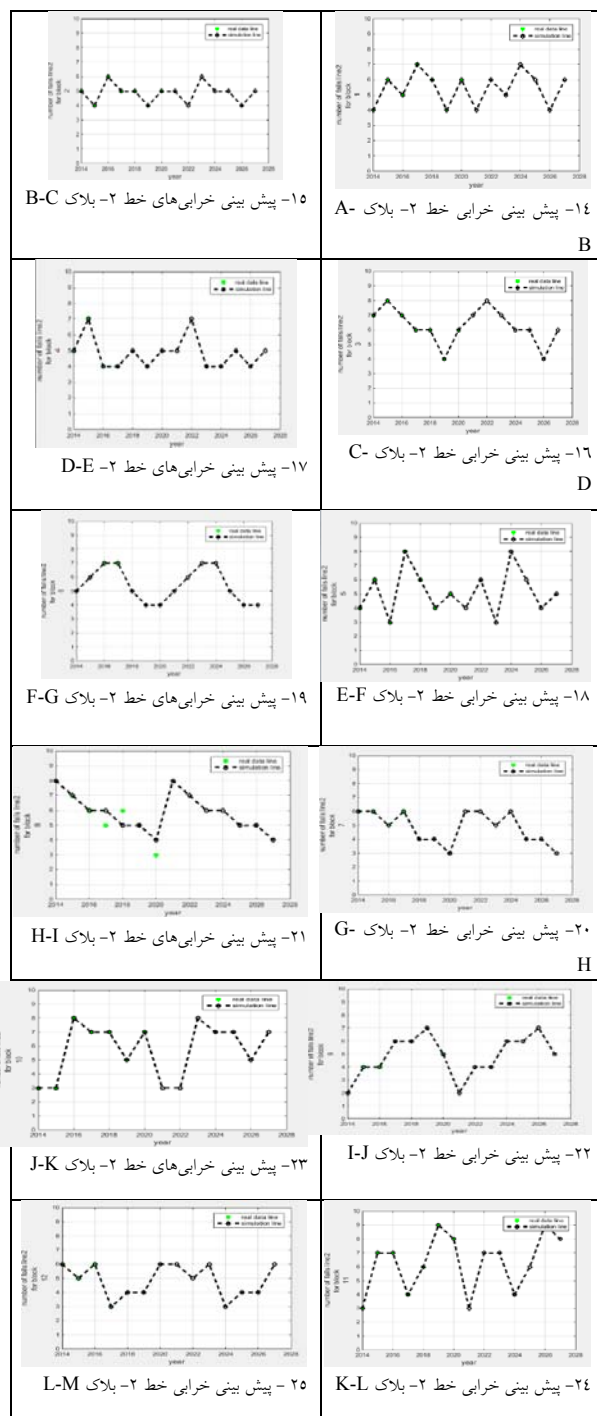
۶، ۷ و ۸ نشان داده شده است. نمودارهای خروجی پیش بینی خرابی‌های مربوط به خط ۱ شبکه فیبر نوری در شکل ۴ نشان داده شده است.

مطابق با الگوریتم شکل ۴ به وزن‌ها مقدار اولیه می‌دهیم و تا زمان برقراری شرایط توقف فرآیند الگوریتم اجرا می‌شود. نتایج اجرای الگوریتم شکل ۵ در شکل‌های ۵،



شکل ۴. نمودارهای خروجی ۱ تا ۱۲، پیش بینی خرابی‌های مربوط به خط ۱ شبکه فیبر نوری





شکل ۶. نمودار ۱۳ پیش بینی خرابی های فیبر نوری آینده (خط ۱)

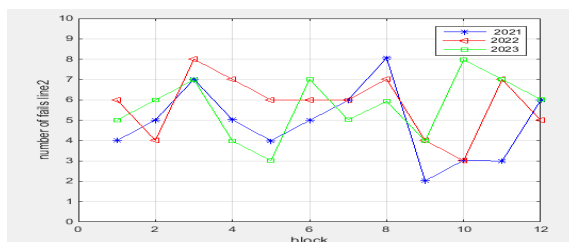
پیش بینی شده بلاک های خط ۱ شبکه فیبر نوری و جدول ۲ آمار احتمالی خرابی های خط ۱ شبکه فیبر نوری را نشان می دهد.

