بهبود بهره‌وری نیروی انسانی تعمیرگاه با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان سیستم مطالعه موردی سامانه اتوبوسرانی تندرو تهران (BRT)

سعید نجفی زنگنه [۱]، کارشناسی ارشد، ناصر شمس قارنه [۲]، دانشیار، سید علیرضا نبویه [۳]، کارشناسی ارشد، عبدالحمید اشراق‌نیا جهرمی [۴]، دانشیار

۱- دانشکده مهندسی صنایع- دانشگاه صنعتی شریف- تهران- ایران
saeed.najafi.zangeneh@gmail.com –
۲- دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت- دانشگاه صنعتی امیرکبیر - تهران- ایران
nshams@aut.ac.ir –
۳- دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت- دانشگاه صنعتی امیرکبیر - تهران- ایران
nabavieh@gmail.com –
۴ – دانشکده مهندسی صنایع- دانشگاه صنعتی شریف- تهران- ایران
eshragh@sharif.edu –

چکیده:

بهره‌وری نیروی انسانی، از موضوعات مهم مدیران سازمان‌ها بوده ودر این میان، ارتقاء بهره‌وری در سیستم‌های خدماتی از اهمیت ویژه ای برخورداراست. همچنین یکی از مسائل بسیار پر اهمیت در سیستم‌های شکست‌پذیر رسیدن به یک سطح مناسب از قابلیت اطمینان برای برآورد رضایت مشتریان و هم چنین سیستم می‌باشد. سیستم‌های تعمیرات و نگهداری از جمله سیستم‌های حساس می‌باشند که افزایش قابلیت اطمینان در آن با هزینه مواجه هست. این سیستم‌ها به دلیل ماهیت تصادفی رخداد خرابی‌های همیشه با یک عدم قطعیت روبرو هستند.

ما در این تحقیق از تکنیک شبیه‌سازی برای سیستم تعمیرگاهی استفاده نمودیم. برای این کار داده‌های مربوط به یک سال از خط یک اتوبوسرانی تندرو تهران جمع آوری شد و پس از تعیین توزیع هر یک از انواع خرابی به شبیه‌سازی آن در نرم‌افزار ARENA پرداخته شد. برای پیش بینی تعداد خرابی‌ها از شبکه‌ی عصبی مصنوعی چند لایه استفاده گردید. نهایتاً با استفاده از خروجی این مرحله به مدل‌سازی ریاضی برای محاسبه تعداد اپراتورهای تعمیرگاهی با استفاده از نرم‌افزار GAMS پرداخته شد. در واقع تخصیص بهینه نیروی انسانی منجر به افزایش کارایی و جلب رضایت استفاده‌کنندگان به عنوان هدف اصلی سیستم خواهد شد.

واژه های کلیدی: **بهره‌وری، قابلیت اطمینان، عدم قطعیت، نرم افزار ARENA، برنامه‌ریزی آرمانی، ظرفیت‌یابی.**

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۵/۰۶/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۵/۱۰/۲۷

نام نویسنده‌ی مسئول : سعید نجفی زنگنه

نشانی نویسنده‌ی مسئول : چهار راه ولیعصر، نبش کوچه بالاور ساختمان معاونت پژوهش دانشگاه صنعتی امیرکبیر، مرکز تحقیقات مهندسی صنایع و بهره‌وری

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-11]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.11.3]

۱- مقدمه

بهره‌وری عبارت است از به حداکثر رساندن استفاده از منابع، تمهیدات و نیروی انسانی به روش علمی به منظور کاهش هزینه‌ها و رضایت کارکنان، مصرف کنندگان و مدیران. تعاریف دیگر، بهره‌وری نیروی انسانی را حداکثر استفاده مناسب از نیروی انسانی به منظور حرکت در جهت اهداف سازمان با کمترین زمان و حداقل هزینه داشته اند[۱].

قابلیت اطمینان به صورت احتمال انجام کار مورد انتظار توسط سیستم در شرایط عملیاتی معمول و بدون ایجاد شکست در بازه زمانی داده شده یا به عبارت دیگر احتمال عدم شکست سیستم دریک بازه زمانی تعریف می‌شود[۲].

سامانه اتوبوس تندرو به عنوان یکی از سیستم‌های حمل و نقل سریع جاده‌ای تعریف می‌شود که با ترکیب ایستگاه، وسایل نقلیه، مسیرهای ویژه و فناوری اطلاعات در یک سیستم یکپارچه شکل می‌گیرد [۳] .

این سامانه ترکیبی از کارایی و قابلیت اطمینان خدمات ریلی با انعطاف پذیری عملکردی و هزینه کم‌تر نسبت به سرویس اتوبوس‌های معمول است. این سرویس در سراسر امریکای لاتین، امریکای شمالی، اروپا، آسیای جنوبی، استرالیا چین و جدیداً در آفریقا و هند اجرا شده است[۴].

به دلیل محدودیت ظرفیت در این سامانه، به برنامه‌ریزی صحیحی در خصوص تخصیص منابع و بهبود بهره‌وری نیاز است. تخصیص منابع صحیح افزایش راندمان و کارایی سیستم، دسترس‌پذیری و در نهایت جلب رضایت مشتری به عنوان اثربخشی را به دنبال خواهد داشت. در نتیجه تخصیص صحیح منابع و برنامه ریزی دقیق از الزامات این سیستم محسوب می‌شود.

قابلیت اطمینان، امنیت و عمر وسایل نقلیه در سیستم‌های حمل و نقل اتوبوسی بستگی به سیستم نگهداری و تعمیراتی دارد که توسط شرکت‌ها به کار گرفته می‌شود. هزینه‌های نگهداری و تعمیرات، دومین هزینه عمده بعد از هزینه‌های مربوط به عملیات وسایل نقلیه است. این هزینه‌ها ۲۱٪ از کل هزینه‌های عملیاتی در یک سیستم حمل‌ونقل معمولی را شامل می‌شوند [۵] .

رخداد خرابی در اتوبوس‌ها علاوه بر ماهیت تصادفی نشأت‌گرفته از یک سری عوامل کیفی مانند سطح دانش رانندگان، کیفیت قطعات مورد استفاده، تعداد مسافران در هر مسیر، برنامه تعمیرات نگهداری پیش‌گیرانه[1] و غیره می‌باشد. رخداد خرابی و توالی آن تقاضا برای ظرفیت‌های تعمیرگاهی را به دنبال دارد که تعیین درست این ظرفیت‌ها به نوعی یک تبادل هزینه بین زمان‌های انتظار، هزینه عدم کارکرد وسیله‌ی نقلیه، هزینه‌هایی از نوع کاهش رضایت مسافران و رانندگان و هزینه به‌کارگیری ظرفیت تعمیرگاهی می‌باشد.

