Journal of Structural and Construction Engineering, 10(11), 2024, pp. 220-230

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Modeling the reduction of the blocking time of railway infrastructure and its optimization through the intelligent model of determining the maintenance intervals of the optical telecommunication transmission network

fatemeh Hajizadeh[1], Saeed Ghazi Maghrebi[2*]

1- Ph.D. student, Electrical and Computer Faculty, Yadgar Imam Khomeini branch, Shahr-e-Ray, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Electrical and Computer Faculty, Yadgar Imam Khomeini branch, Shahr-e-rey, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Maintenance is the possibility that maintenance conditions can be implemented in a certain period of time by using certain methods and resources. The importance of the level of maintenance of railway optical communication transmission networks and its repair and optimization (NET) is due to the need to maintain railway safety and prevent rail accidents. Today, the safe movement of trains is not possible without telecommunication networks. The interruption of optical transmission networks leads to the blocking of railway lines, and the blocking of the line leads to the reduction of traffic and productivity, damage to the rail network, and sometimes the occurrence of irreparable accidents in the railways. Also, the disconnection and failure of telecommunication transmission networks leads to the interruption of all train control telecommunication services, because all train control services are based on telecommunication networks. In the railway telecommunication department of J.A., as well as the railway infrastructure, unlike the maintenance and repair system based on reliability, the maintenance is basically done when the devices are out of service, which in addition to imposing heavy additional costs on the railways, causes It reduces productivity and increases the number of breakdowns. Therefore, the current research tries to provide a new model for increasing the level of maintainability by evaluating the current network capability of the railway telecommunication transmission system, which will lead to increasing productivity, safety and reducing the time intervals of blocking the railway network. The case study implemented in this research is Hormozgan railway area.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

ARTICLE INFO

Receive Date: 04 April 2023
Revise Date: 05 May 2023
Accept Date: 15 May 2023

Keywords:
maintainability
optical transmission network
railway lines
optimization
intelligent model

doi: https://doi.org/10.22065/jsce.2023.388477.3055

*Corresponding author: Saeed Ghazi Maghrebi
Email address: ghazimaghrebi@iausr.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

مدل سازی کاهش مدت زمان مسدودی زیرساخت های ریلی و بهینه سازی آن از طریق مدل هوشمند تعیین فواصل تعمیر و نگهداری شبکه انتقال مخابرات نوری

فاطمه حاجی زاده[۱]، سعید قاضی مغربی[۲*]

۱- دانشجوی دکترا، دانشکده برق و کامپیوتر، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهر ری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

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

چکیده

قابلیت نگهداری و تعمیر (Maintenance) احتمالی است مبنی بر اینکه شرایط نگهداری، در مدت زمان مشخص با بکار گیری روش‌ها و منابع مشخص می‌تواند اجرا شود. اهمیت سطح نگهداری شبکه‌های انتقال مخابرات نوری راه آهن و تعمیر و بهینه سازی آن (نت) بدلیل نیاز به حفظ ایمنی راه آهن و جلوگیری از سوانح ریلی می‌باشد. امروزه سیر و حرکت ایمن قطارها بدون شبکه های مخابراتی امکانپذیر نمی‌باشد. قطع شبکه‌های انتقال نوری منجر به قطع کلیه سرویس‌های مخابراتی کنترل قطار و در نتیجه مسدودی خطوط ریلی می‌شود و مسدودی خط منجر به کاهش ترافیک و بهره وری، ضرردهی شبکه ریلی و گاها وقوع سوانح غیر قابل جبران در راه آهن می‌گردد. در راه آهن کلیه سرویس‌های کنترل قطار بر بستر شبکه‌های مخابراتی می‌باشند. در بخش مخابرات راه‌آهن ج.ا.ا، و همچنین زیرساخت های ریلی بر خلاف سیستم نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان، تعمیر و نگهداری اساسا به هنگام از کار افتادگی دستگاهها صورت می‌گیرد که علاوه بر تحمیل هزینه‌های اضافی سنگین به راه‌آهن باعث کاهش بهره وری و افزایش آمار خرابی‌ها می‌گردد. از اینرو، تحقیق حاضر می‌کوشد تا با ارزیابی قابلیت نت فعلی سیستم انتقال مخابرات راه‌آهن، مدل جدیدی برای افزایش سطح قابلیت نگهداری ارائه نماید که منجر به افزایش بهره وری، ایمنی وکاهش فواصل زمانی مسدودی شبکه خطوط راه آهن گردد. نمونه موردی پیاده سازی شده در این تحقیق، منطقه ریلی هرمزگان می‌باشد.