احتمال وقوع خرابی های بلاک های هر دو خط فیبر نوری به صورت مجزا برای چند سال آینده پیش بینی گردید. نمودارهای شکل ۵ پیش بینی خرابی های مربوط به خط ۱ شبکه فیبر نوری ریسک را نشان می دهد. شکل ۶ مجموع خرابی های اجرای شبکه عصبی الگوریتم پرسپترون چند لایه و جداول

جدول ۲. احتمال خرابی‌های خط ۱ شبکه فیبر نوری

بلاک	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۴	۱۴۰۵	۱۴۰۶	۱۴۰۷	۱۴۰۸	۱۴۰۹	۱۴۱۰
A-B	5	5	4	9	6	5	5	5	5
B-C	3	5	3	6	7	5	3	3	5
C-D	4	4	5	5	8	4	4	4	4
D-E	5	6	3	5	3	6	5	5	6
E-F	6	4	4	9	7	4	6	6	4
F-G	5	3	3	6	7	3	8	5	3
G-H	2	9	2	2	8	9	2	2	9
H-I	3	6	3	7	5	6	3	3	6
I-J	3	5	4	6	4	5	3	3	5
J-K	4	5	5	5	6	5	4	4	5
k-L	5	4	4	3	5	4	5	5	4
L-M	4	6	4	7	5	6	4	4	6

نتایج کلی پیش‌بینی خرابی‌های خط ۲ شبکه فیبر نوری در شکل ۷ و جدول ۳ ارائه شده است.



شکل ۷. نمودار پیش‌بینی خرابی‌های فیبر نوری (خط ۲)

شکل ۸ آمار احتمالی و پیش‌بینی شده خرابی‌های بلاک‌های

شده خرابی‌های خط ۲ شبکه فیبر نوری را نشان می‌دهد.

خط ۲ شبکه فیبر نوری و جدول ۳ آمار احتمالی و پیش‌بینی

جدول ۳. آمار خرابی‌های خط ۲ شبکه فیبر نوری

بلاک	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۴	۱۴۰۵	۱۴۰۶	۱۴۰۷	۱۴۰۸	۱۴۰۹	۱۴۱۰
A-B	7	5	6	4	6	4	6	7	5
B-C	5	6	4	5	5	4	5	5	6
C-D	6	7	8	7	6	4	6	6	7
D-E	4	4	7	5	5	4	5	4	4
E-F	8	3	6	4	5	6	8	3	8
F-G	7	7	6	5	4	7	5	7	7
G-H	6	5	6	6	3	4	4	6	5
H-I	6	6	7	8	4	5	5	6	6
I-J	6	4	4	2	5	6	6	6	4
J-K	7	8	3	3	7	7	7	7	8
K-L	4	7	7	3	8	9	6	4	7
L-M	3	6	5	6	6	4	4	3	6

### 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 ( $\lambda$ )		Lines R(t)	
	۱	۲	Line	Line 2	line 1	line 2
A-B	16	36	0.00060	0.00068	0.9945	0.9977
B-C	15	14	0.00057	0.00053	0.9981	0.9968
C-D	16	16	0.00060	0.00060	0.9977	0.9986
D-E	14	14	0.00053	0.00053	0.9981	0.9972
E-F	17	15	0.00064	0.00057	0.9963	0.9972
F-G	18	13	0.00068	0.00049	0.9959	0.9977
G-H	18	11	0.00068	0.00041	0.9963	0.9977
H-I	14	14	0.00053	0.00053	0.9968	
I-J	12	18	0.00045	0.00068	0.9977	0.9963
J-K	15	19	0.00057	0.0003	0.9963	0.9963
K-L	14	23	0.00053	0.0001	0.9972	0.9977
L-M	15	14	0.00057	0.0003	0.9977	0.9959

نوری محاسبه شده است. قابلیت اطمینان سیستم کل مستخرج از جدول ۴ به شرح روابط ۲۸-۳۰ می باشد.

در جدول 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

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

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

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

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

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

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

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

(۳۰) با استفاده از نتایج (۲۸) و (۲۹) قابلیت اطمینان شبکه فیبر نوری موازی راه آهن محاسبه شده است.

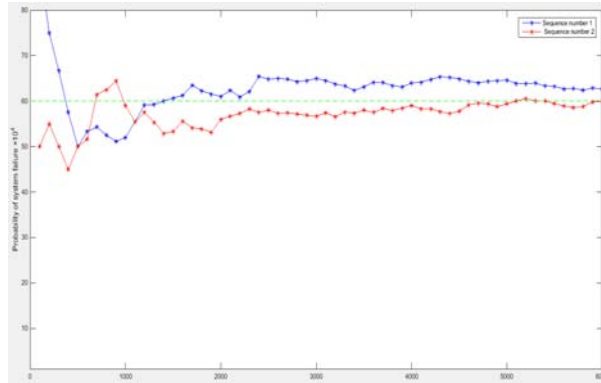
در رابطه (۲۸) قابلیت اطمینان کابل فیبر نوری سری اول، در (۲۹) قابلیت اطمینان کابل فیبر نوری سری دوم و در رابطه

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

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 ۵ نتایج مشابه سازی ارائه شده است.