با توجه به ماهیت رخدادهای مرتبط با خرابی‌ها در سیستم‌های مختلف که اغلب دارای ساختار تصادفی می‌باشد به منظور دست‌یابی به یک مدل کارآمد در خصوص تصمیم‌گیری‌ها در سیستم‌های مبتنی بر قابلیت اطمینان و سطح دسترس پذیری می‌بایست از ابزارهای شبیه سازی به منظور درنظرگرفتن و وارد کردن پارامترهای تصادفی استفاده نمود. از آن‌جایی که در سیستم تعمیرگاهی اتوبوس‌رانی رخداد خرابی علاوه بر ماهیت تصادفی از عوامل کیفی نیز تأثیر می پذیرد به منظور پیاده‌سازی یک سیستم تصمیم‌یار کارآمد باید به برازش یک تابع از عوامل کیفی و تعداد رخداد خرابی‌ها به عنوان ورودی مدل شبیه‌سازی استفاده نمود.

با توجه به مرور ادبیات انجام شده در این مطالعه، نیاز به سیستم یکپارچه‌ای که به طور همزمان شامل منابع انسانی و تعمیر و نگهداری باشد، وجود دارد. علاوه بر این، با توجه به گستردگی انواع خرابی در سیستم اتوبوس های مورد استفاده، در این تحقیق به منظور افزایش دقت و کیفیت خروجی مدل با استفاده از الگوی پاراتو و همین‌طور پیرو اطلاعات دریافتی از کارشناسان و مدیران فنی سامانه به بررسی خرابی‌های نشأت گرفته از سیستم ترمزی به عنوان زیرسیستم مورد مطالعه پرداخته می‌شود.

نوآوری اصلی این مقاله، ارائه مدلی برای تعیین سیاست‌های مدیریت منابع انسانی، مدیریت تامین کنندگان قطعات یدکی و تعیین ظرفیت بهینه برای منابع تعمیرگاهی با توجه به محدودیت های موجود در محیط شبیه‌سازی شده به منظور توسعه حوزه کاربرد آن است.

این مقاله به این صورت سازماندهی شده است که در بخش دوم، مرور ادبیات ارائه می‌گردد. در بخش سوم، تعریف مسئله بیان می‌گردد. مدلسازی و حل مسئله در بخش چهارم مورد بحث قرار می‌گیرد و در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای مطالعات آتی ارائه می‌شود.

۲- مرور ادبیات

دسته مقالات اول در حوزه ریسک و آنالیزهای مربوط به آن بوده تا مشخص شود با توجه به پارامترهای خرابی اتوبوس با چه احتمالی سفر صورت خواهد پذیرفت. یکی از مهم‌ترین اقدامات و یا شاید اولین آن‌ها شبیه‌سازی سامانه اتوبوس‌های تندرو است که در تعداد معدودی از مقالات این مسأله مورد بررسی قرار گرفته است و در ادامه مطرح می‌شوند. در این شبیه‌سازی‌ها با استفاده از نرم افزارهای متلب، ارنا و ایزی فیت[2] به تحلیل داده‌های خرابی در قسمت‌های مختلف یک اتوبوس خاص پرداخته و در نهایت با به دست آوردن تابع نرخ خرابی آنها، خرابی‌های بعدی را پیش‌بینی نموده است.

دسته مهم بعدی مربوط به مسائل زمان‌بندی می‌باشد که در مواردی چون مترو و .. نیز کاربرد دارد. عملکرد به‌هنگام و میانگین وقفه بین اتوبوس‌ها از مهمترین این عوامل هستند که در پایایی مطرح‌اند. در ادامه سیاست‌ها و استراتژی‌های تعمیرات و نگهداری از جمله نت پیش‌گیرانه به عنوان یک دسته مطرح شده‌اند، موضوعی که اگرچه مطالعات بسیاری پیرامون آن انجام گرفته اما مطالعات انحصاری نت پیشگیرانه در خصوص سامانه‌های تندرو با توجه به ویژگی‌های

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-11]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.11.3]

منحصر بفردشان بسیار کم انجام گرفته است. در موضوعات آتی این فصل سیاست‌های تعمیرات نگهداری پیش‌گیرانه و اقدامات انجام شده به تفصیل تشریح خواهد شد.در ادامه به ترتیب روش‌های محاسبه و مدل‌های ابتکاری جهت به دست آوردن قابلیت اطمینان، زمان انتظار مسافر ناشی از خرابی اتوبوس و سیستم‌های پیچیده سری و موازی به عنوان دسته‌های کلیدی جهت طبقه‌بندی مطالعات معرفی شده‌اند که در ادامه برای هریک از این دسته‌ها مجموعه‌ای مقالات و اقدامات انجام گرفته بیان می‌شود.

برای محاسبه قابلیت اطمینان یک شبکه حمل‌ونقل بهتر است دوره زمانی در نظر گرفته شود که شرایط ثابت است ولی احتمال بالایی برای پایین آمدن قابلیت اطمینان در این دوره وجود دارد مانند ساعات پیک صبح و عصر[۶].

سیستم باید به بخش‌هایی نظیر ایستگاه‌های پشت سر هم یا نقاطی که شرایط عملیاتی سیستم حمل‌ونقل تغییر می‌کند مانند یک مسیر مشترک تندرو و اتوبوس شهری یا یک تقاطع میان تندرو و راه آهن تقسیم شود [۷،۶].

لین و دیگران در سال ۲۰۰۸ از اطلاعات سیستم کنترل اتوماتیک موقعیت وسیله نقلیه شرکت حمل‌ونقل شیکاگو برای توسعه یک چارچوب کنترل کیفیت شامل تحلیل پوششی داده‌ها استفاده نمودند. آن‌ها چارچوب روش‌های مختلف اندازه‌گیری قابلیت اطمینان خدمت را در یک روش جامع به هم پیوند می‌دهند[۸].

تاملین و دیگران روشی را برای ارزیابی عملکرد در موضوع محیط-های مختلف حمل‌ونقل توسعه دادند[۹].

چن و دیگران در سال ۲۰۰۹ سه شاخص قابلیت اطمینان بر اساس اطلاعات برگرفته از سیستم کنترل اتوماتیک موقعیت وسیله نقلیه ارائه نمودند[۵]:

- شاخص متناوب بر اساس مسیرها[۳]
- شاخص انحراف بر اساس ایستگاه‌ها[۴]
- شاخص همسانی بر اساس ایستگاه‌ها[۵]

ساوسار در سال ۲۰۱۳ یک مدل شبیه‌سازی کامپیوتری با جزئیات به منظور آنالیز عملیات نگه‌داری و تعمیرات توسعه داده است[۱۰].

یکی از زمینه‌های مهم در مسأله تعمیرات و نگهداری و پایایی بحث زمانبندی و برنامه‌ریزی است. مقاله حقانی و شفاهی در سال ۲۰۰۲ در مورد مسأله زمانبندی نگهداری و تعمیرات اتوبوس بحث می‌کند. در یک نگاه کلی‌تر فرآیند برنامه‌ریزی عملیاتی حمل‌ونقل، شامل چهار مؤلفه پایه‌ای می‌شود که به دنبال هم عمل می‌کنند:

طراحی شبکه مسیرها، تنظیم جدول‌های زمانی، زمانبندی سفر وسایل نقلیه و تخصیص رانندگان مطلوب است که تمام این مولفه‌ها همزمان برنامه‌ریزی شوند تا بهره‌وری و کارایی حداکثر شود.