کلمات کلیدی: قابلیت نگهداری، شبکه انتقال نوری، خطوط آهنی، بهینه سازی، مدل هوشمند

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	https://doi.org/10.22065/jsce.2023.388477.3055
۱۴۰۲/۰۱/۱۵	۱۴۰۲/۰۲/۱۶	۱۴۰۲/۰۲/۲۵	۱۴۰۲/۰۲/۲۵	۱۴۰۲/۱۱/۳۰	doi: 10.22065/jsce.2023.388477.3055

نویسنده مسئول[*]: سعید قاضی مغربی

پست الکترونیکی: ghazimaghrebi@iausr.ac.ir

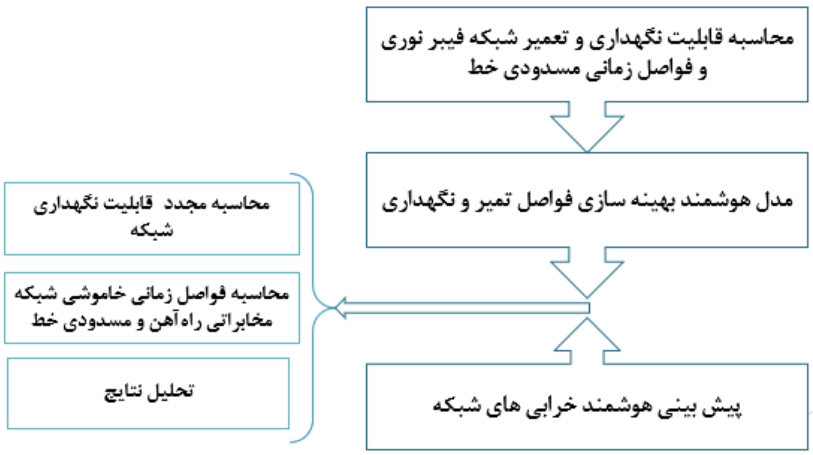
۱- مقدمه

قابلیت تعمیر و نگهداری احتمالی است مبنی بر اینکه شرایط نگهداری، در مدت زمان مشخص با بکار گیری روش‌ها و منابع مشخص می‌تواند اجرا شود. [۱] در این تحقیق با ارزیابی قابلیت نت فعلی سیستم انتقال مخابرات راه‌آهن، مدل هوشمند بهینه سازی فواصل نگهداری و تعمیر برای افزایش سطح قابلیت نگهداری ارائه می‌شود که منجر به افزایش بهره وری، ایمنی وکاهش فواصل زمانی مسدودی شبکه خطوط راه آهن گردد.

مسدودی خط[۱] 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. زمانی که خرابی تصادفی منجر به مسدودی خط می‌شود، معضلاتی نظیر کاهش ظرفیت بالقوه مسیر، نارضایتی مسافرین، کاهش مشتریان قطارهای باری، جریمه توقف قطارهای باری و مسافری در تمام محور ریلی و ضرردهی به بار می-آورد.[۲] هدف اصلی این تحقیق کاهش تعداد مسدودی خط بدلیل خرابی‌های تصادفی شبکه انتقال مخابرات نوری می‌باشد. نمونه موردی انجام این تحقیق منطقه ریلی هرمزگان می‌باشد.