فرآیند شبیه سازی مونت کارلو بمنظور اثبات محاسبات تحلیلی و پیش بینی الگوری رفتاری شبکه در طول زمان بکار می رود (پیرو، ۲۰۲۰). 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. مطابق با شکل ۸ شبیه سازی مونت کارلو به منظور

$$Unreliability = 0.08 \times 0.08 = 0.006$$



شکل ۸. نمودار مشابه سازی عدم قابلیت اطمینان سیستم با دو واحد موازی

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

آزمونها	تعداد تجمعی از کار افتادگی‌های اعضا		تعداد از کار افتادگی‌ها با تلاقی زمان		احتمال تجمعی از کار افتادگی‌های سیستم $\times 10^4$
	1	2	تجمعی	منفرد	
دنباله شماره ۱					
100	13	18	1	1	50
500	31	43	3	2	68
1000	43	56	5	2	50
2000	86	91	10	5	53
3000	139	141	16	6	54
4000	153	166	22	6	58
5000	171	178	29	7	59
6000	188	198	36	7	60

شبکه) و احتمال تجمعی از کار افتادگی‌های سیستم نشان داده شده است.

در جدول ۵ تعداد تجمعی از کار افتادگی‌های هر یک از اعضا، تعداد از کار افتادگی‌ها با تلاقی زمان (خاموشی کامل

#### ۴-۵- محاسبه MTBF بر اساس نتایج مونت کارلو

جدول ۵ همچنین با استفاده از رابطه (۱۸) برای مدت ۳ سال به شرح ذیل محاسبه می‌شود.

MTBF شبکه فیبر نوری، از طریق تحلیل رفتار شبکه در شبیه سازی مونت کارلو (تعداد خرابی‌های شبکه و  $\lambda$  آن) و

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

اطمینان شبکه در وضعیت موجود و همچنین پس از بهینه‌سازی شامل قابلیت اطمینان و MTBF شبکه، نشان داده شده است.

بنابراین، MTBF شبکه فیبر نوری (۲ خط موازی) در مدت ۳ سال ۴۵۳۱ ساعت بدست آمد. در جدول ۶ مقایسه قابلیت

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

MTBF	Q(t)	R(t)	نرخ شکست ( $\lambda$ )	تعداد خرابی	مسیر
142 h	0.0803	0.9197	0.0070	184	خط (۱)
4531 h	0.006	0.993	0.0006	7	خطوط موازی

## ۵- نتیجه گیری

- B. S. Dhillon, (1999). In book: Design Reliability: Fundamentals and Applications, *University of Ottawa*, Ontario, Canada.
- Ch. Lijie, and T. Tao, and Zh. Xianqiong, and E. Schnieder. (2012). Verification of the safety communication protocol in train control system using colored Petri net. *Reliability Engineering & System Safety*, April. Vol. 100, 8-18.
- Ch. Panda, and S. Narayan Patro, and P. Kumar Gantayat (2012). Link Reliability in WDM Optical Network. *Chinmayananda Panda et al / Indian Journal of Computer Science and Engineering (IJCSE)*, Feb. Mar., Vol. 3 No. 1, 126-132.
- D. Rao Karanki, and G. Vinod, and S. Ajit (2020). Advances in RAMS Engineering. *book's Springer Nature Switzerland AG*.
- E. N. Dialynas (1992). Book Review: 11th Advances in Reliability Technology Symposium. *The International Journal of Electrical Engineering & Education*, Vol. 29, Issue 2, 132-132.
- Ghazi Mazhrebi, and M. Yazdani, and F. Hajizadeh (2019). Examining Liberalization of Iranian Railway Communication Service. *IEEE International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC)*, Turkey.
- J. Singh, and R. Banerjee (2019). A Study on Single and Multi-layer Perceptron Neural Network. *IEEE 3rd International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*.
- Jun Ting, and D. Jian Wu, (2012). Reliability Models of GSM-R Redundant Network on High-Speed Railway. *Materials science & Engineering*, Vol.198-199, 1783-1788.
- K.D. Figiel, and D.R. Sule, (1990). A generalized reliability block diagram (RBD) simulation. *IEEE Simulation Conference Proceedings*, USA.
- M. Macchi, and M. Garetti, and D. Centrone, and L. Fumagalli, and G. Pavirani, (2012). Maintenance management of railway infrastructures based on reliability analysis. *Elsevier Reliability Engineering & System Safety*, August, Vol. 104, 71-83.
- Pierre Brémaud (2020). Markov Chains: Gibbs Fields, Monte Carlo Simulation and Queues. *Springer International Publishing*. 557-558.