در بیش‌تر شرکت‌ها، بازرسی و سرویس‌های روزانه در فاصله‌های زمانی یکسان یا بر اساس فاصله‌های بر حسب مایل انجام می‌شود. با در اختیار داشتن داده‌هایی همچون برنامه عملیاتی، پیش نیازهای نگهداری و تعمیرات، منابع نگهداری و تعمیراتی و میزان در دسترس بودن نیروهای کار، سوال این است که یک سرپرست نت چطور می‌تواند برنامه نگهداری و تعمیرات را تنظیم نموده و اتوبوس‌ها را به منابع محدود تخصیص داده به گونه‌ای که هر اتوبوس نیز در زمان مناسب سرویس شود و زمانی که هر اتوبوس از برنامه کاری خود عقب می‌افتد حداقل شود. به وضوح، ماموریت اصلی چنین سیستمی حداکثر نمودن قابلیت اطمینان و استفاده بهینه از نیروها و منابع در دسترس است. پس به عنوان جمع‌بندی می‌توان گفت که حقانی و شفاهی مدل و فرمولی را برای برنامه زمانبندی نگهداری و تعمیرات اتوبوس‌ها ارائه دادند[۱۱].

دسته‌بندی مهم بعدی شاخص‌ها و عوامل کلیدی در پایایی (عملکرد به هنگام و وقفه بین اتوبوس‌ها) در اتوبوس‌هاست. مطالعات استرمن و اسکوفر در سال ۱۹۷۶جزو اولین بررسی‌ها بر روی پایایی سیستم‌های اتوبوس در آمریکا بود[۱۱].

سه پارامتر عملکردی معرفی شده یعنی، شاخص دقت بر اساس مسیرها،شاخص انحراف بر اساس توقف و شاخص تغییرناپذیری بر اساس توقف، برای ارزیابی قابلیت اطمینان خدمات اتوبوس پیشنهاد شده‌اند. همچنین پس از انجام یک سری محاسبات عددی بر روی خط سامانه تندرو در شهر پکن اثرات طول مسیر، میانگین وقفه بین اتوبوس‌ها، فاصله از هر ایستگاه تا ترمینال مبدأ و استفاده از خطوط اتوبوس ویژه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد میزان پایایی یا قابلیت اطمینان سرویس تندرو برای اتوبوس‌ها در پکنکم بودهو یک همبستگی زیادی بین این پایایی با طول مسیر، میانگین وقفه بین اتوبوس‌ها، فاصله از هر ایستگاه تا ترمینال مبدأ، و خطوط ویژه وجود دارد[۱۲].

البته در سال‌های اخیر، برخی ازمطالعات برای تعیین قابلیت اطمینان خدمات اتوبوس با استفاده از معیارهای عملکردی به‌هنگام، میانگین وقفه بین اتوبوسها و یا پایبندی میانگین وقفه بین اتوبوس‌ها، زمان راه‌اندازی اولیه (زمان اجرا) اتوبوس[۶] وانتظار بیش از حد انجام شده است[۱۲].

بیتس در سال ۱۹۸۶پژوهشی‌هایی را جهت تعیین شیوه‌ها و روش‌هایی بر روی عملکرد به‌هنگام در حمل‌ونقل اتوبوس انجام داد. با توجه به نتایج ۱۴۶ اتوبوس مورد بررسی نشان داد که بازه وسیعی در تعریف عملکرد به هنگام وجود دارد[۱۳].

استراتمن و هوپر در سال ۱۹۹۳یک ارزیابی تجربی از عوامل مؤثر بر عملکرد به هنگام ازسیستم اتوبوس با مسیر ثابت در پورتلند ارائه دادند[۱۴].

بعدها استراتمن و همکاران در سال ۱۹۹۹ تجزیه و تحلیل پایه‌ای از قابلیت اطمینان بر روی مسیرهای انتخاب شده با تمرکز بر زمان راه‌اندازی، وقفه‌های بین اتوبوس و عملکرد به هنگام انجام داد. در پایان به این نتیجه رسیدند که پایایی با توجه به عوامل مسیری و راه‌اندازی، مسیرها و بازه زمانی در روز می‌تواند متفاوت باشد[۱۵].

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-11]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.11.3]

کیتلسون و همکاران در سال ۲۰۰۳ مهم‌ترین معیارهای بررسی پایایی در حوزه حمل و نقل یعنی عملکرد به هنگام و وقفه بین اتوبوس‌ها را به صورت خاص مورد مطالعه قرار داد [۱۶] .

تنوع زمان وقفه بین اتوبوس‌ها و تعداد مسافران سوار شده همبستگی زیادی به یکدیگر دارند، عدم اطمینان با افزایش ازدحام و تقاضای مسافران افزایش می‌یابد. عوامل تأثیرگذار بر قابلیت اطمینان زمان‌بندی به صورت ذیل خلاصه می‌شوند:

- مشخصات ترافیکی مانند سطح تقاضای سفر و ازدحام ترافیک
- مشخصات مسیر مانند طول مسیر، تعداد لاین‌های مسیر، محل‌های قرارگیری ایستگاه‌های اتوبوس
- ویژگی‌های مسافری منظور مبدا، مسیر و مقصد انتخابی آن‌هاست
- مشخصات عملکردی اتوبوس‌ها شامل سیستم برنامه‌ریزی، تعداد کارکنان، ناوگان‌های در دسترس،تعمیرات و نگهداری و سیستم‌های فروش بلیط است[۱۷].

در نهایت در بسیاری از مقالات نوین عامل میانگین وقفه بین اتوبوس‌ها به عنوان عامل کلیدی در قابلیت اطمینان مطرح است [۸، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰] .

دیگر عامل کلیدی که مورد توجه محققین قرار گرفته است ظرفیت یا حجم مسافران اتوبوس می‌باشد [۸، ۱۷، ۱۸، ۲۱] .

انگلستین و همکاران در سال‌های ۱۹۸۳ و ۱۹۸۴عوامل مؤثر بر روی زمان راه‌اندازی در مسیرهای حمل‌ونقل و روش‌های حفظ نظم در خدمت‌دهی اتوبوس‌هارا مورد بررسی قرار دادند. در این مقاله پیشنهاد شده است که بهبود قابلیت اطمینان ممکن است از طریق برنامه‌ریزی مسیرهای کوتاه‌تر و یا اتخاذ استراتژی‌های سرمایه گذاری که بر بهبود کنترل نسبت به اصلاح شاخصه‌های فعلی تأکید دارد حاصل شود [۲۲، ۲۳] .