۱-۱- روش تحقیق:

برای انجام این تحقیق و بهینه سازی سطح قابلیت نگهداری مراحل انجام شرح زیر می باشد.



۲- مفاهیم قابلیت نگهداری (mt)[۲]

قابلیت نگهداری شامل زمان بازگرداندن سیستم از حالت خرابی به یک سطح مشخص از عملکرد با هدف کاهش زمان تعمیر می‌باشد و دارای توابع نرخ تعمیر(μ) میانگین سرویس تعمیر شده در واحد زمان و مدت زمان رفع خرابی (MTTR)[۳] با توزیع نمایی می‌باشد. بنابراین اگر K تعداد واحدها، λi نرخ واحد خرابی iام (i= 1,2,…k)، TTRi مدت زمان تعمیر اصلاحی واحد iام باشد داریم:
[۳] تا [۱۰].

[1] rack possession
[2] Maintenance
[3] Mean Time to Repair

$$Maintenance\ (t) = \int_0^t \frac{1}{MTTR}^{-\frac{1}{MTTR}.t}\ dt = 1 - \ e^{-\frac{1}{MTTR}.t} \quad (۱)$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (۲)$$

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i TTR_i}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i} \quad (۳)$$

TTRi = TTFDT + TTFD + TTFFL+TTAF

TTFDT: مدت زمان کشف خرابی ۴

TTFFL= مدت زمان یافتن محل خرابی۵

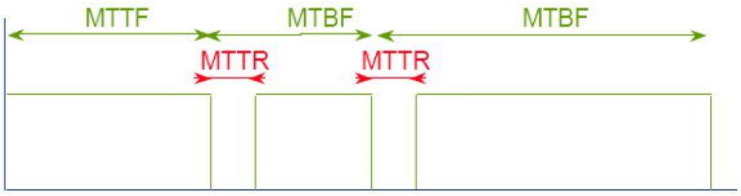
TTAF= مدت زمان رسیدن به محل خرابی۶

TTFD= زمان تعمیر خرابی۷

$\boldsymbol{\lambda} = n/(T\times N)$, n = number of failure, N= number of equipement, T= Total time (۴)

$\lambda s = \sum_{i=1}^{n} \lambda i$ (۵)

$$MTBF = \int_0^\infty \boldsymbol{R(t).dt} = \int_0^\infty \boldsymbol{e^{-\lambda t}.dt} = \boldsymbol{\frac{1}{\lambda}} \quad (۶)$$



شکل ۱: مشخصه زمانی نت

۲-۱- متوسط زمان بین خرابی‌ها (MTBF)[8]

MTBF متوسط زمان بین شکست‌های یک سیستم است و به‌صورت رابطه (۶) محاسبه می شود. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، پایداری سیستم ارتباط مستقیم با روابط بین MTBF و MTTR دارد.

۳- مدل سازی و بهینه سازی

در مرحله اول تحقیق بمنظور مدل سازی و بهینه سازی سطح قابلیت نگهداری، نیاز به محاسبه سطح موجود نت شبکه می‌باشد.

۳-۱- محاسبه سطح موجود نت شبکه انتقال فیبر نوری راه آهن

منطقه هرمزگان دارای یک مرکز تعمیر و نگهداری است. طول ناحیه ۱۲۰۰ کیلومتر است. در هر نقطه از منطقه که خرابی شود، مامورین نگهداری بعد از آگاهی از خرابی و کشف محل آن برای رفع خرابی به محل اعزام می شوند. با توجه به سطوح متفاوت دسترسی به ایستگاه های راه آهن، مطابق با جدول شماره (۱) فواصل ایستگاه ها و مدت زمان رسیدن به آنها از محل دپوی نگهداری بهمراه ضریب زمان دسترسی محاسبه شده است. بعد از لحاظ کردن ضریب دسترسی به ایستگاه ها، مطالعات میدانی و همچنین بااستفاده از نرم افزار ثبت آمار خرابی راه آهن، TTR هر بلاک (حد فاصل دو نود) مطابق با جدول ۲ محاسبه گردیده است.