در مرحله اول این تحقیق، قابلیت اطمینان شبکه موجود انتقال نوری راه آهن، از طریق روش RBD مدل سازی و محاسبه تحلیلی گردید. در مرحله دوم تحقیق پس از مدل سازی بهینه سازی قابلیت اطمینان شبکه، بمنظور مشاهده نتایج حاصل، 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 شبکه های عصبی پرسپترون خرابی های آینده پیش بینی گردید. همانطور که در جدول ۶ نشان داده شد، پس از بهینه سازی قابلیت اطمینان شبکه، تعداد خاموشی های شبکه از ۱۸۴ مورد به ۷ مرتبه کاهش یافت و مدت زمان بین خرابی های منجر به خاموشی شبکه (MTBF)، از ۱۴۱ ساعت به ۴۵۳۱ ساعت افزایش یافت (جدول ۶). همچنین در این تحقیق با مقایسه تعداد خاموشی های شبکه، 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.

## ۶- مراجع

- یزدانی، م. (۱۳۹۳). ارتباطات و علائم الکترونیکی در راه آهن از دیروز تا فردا. راه آهن ج.ا.ا، مرکز آموزش و تحقیقات.
- خدایی، ا.، یزدانی، م. و حاجی زاده، ف. (۱۳۹۷). آزاد سازی سرویس های مخابراتی در راه آهن. راه آهن ج.ا.ا. انتشارات میرماه.
- یزدانی، م. قاضی مغربی، س. و افشار کاظمی، ع. م (۱۴۰۰). تاثیر بهینه سازی RAM زیرساخت انتقال نوری راه آهن در کاهش مسدودی خط. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی زیرساخت های حمل و نقل، سال هفتم، شماره ۲۶، ۱۰۰-۸۵.
- A. J. Bourne (1989). Book Review: Advances in Reliability Technology Symposium. *The International Journal of Electrical Engineering & Education*, Vol. 26 Issue, 4, 376-376.
- A. Maria, (2013). IEEE International Conference on Railway Safety Assurance: Management and Method in a Safe Network. *The Introduction of Common Safety Methods*. London, UK.

- Seongwoo Woo, (2020). In book, Modern Definitions in Reliability Engineering, Reliability Association of Korea, Seoul, Korea (Republic of), 53-99.
- Smith, D. (2017). Reliability, Maintainability and Risk. *Elsevier E-book*, 9th Edition.
- W. Ahmed, and O. Hasan, and U. Pervez, and J. Qadir (2017). Reliability Modeling and Analysis of Communication Networks. *Elsevier Journal of Network and Computer Applications*, 15 January. Vol. 78, 191-215.
- Yu. Min and Y. Chunhui, and Z. Sen, (2013). Reliability Model for Control Center of Railway Signalling System Based on SRN. *IEEE Fourth International Conference on Digital Manufacturing & Automation*, China.
- R. N. Allan, (1979). Book Review: Economics of Reliability in Electrical Power Systems. *The International Journal of Electrical Engineering & Education*, Vol. 16, Issue 4, 383-383.
- S. Saraswat and G.S. Yadava (2008). An overview on reliability, availability, maintainability and supportability (RAMS) engineering. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 25, 330-344.
- Seongwoo Woo in book, (2020). Reliability Design of Mechanical Systems. *Chapter Modern Definitions in Reliability Engineering. Research Gate*. 53-99.

# Reliability of Modeling and Optimization for Railway Network Using Three Layers Perceptron Neural Network

*Fatemeh Hajizadeh, Ph.D., Student, Department of Electrical and Computer Engineering, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahre Rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.*

*Saeed Ghazi Maghrebi, Associate Professor, Department of Electrical and Computer Engineering, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahre Rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.*

*E-mail: s\_ghazi2002@yahoo.com*

Received: February 2024- Accepted: June 2024

## 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 critical a large amount of rail data. Reliability of telecommunication infrastructure is required to increase productivity, maintain safety and reduce maintenance costs. In this article, the existing reliability level and all relevant parameters (the number of network outages and the time between network failures, MTBF) of the railway optical transmission telecommunication network are obtained through the Reliability block diagram method and simulated through the Monte Carlo method and then optimized. Also, prediction of the network's behavior and obtaining the probability of its failures are done through three-layer perceptron neural networks and the results are presented. The network implemented in this article is the 654 km long optical telecommunication transmission network of the railway region of Azerbaijan.

**Keywords:** Optical Transmission Telecommunication Network, Reliability, Monte Carlo Simulation, Perceptron Neural Network, RBD Model