کموس و همکاران در سال ۲۰۰۵ مزایا و محدودیت‌های روش راهنمای کیفیت و ظرفیت حمل و نقل مسافر را جهت تخمین پایایی بیان کرد. او همچنین روش جدیدی با عنوان شاخص تأخیر وزن‌دهی[۷] را به کار گرفت که در آن میزان تأخیرات، تحمل منعطف را در نظر گرفت [۲۴] .

صابری و ذکایی در مقاله‌ای ارزیابی روش‌های اندازه‌گیری قابلیت اطمینان که در راهنمای کیفیت و ظرفیت حمل‌ونقل مسافر ارائه شده و نیز توسعه‌ی روش‌های جدید در سطح ایستگاه اتوبوس را انجام دادند [۲۵] .

چندین مطالعه نیز بر روی روش‌های موجود و ارائه‌ی معیارها و شاخص‌های جدید تمرکز نمودند [۵، ۲۴، ۲۶، ۲۷، ۲۸].

ون ارت و دیگران در سال ۲۰۱۲ بر وری روش‌های بهبود قابلیت اطمینان با تنظیم جدول‌های زمان‌بندی با استفاده از نقاط درگیر مطالعه نمودند [۲۵] .

در نهایت یکی دیگر از دسته‌بندی‌های برجسته بررسی سیستم-های پیچیده (موازی، سری) است. در تعریف این سیستم‌ها در ادبیات موضوع داریم اگر اجزای سیستم چند حالته با هم برای ارضای تقاضا کار کنند، سیستم موازی در نظر گرفته شده و عملکرد کل سیستم برابر جمع عملکرد تک تک اجزای سیستم خواهد بود. قابلیت اطمینان سیستم برابر احتمال آن است که مجموع عملکرد اجزا جوابگوی تقاضا باشد [۲۹] .

اگر هر جزء سیستم چند حالته به تنهایی برای ارضای تقاضا کار کند، سیستم سری در نظر گرفته شده و قابلیت اطمینان سیستم برابر ضرب احتمالات آن است که هر جزء تقاضای خود را ارضا کند [۳۰] .

یک سیستم سری فرض می‌کند که عملکرد اضافه یک جز سیستم چند حالته نمی‌تواند با اجزای دیگر که تقاضای خود را ارضا نمی‌کنند به اشتراک گذاشته شود. اگرچه عملکرد اضافه در بسیاری از سیستم‌های واقعی می‌تواند به اجزای دیگر انتقال یابد، نظیر سیستم‌های انرژی، ارتباطات و سیستم‌های تولیدی[۳۱].

بررسی دقیقتر ادبیات موضوع قابلیت اطمینان سامانه‌های تندرو نشان می‌دهد که تقریبا هیچ مطالعه‌ای به صورت انحصاری به این موضوع نپرداخته و عمده مطالب موجود با تکیه بر اتوبوس و نه سامانه تندرو موضوع را در نظر گرفته‌اند که ما نیز در این پژوهش به جهت ارائه یک چارچوب موضوعی از این راهکار بهره جستیم.

۳- تعریف مسئله

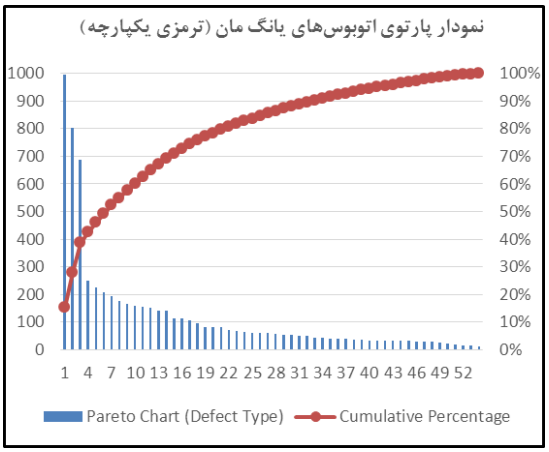
۳-۱- انتخاب زیر سیستم مساله

با توجه به تنوع بالای خرابی‌ها در سیستم اتوبوس‌ها و کم بودن تواتر رخداد ها ما از تکنیک پارتو برای تحلیل خرابی‌های استفاده نموده و سرانجام با توجه اینکه علل خرابی مربوط به سیستم ترمزی از درصد بالاتری برخوردار بود و اینکه خرابی در این سیستم موجب از کار افتادن اتوبوس می شود، داده های سیستم ترمزی را برای انجام تحقیق مورد استفاده قرار دادیم.

فراوانی رخداد هر یک از خرابی‌ها برای اتوبوس یانگمان در جدول (۳) پیوست و نمودار پارتوی اتوبوس‌ها در شکل (۱) نمایش داده شده‌اند.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-11]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.11.3]

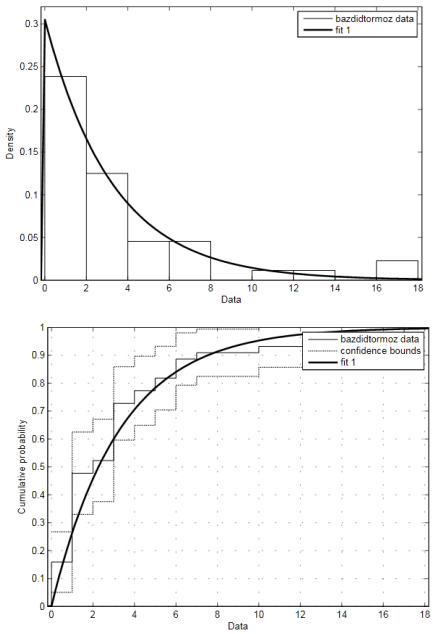


شکل (۱): نمودار پارتوی اتوبوس های یانگ‌مان(ترمزی یکپارچه)

۳-۲- برازش توزیع زمان تعمیر انواع خرابی‌های سیستم ترمزی

برای استفاده از تکنیک شبیه سازی نیاز به برازش توزیع زمان تعمیرات هر یک از انواع خرابی می‌باشد این کار با استفاده از نرم‌افزار MATLAB برای داده های یک سال اتوبوس یانگ من انجام شد و نتایج طی جداول زیر ارائه می‌گردد.

با توجه به نمودار چگالی رسم شده در شکل (۲) می‌توان از منحنی تابع توزیع نمایی برای برازش توزیع زمان تعمیرات مربوط به بازدید ترمز پرداخت. این کار با استفاده از نرم افزار متلب انجام شده و مشخصات توزیع برازش شده در جدول (۳) آورده شده است.