[4] Time to Failure Detection
[5] Time to Find the Failure Location
[6] Time to Arrive the Failure location
[7] Time to failure repair
[8] Mean Time Between Failure

جدول ۱- ضرایب ایستگاهی

ضریب دسترسی	نوع دسترسی
۱,۱	دسترسی ساده
۱,۳	دسترسی نسبتا ساده بهمراه (۲- ۵ کیلومتر جاده خاکی)
۱,۵	دسترسی جاده بهمراه ۷ –۱۰ کیلومتر جاده خاکی
۲	دسترسی سخت جاده ای – کوهستانی – بهمراه ۱۰- ۱۵ کیلومتر جاده خاکی
۳	دسترسی سخت – بدون جاده – کل مسیر خاکی یا کوهستانی

جدول ۲- محاسبه **MTTR**

نام ایستگاه	محل دپو و فاصله تا دپو	ضریب سختی دسترسی به ایستگاه ها					TTR
		1.1	1.3	1.5	2	3	
A-B	14/963			√			04:46
B-C	31/296	√					02:58
C-D	129/87					√	07:12
D-E	148/64	√					04:26
E-F	59/242					√	08:19
F-G	83/907			√			04:37
G-H	121/70				√		07:06
H-I	151/11					√	08:28
I-J	168/43			√			05:41

$MTTR$، μ و نت هر یک از خطوط فیبر نوری، طی روابط ۷ تا ۱۲ محاسبه می‌گردد.

1- $$\text{MTTR (Line 1)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i TTR_i}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i} = 7{:}25 \quad (۷)$$

$$\text{MTTR (Line 2)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i TTR_i}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i} = 7{:}54 \quad (۸)$$

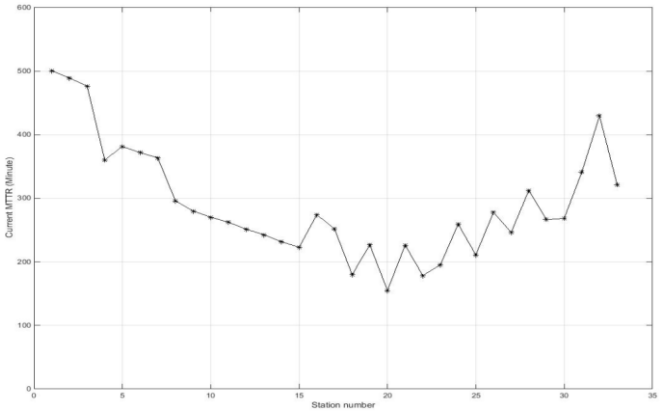
2- $$\mu_1 \text{ (line 1)} = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{6:20} = 0/183 \quad (۹)$$

$$\mu 2 \text{ (line2)} = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{6:54} = 0/152 \quad (۱۰)$$

3- $$M(t) \text{ line } 1 = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR}.t} = 1 - e^{-\frac{1}{6:20}\times 3} = 0/941 \quad (۱۱)$$

$$M(t) \text{ line } 2 = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR}.t} = 1 - e^{-\frac{1}{6:54}\times 3} = 0/917 \quad (۱۲)$$

در شکل ۲ میانگین $MTTR$ موجود شبکه در هر یک از بلاک‌های منطقه ریلی هرمزگان نشان داده شده است.