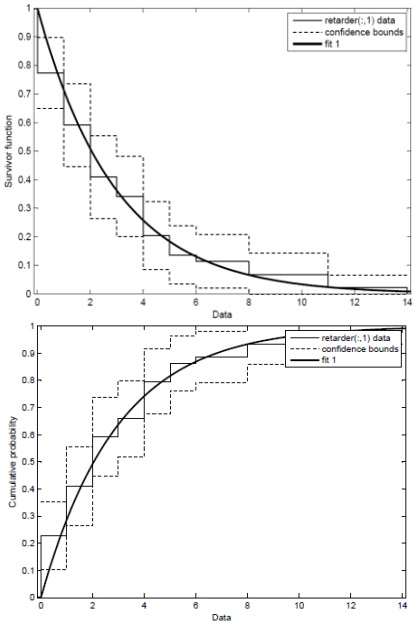


شکل (۲): مشخصات توزیع برازش شده خرابی بازدید کامل ترمز

جدول (۳): مشخصات توزیع برازش شده بازدید کامل ترمز

نوع توزیع	نمایی
حداکثر درستنمایی	۹۶/۱۶۷۴
میانگین	۳/۲۷۲۷۳
واریانس	۱۰/۷۱۰۷

با توجه به استفاده از توزیع های مختلف برای برازش مربوط به خرابی ریتاردر همان‌طور که در شکل (۳) مشخص است توزیع نمایی بهترین برازش از لحاظ گرافیکی را داراست. همچنین مشخصات توزیع برازش شده در جدول (۴) آورده شده است.



شکل (۳): مشخصات توزیع برازش شده خرابی ریتاردر

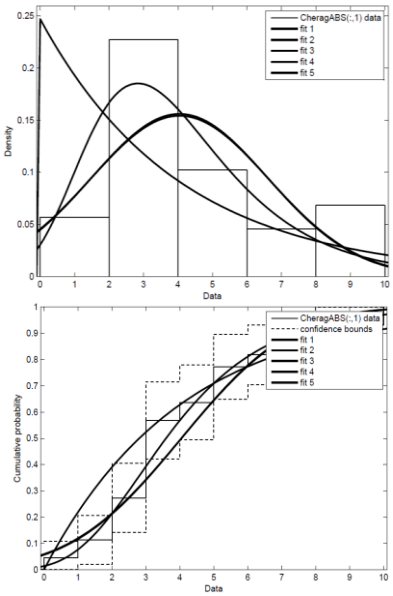
جدول (۴): مشخصات توزیع برازش شده خرابی ریتاردر

نوع توزیع	نمایی
حداکثر درستنمایی	۹۱/۶۶۷۲
میانگین	۲/۹۵۴۵۵
واریانس	۸/۷۲۹۳۴

با توجه به استفاده از توزیع های مختلف برای برازش مربوط به خرابی چراغ ABS همان‌طور که در شکل (۴) مشخص است توزیع پواسون بهترین برازش از لحاظ گرافیکی را داراست. همچنین مشخصات توزیع برازش شده در جدول (۵) آورده شده است.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-11]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.11.3]

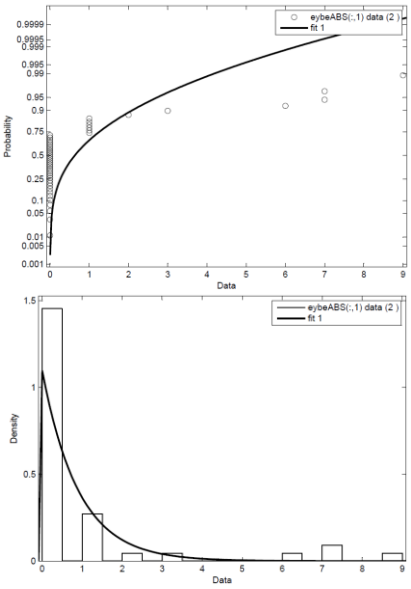


شکل (۴): مشخصات توزیع برازش شده خرابی چراغ ABS

جدول (۵): مشخصات توزیع برازش شده خرابی چراغ ABS

نوع توزیع	پواسون
حداکثر درستنمایی	۱۰۵/۴۹۴
میانگین	۴/۰۴۵۴۵
واریانس	۴/۰۴۵۴۵

با توجه به استفاده از توزیع های مختلف برای برازش مربوط به خرابی عیب ABS همان‌طور که در شکل (۵) مشخص است توزیع نمایی بهترین برازش از لحاظ گرافیکی را داراست. همچنین مشخصات توزیع برازش شده در جدول (۶) آورده شده است.

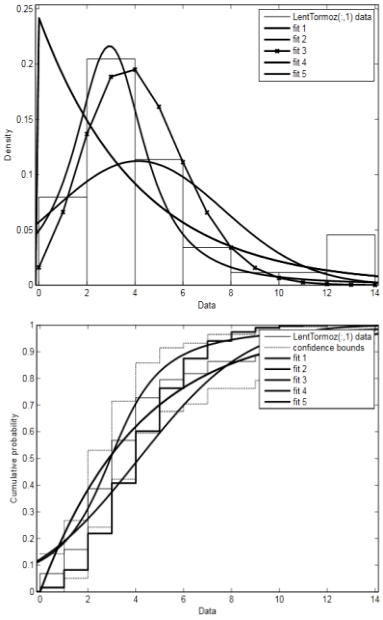


شکل (۵): مشخصات توزیع برازش شده خرابی عیب ABS

جدول (۶): مشخصات توزیع برازش شده عیب ABS

نوع توزیع	نمایی
حداکثر درستنمایی	۳۹/۸۰۶۴
میانگین	۰/۹۰۹۰۹۱
واریانس	۰/۸۲۶۴۴۶

با توجه به استفاده از توزیع‌های مختلف برای برازش مربوط به خرابی لنت ترمز همان‌طور که در شکل (۶) مشخص است توزیع پواسون بهترین برازش از لحاظ گرافیکی را داراست. همچنین مشخصات توزیع برازش شده در جدول (۷) آورده شده است.



شکل (۶): مشخصات توزیع برازش شده خرابی لنت ترمز

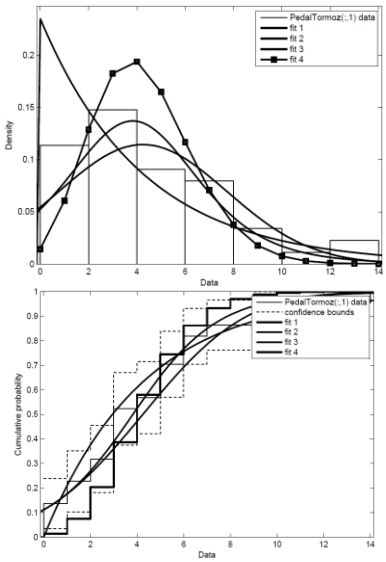
جدول (۷): مشخصات توزیع برازش شده خرابی لنت ترمز

نوع توزیع	پواسون
حداکثر درستنمایی	۱۰۶/۴۷۲
میانگین	۴/۱۳۶۳۶
واریانس	۴/۱۳۶۳۶

برای برازش مربوط به خرابی پدال ترمز همان‌طور که در شکل (۷) مشخص است توزیع پواسون بهترین برازش از لحاظ گرافیکی داراست. همچنین مشخصات توزیع برازش شده در جدول (۸) آورده شده است.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-11]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.11.3]



شکل (۷): مشخصات توزیع برازش شده خرابی پدال ترمز

جدول (۸): مشخصات توزیع برازش شده بازدید خرابی پدال ترمز

نوع توزیع	پواسون
حداکثر درستنمایی	۱۰۷/۶۶۴
میانگین	۴/۲
واریانس	۴/۲

۳-۳- درصد علل خرابی

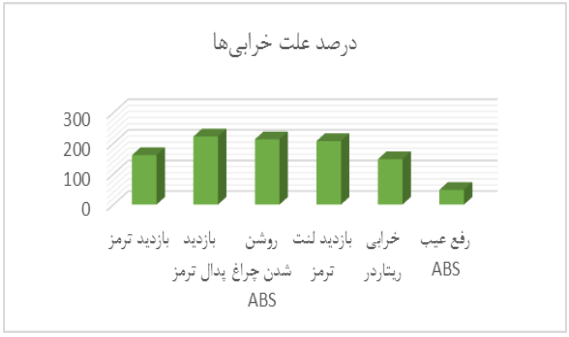
به منظور تخمین توزیع و شدت خرابی‌های مختلف سیستم ترمزی باید به درصد از کل هر یک از علل خرابی دست یافت و سپس با داشتن فواصل زمانی مابین خرابی مورد نظر پس از برازش توزیع فاصله زمانی بین هر دو خرابی، به شبیه‌سازی اقدام کرد.

در جدول (۹)مشخصات آماری علل خرابی و در شکل (۸)، درصد علل خرابی نمایش داده شده است.

جدول (۹): مشخصات آماری علل خرابی

علت خرابی	فراوانی	درصد فراوانی
بازدید ترمز	۱۶۱	۱۶/۱
پدال ترمز	۲۲۲	۲۲/۲
چراغ ABS	۲۱۳	۲۱/۳
لنت ترمز	۲۰۷	۲۰/۷
خرابی ریتاردر	۱۴۸	۱۴/۸
عیب ABS	۴۸	۴/۸

شکل (۸): درصد علت خرابی‌ها



۴- مدل‌سازی و حل مسئله

۴-۱- برازش تابع تعداد رخداد خرابی

۴-۱-۱- تعداد خرابی‌ها

ورودی هر سیستم تعمیرگاهی را قطعات و ماشین آلات معیوب تشکیل می‌دهند. با توجه به ماهیت مساله مورد بررسی در این تحقیق، تعداد خرابی علاوه بر ماهیت تصادفی و غیرقابل پیش بینی خود وابسته به تعدادی از عوامل کیفی می‌باشد. به بیان دیگر قسمتی از خرابی‌ها می‌تواند به علت تصادفات و سایر مسائل غیر قابل پیش بینی اتفاق بیافتد ولی برخی عوامل مانند مشخصات رانندگان و کیفیت قطعات مورد استفاده در رخداد خرابی‌ها تاثیرگذار می‌باشد.

۴-۱-۲- عوامل تاثیرگذار در تعداد خرابی

۱- سطح دانش و آگاهی رانندگان

۲- سطح کیفی قطعات یدکی

در ادامه جدول مربوط به تعداد خرابی، امتیازات متغیرهای کیفی سطح دانش رانندگان و کیفیت قطعات یدکی برای هر اتوبوس نوع یانگ من به صورت خلاصه نمایش داده می‌شود. برای محاسبه امتیاز هر اتوبوس از روش ترکیبی دلفی فازی و تاپسیس فازی استفاده شد. جدول (۱۰) نرخ سازگاری قضاوت خبرگان را نشان می‌دهد.

جدول (۱۰): نرخ سازگاری قضاوت خبرگان

شماره خبره	نرخ سازگاری ماتریس قضاوت خبره
۱	۰.۰۲
۲	۰.۰۶۷
۳	۰.۰۲۶
۴	۰.۰۰۰
۵	۰.۰۰۳
۶	۰.۰۱
۷	۰.۰۸۷
۸	۰.۰۴۹
۹	۰.۰۲۷
۱۰	۰.۰۲۷

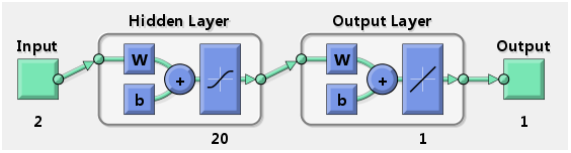
[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-11]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.11.3]

۴-۲- برازش تعداد خرابی ها با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی چند لایه

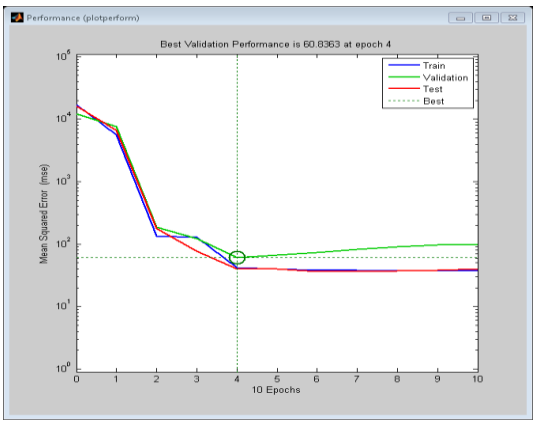
با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی چند لایه در این تحقیق به برازش رابطه‌ی بین تعداد خرابی‌ها و معیارهای سطح دانش رانندگان و سطح کیفی قطعات خواهیم پرداخت. با توجه به این موضوع که پراکندگی داده به گونه‌ایی می‌باشد که نمی‌توان توزیع خاصی برای آن در نظر گرفت در نتیجه با توجه به موارد قسمت قبلی نمی‌توان از رگرسیون آماری استفاده نمود و شبکه‌ی عصبی مصنوعی چند لایه بهترین گزینه برای برازش تابع تعداد خرابی می‌باشد. شاید ذکر است با توجه به ماهیت داده های مورد بررسی از تابع محرک سیگموئیدی در شبکه مورد نظر استفاده می‌شود.

همانطور در شکل (۹) مشاهده می‌شود از یک شبکه عصبی مصنوعی با ۲۰ لایه پنهان برای پیش بینی تعداد رخداد خرابی استفاده شد که در این شبکه از دو عامل سطح دانش رانندگان و کیفیت قطعات یدکی به عنوان عوامل ورودی و تعداد رخداد خرابی به عنوان خروجی شبکه استفاده شد. برای آموزش شبکه از ۷۰ درصد داده های موجود استفاده شد. ۱۵ درصد باقی داده‌ها برای اعتبارسنجی و مابقی بابت تست مورد استفاده قرار گرفت.