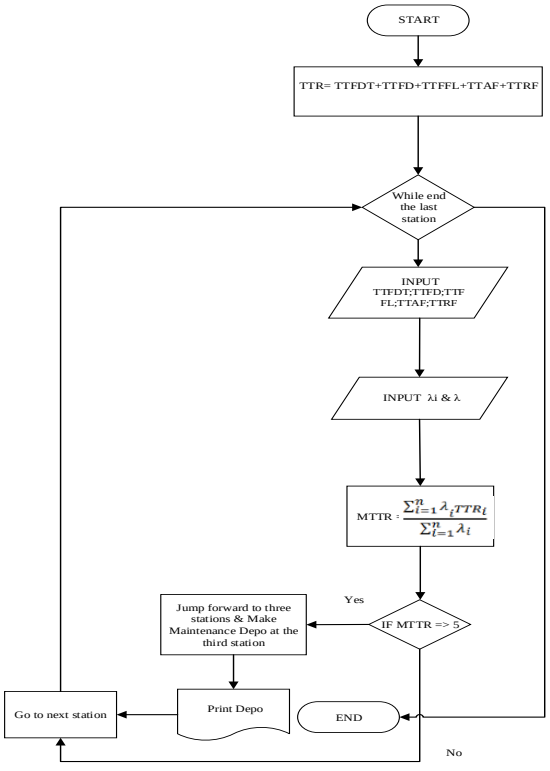


شکل ۲: **Railway network current MTTR (minute)**

۳-۲- مدل هوشمند بهینه سازی فواصل مراکز تعمیر و نگهداری

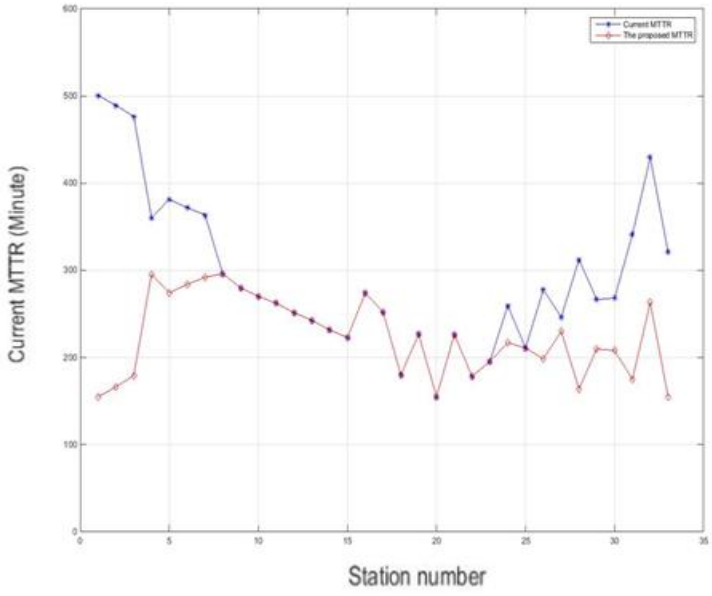
در مرحله دوم تحقیق برای کاهش زمان MTTR، مدل هوشمند بهینه سازی فواصل تعمیر و نگهداری پیاده سازی می‌شود. سپس مجددا برای مشاهده نتایج حاصل از این مدل به محاسبه نت شبکه پرداخته شده است.

در مدل پیشنهادی، بمنظور طراحی جانمایی مراکز تعمیر و نگهداری، سیستم هوش مصنوعی، کلیه پارامترهای MTTR را دریافت می‌کند و فاصله زمانی آنها را با مراکز تعمیر و نگهداری موجود مقایسه می نماید. 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 می نماید. افزایش مراکز جدید تعمیر و نگهداری، منجر به کاهش زمان رسیدن به محل خرابی و در نتیجه کاهش MTTR می شود.



شکل ۳: مدل کاهش زمان **MTTR**

نتایج حاصل از خروجی اجرای فلوچارت شکل ۵ در کاهش مدت MTTR در شکل۳ نشان داده شده است.



شکل۴: نمودار مقایسه MTTR موجود شبکه و مدل جدید

مطابق با شکل ۴ با پیاده‌سازی مدل فاصله گذاری هوشمند مراکز نت، شاهد کاهش MTTR هستیم که تاثیرات آن در قابلیت نگهداری شبکه و کاهش فواصل زمانی مسدودی خط بررسی می‌گردد.