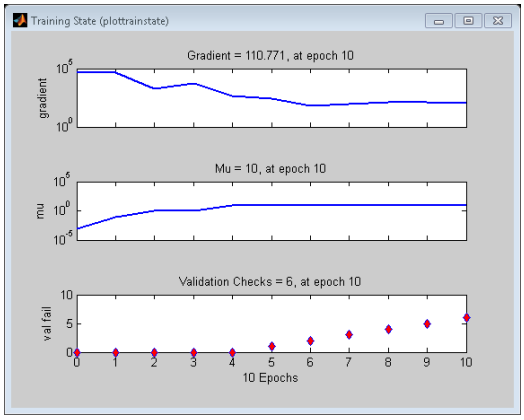
شکل (۹): ساختار شبکه عصبی تخمین تعداد خرابی

با توجه به شکل (۱۰) روند کاهش خطا بعد از مرحله ۴ روند کاهشی خود را از دست داده و آموزش شبکه بهبود نیافته است. در نتیجه روند آموزش شبکه در مرحله ۴ برای هر سه منحنی آموزش، اعتبارسنجی و آزمون در بهترین وضعیت خود قرار داشته و متوقف می‌شوند.



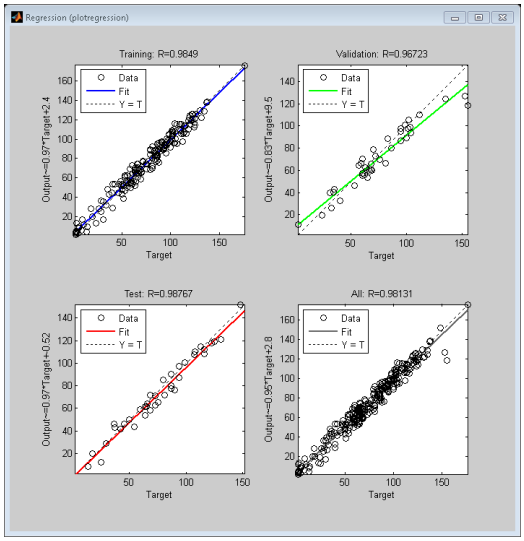
شکل (۱۰): منحنی میانگین مجذور خطا

در شکل (۱۱) با توجه به روش لونبرگ مارکارد[۸] که برای آموزش شبکه استفاده شده است از مرحله ۴ به بعد شکست در آموزش اتفاق افتاده و روند بروز رسانی پارامترهای شبکه عصبی مصنوعی متوقف گردیده است.



شکل (۱۱): منحنی های وضعیت آموزش شبکه

در شکل (۱۲) میزان دقت رگرسیون انجام شده در مراحل آموزش، اعتبارسنجی و آزمون به ترتیب مورد بررسی قرار گرفته و همانطور که از نمودارهای مشخص است از دقت نسبتاً بالایی در برازش مقدار هدف برخوردارند.



شکل (۱۲): نمودار رگرسیون های شبکه عصبی

با توجه به ماهیت اجزای تابع هدف که جنس های مختلف می‌باشند از تکنیک برنامه ریزی آرمانی چند انتخابی برای حل مدل استفاده نمودیم. بعد از تهیه میانگین زمان های انتظار به ازای هر تعداد اپراتور در نرم افزار ARENA از نتایج حاصل به عنوان داده های مدل استفاده نموده و در نهایت با حل مدل در نرم‌فزار GAMS مقادیر تعداد اپراتور برای تعمیرات برقی و دسته تعمیرات مکانیکی تعیین شد.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-11]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.11.3]

۴-۳- مدل برنامه‌ریزی ریاضی

در این قسمت به مدلسازی مساله تحقیق پرداخته خواهد شد:

مجموعه	نماد
انواع خرابی ها (مکانیکی، برقی و...):	i عضو R
تامین کنندگان قطعات :	j عضو S

پارامتر	نماد
هزینه به کارگیری نیروی انسانی:	f_i
هزینه نگهداری قطعات در انبار:	h_i
هزینه خرید قطعات از تامین کنندگان:	C_{ij}
هزینه ثابت سفارش دهی به تامین کنندگان قطعات:	O_j
نرخ جریمه برای سرمایه راکد:	r
جریمه برای زمان انتظار:	w
نرخ ضایعات تامین کنندگان:	q_{ij}
نرخ تاخیرات تامین کنندگان:	p_{ij}
حداکثر بودجه در دسترس:	U
حداقل بودجه در دسترس:	L
سطح کیفی قطعات یدکی تامین کننده j ام	QM_j
سطح دانش و آگاهی نیروی انسانی نوع iام	QH_i
حداکثر زمان قابل قبول انتظار:	T_{max}
یک عدد بسیار بزرگ	$BigM$

متغیر تصمیم	نماد
متغیر عدد صحیح برای تعداد اپراتور برای خرابی نوع i	X_i
متغیر صفر و یک برای انتخاب یا عدم انتخاب تامین کننده j ام برای قطعه i ام	Y_j
متغیر عدد صحیح برای میزان تخصیص قطعه iام به تامین کننده jام	B_{ij}

Objective Functions:

$$Min\ G1 = \sum_{i=1}^{R} X_i f_i + \sum_{i=1}^{R}\sum_{j=1}^{S} B_{ij} h_i + \sum_{i=1}^{R}\sum_{j=1}^{S} B_{ij} C_{ij} + \sum_{j=1}^{S} Y_j O_j + \sum_{i=1}^{R}\sum_{j=1}^{S} B_{ij} C_{ij} r \quad (1)$$

$$Min\ G2 = \sum_{i=1}^{R} E_i w \quad (2)$$

$$Min\ G3 = \sum_{i=1}^{R}\sum_{j=1}^{S} B_{ij} q_{ij} \quad (3)$$

$$Min\ G4 = \sum_{i=1}^{R}\sum_{j=1}^{S} B_{ij} p_{ij} \quad (4)$$

$$Max\ G5 = \sum_J Y_j QM_j + \sum_I X_i QH_i \quad (5)$$

Subject to:

$$E_i = simulate\,(X_i) \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{R} X_i f_i + \sum_{i=1}^{R}\sum_{j=1}^{S} B_{ij} h_i + \sum_{i=1}^{R}\sum_{j=1}^{S} B_{ij} C_{ij} + \sum_{j=1}^{S} Y_j O_j + \sum_{i=1}^{R}\sum_{j=1}^{S} B_{ij} C_{ij} r \le U \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{R} X_i f_i + \sum_{i=1}^{R}\sum_{j=1}^{S} B_{ij} h_i + \sum_{i=1}^{R}\sum_{j=1}^{S} B_{ij} C_{ij} + \sum_{j=1}^{S} Y_j O_j + \sum_{i=1}^{R}\sum_{j=1}^{S} B_{ij} C_{ij} r \ge L \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{R} E_i \le T_{max} \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^{R} B_{ij} \le Y_j . BigM \quad \forall j \in S \quad (10)$$

$$X_i, Y_j, B_{ij} \in Int\,, \forall i \in R, \forall j \in S \quad (11)$$

۴-۴- توضیح مدل:

رابطه(۱) با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های ریالی به کارگیری منابع انسانی، هزینه‌های ثابت و متغیر سفارش‌دهی، هزینه سرمایه راکد در نظر گرفته شده است. رابطه (۲) کمینه‌سازی جریمه زمان انتظار، رابطه (۳) با هدف کمینه‌سازی نرخ ضایعات و رابطه (۴) با هدف کمینه‌سازی نرخ تاخیرات در سفارش به تامین کنندگان در نظر گرفته شده است.