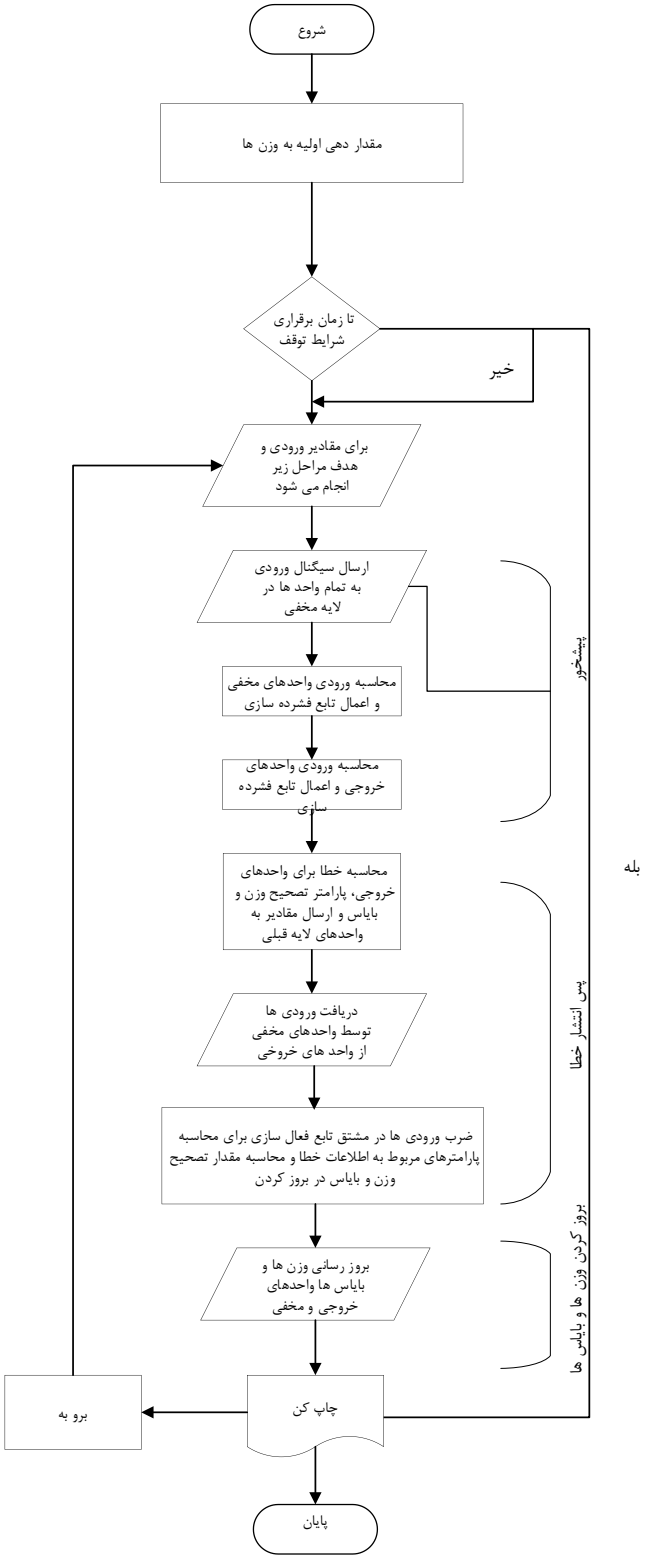
۳-۳- پیش بینی خرابی‌های مسیرهای فیبر نوری با استفاده از شبکه هوش مصنوعی

پس از پیاده کردن مدل هوشمند بهینه سازی، نیاز به محاسبه مجدد سطح قابلیت نگهداری شبکه برای مشاهده نتایج حاصله می‌باشد. بنابراین می‌بایست تعداد خرابی‌های شبکه بدست آید. بدین منظور از طریق جداول ریسک و شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) تعداد احتمالی خرابی چند سال آینده شبکه فیبر نوری پیش بینی گردید. [۱۱] تا [۱۵]

شکل ۵: ماتریس ریسک شبکه

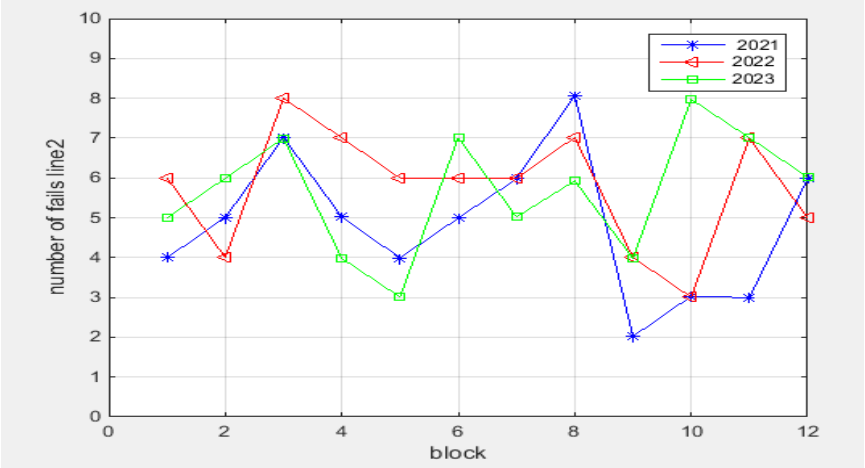
در این مرحله، تعداد خرابی های شبکه فیبر نوری چند سال آینده از طریق شبکه پرسپترون چند لایه پیش‌بینی شده است.

فرآیند اجرای MLP و نتایج آن به شرح الگوریتم شکل شماره ۶ می باشد.



شکل ۶: فرایند اجرای شبکه پرسپترون چند لایه (MLP)

شکل ۷ نتایج کلی پیش‌بینی خرابی‌های خطوط ۱ و ۲ شبکه فیبر نوری را نشان می‌دهد.



شکل ۷: نمودار پیش بینی خرابی‌های شبکه فیبر نوری

شکل ۷ آمار احتمالی و پیش بینی شده خرابی‌های مجموع بلاک‌های خط ۱ و خط۲ شبکه فیبر نوری استخراج شده از اجرای شبکه عصبی الگوریتم پرسپترون چند لایه و جداول ریسک را نشان می‌دهد. [۱۶] تا [۲۱].

به‌منظور مشاهده اثرات کاهش MTTR ، در این مرحله، نت شبکه از طریق روابط (۱۷)-(۱۲) به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$\text{MTTR (Line 1)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i TTR_i}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i} = 4{:}31 \quad (۱۲)$$

$$\mu_1 = \frac{1}{MTTR_1} = \frac{1}{4{:}24} = 0.327 \quad (۱۳)$$

$$\text{MTTR (Line 2)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i TTR_i}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i} = 4{:}57 \quad (۱۴)$$

$$\mu_2 = \frac{1}{MTTR_2} = \frac{1}{4{:}51} = 0.343 \quad (۱۵)$$

$$M(t)\ line\ 1 = 1\text{-}\ e^{-\frac{1}{MTTR}\times t} = 1\text{-}\ e^{-\frac{1}{4:24}\times 3} = 0/989 \quad (۱۶)$$

$$M(t)\ line\ 2 = 1\text{-}\ e^{-\frac{1}{MTTR}\times t} = 1\text{-}\ e^{-\frac{1}{4:51}\times 3} = 0/979 \quad (۱۷)$$

جدول ۳- نتایج حاصل از اجرای مدل هوشمند فواصل زمانی مسدودی خطوط ریلی

	مراحل تحقیق		قابلیت نگهداری	فواصل زمانی مسدودی خطوط ریلی (MTTR)	نرخ تعمیر μ
مرحله اول	وضعیت موجود	خط ۱	۰/۹۴۱	۷:۲۵	۰/۱۸۳
		خط ۲	۰/۹۱۷	۷:۵۴	۰/۱۵۲
مرحله دوم	پس از مدل سازی و بهینه سازی نت	خط ۱	۰/۹۸۹	۴:۳۱	۰/۳۲۷
		خط ۲	۰/۹۷۸	۴:۵۷	۰/۳۴۳

همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است، با مدل سازی و بهبود نت شاهد افزایش افزایش قابلیت نگهداری بودیم که در نتیجه آن مدت MTTR که معادل فواصل زمانی مسدودی خطوط ریلی از میانگین ۷:۳۵ به ۴:۳۱ کاهش یافته است.

۶- نتایج

راه آهن در جابجایی مسافرین نقش بسزایی دارد، بنابراین سوانح ریلی و یا کاهش ترافیک بدلیل مسدودی خط می تواند صدمات جبران ناپذیری وارد کند. با توجه به رابطه مستقیم سطح نگهداری شبکه انتقال مخابرات نوری در راه آهن و افزایش ایمنی و ترافیک شبکه ریلی، تحقیق حاضر در دو مرحله انجام و نتایج زیر حاصل گردید.

۱- مرحله اول تحقیق (محاسبه سطح موجود قابلیت نت شبکه)

در مرحله اول انجام تحقیق، وضعیت موجود قابلیت نگهداری محاسبه گردید. در این مرحله تعداد فواصل زمانی بین خاموشی‌های شبکه و در نتیجه مسدودی بدست آمد.

۲- مرحله دوم تحقیق (مدل سازی و بهینه سازی قابلیت نگهداری شبکه)

در مرحله دوم تحقیق، مدل بهینه سازی هوشمند تعیین فواصل نگهداری و پیش بینی خرابی‌ها از طریق شبکه هوش مصنوعی پیاده سازی شد و در نتیجه شاهد کاهش ۲۰٪ زمان MTTR (قابلیت نگهداری) بودیم که منجر به کاهش ۲۰٪ زمان‌های مسدودی خطوط ریلی گردید. تحقیق حاضر برای نخستین بار تحقیقاتی انجام شده است. می توان در تحقیقات آتی مدل‌های دیگری برای افزایش سطح قابلیت نگهداری شبکه پیاده سازی نمود.

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] khodaee, 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] 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.

[9] Macchi, M. Garetti, M. Centrone, D. Fumagalli, L. and Pavirani, G. (2012). "*Maintenance management of railway infrastructures based on reliability analysis*", Elsivier Reliability Engineering & System Safety, Vol 104, p. 71-83.

[10] 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.

[11] 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.

[12] 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.
[13] Seongwoo, W. (2020), "*Reliability Design of Mechanical Systems*", chapter "Modern Definitions in Reliability Engineering", ResearchGate, p 53-99.
[14] Dhillon, B. S. (1999), "*Design Reliability: Fundamentals and Applications, university of Ottawa"*, Ontario, Canada.
[15] 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.
[16] Karanki, D. Vinod, G. and Ajit S, (2020), "*Advances in RAMS Engineering*", book, Springer Nature Switzerland AG.
[17] 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).
[18] Figiel, K.D. and Sule, D.R. (1990). "*A generalized reliability block diagram (RBD) simulation*", IEEE Simulation Conference Proceedings, USA.
[19] 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.
[20] 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.
[21] Brémaud, P. (2020), "*Markov Chains: Gibbs Fields, Monte Carlo Simulation and Queues* ", Springer International Publishing, p. 557.
[22] 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.
[23] Yuan. L, (2022), "Research of reliability data analysis and optimization for interior system", IEEE Global Reliability and Prognostics and Health Management (PHM-Yantai), China.