رابطه (۵) سعی در حداکثر سازی ارزش کیفی منابع انسانی در حوزه دانش و آگاهی از بخش های تحصیلات، تجربه و سابقه کار و دوره های آموزشی گذارنده می باشد. همینطور به دنبال تنظیم صحیح کیفیت قطعات تامین کنندگان در حد بهینه می باشد.

رابطه (۶) میانگین زمان انتظار با استفاده از ساختار شبیه‌سازی نرم افزاری محاسبه می‌گردد (برای ابعاد کوچک مساله به ازای مقادیر مختلف تعداد نیروی انسانی میانگین زمان انتظار محاسبه و تحت یک ماتریس وارد مدل می شود. در ابعاد بزرگ نیاز به استفاده از روش های ابتکاری می باشد). رابطه (۷) و (۸) محدودیت رعایت حداکثر و حداقل بودجه در دسترس می‌باشد. رابطه (۹) برای رعایت سقف زمان انتظار قابل قبول و رابطه (۱۰) برای مقدار گرفتن متغیر باینری در صورت تخصیص به تامین کننده در نظر گرفته شده است. در نهایت رابطه (۱۱) متغیرهای مساله و نوع آن در نظر گرفته شده است.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-11]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.11.3]

۴-۵- حل مدل:

با توجه به اینکه در مدل ارائه شده تابع هدف از نوع چند منظوره بوده و اجزای آن از یک جنس و یا قابل تبدیل به یکدیگر نمی‌باشند، نیاز به تبدیل مدل به ساختار قابل حل توسط حل‌گرهای برنامه‌ریز عدد صحیح مختلط می‌باشد. برای این منظور از ساختار ارائه شده در منبع [40] استفاده گردید. این تکنیک با در نظر گرفتن هر تابع هدف به عنوان یک محدودیت و تعریف متغیرهای $d_i^+, d_i^-, e_i^+, e_i^-$ برای آن سعی در مینیمم‌سازی جمع مقادیر این متغیرهای کمکی برای نزدیک شدن هر جزء تابع هدف به آرمان به صورت زیر دارد:

$$Min \sum_{i=1}^{n} [w_i(d_i^+ + d_i^-) + \alpha(e_i^+ + e_i^-)]$$

$$\text{s.t. } f_i(X) - d_i^+ + d_i^- = y_i, i = 1,2,\dots,n$$

$$y_i - e_i^+ + e_i^- = G_{i,min}, i = 1,2,\dots,n$$

$$G_{i,min} \leq y_i \leq G_{i,max}$$

$$d_i^+, d_i^-, e_i^+, e_i^- \geq 0, i = 1,2,\dots,n$$

۵- حل و نتیجه‌گیری

مدل ارائه شده در این تحقیق برای مساله در ابعاد دو نوع تعمیر مکانیکی و برقی با استفاده تابع mip در نرم افزار GAMS در یک کامپیوتر با CPU ۲.۸ و 4 GB RAM در زمان ۱۶ ثانیه حل شد.

تعداد تعمیرکاران نوع اول (برقی) برابر با ۴ ، تعداد تعمیرکاران نوع دوم (مکانیکی) برابر ۸ ، سطح دانش و آگاهی رانندگان برابر ۸۳، کیفیت قطعات یدکی برابر با ۷۶ و مقدار تابع هدف (مجموع توابع هزینه‌ای مدل) برابر با 65438900 تومان در ماه و میانگین زمان انتظار بهینه ۴۸.۵ دقیقه می‌باشد.

با توجه به اینکه مقادیر سطح دانش و آگاهی رانندگان و کیفیت قطعات یدکی تامین کنندگان توسط خود مدل تعیین گردیده و در شرایطی فراخور سازمان ممکن است مقادیر نیاز به افزایش و یا کاهش داشته باشد، در جدول زیر یک تحلیل حساسیت بروی چندین مقدار مختلف از این دو متغیر و تاثیرات آن بروی مقادیر دیگر متغیرها و تابع هدف طی جدول شماره ۱۱ به نمایش گذاشته شده است.

جدول (۱۱): تحلیل حساسیت بروی متغیرهای کیفی مساله

ردیف	سطح دانش و آگاهی	سطح کیفیت تامین کنندگان	تعداد تعمیرکار برقی	تعداد تعمیرکار مکانیکی	تابع هدف	میانگین زمان انتظار
۱	۸۳	۷۶	۴	۸	۶۵۴۳۸۹۰۰	۴۸.۵
۲	۸۸	۷۶	۴	۸	۷۵۲۵۲۱۰۰	۴۶.۵
۳	۹۳	۷۶	۴	۸	۷۶۴۶۰۲۰۰	۴۴.۳
۴	۹۸	۷۶	۴	۹	۸۰۱۲۴۰۰۰	۴۱
۵	۸۳	۸۱	۴	۸	۸۵۶۴۸۰۰۰	۴۸.۵
۶	۸۳	۸۶	۴	۸	۸۸۶۵۲۰۰۰	۴۸.۵
۷	۸۳	۹۱	۴	۸	۹۲۳۲۶۰۰۰	۴۸.۵
۸	۸۳	۹۶	۴	۸	۹۳۵۶۰۰۰۰	۴۸.۴
۹	۷۸	۷۶	۴	۸	۶۴۸۹۰۰۰۰	۵۴.۱
۱۰	۸۳	۷۰	۴	۸	۶۵۷۸۵۰۰۰	۴۹.۶

حل مدل ارائه شده در سه حوزه دارای نتایج کاربردی برای سیستم تعمیرگاهی می باشد:

- **مدیریت منابع انسانی:** تعیین ظرفیت مناسب و استاندارد با هدف کاهش هزینه های منابع انسانی در کنار کاهش بهینه میزان زمان انتظار برای اتوبوس های در صف تعمیر، در کنار تنظیم سطح دانش و آگاهی رانندگان به مدیریت برای تصمیم گیری بهتر در رابطه با ظرفیت‌یابی صحیح منابع انسانی یاری می‌رساند.
- **ظرفیت یابی:** با حل مدل مشخص گردید که تعداد ۴ نفر برای تعمیرات برقی و ۸ نفر برای تعمیرات مکانیکی مورد استفاده قرار گیرد.
- **مدیریت تامین کنندگان:** این مدل در کنار حل مساله تخصیص و ظرفیت یابی منابع انسانی قابلیت در نظر گرفتن محدودیت های مربوطه به مدیریت تامین کنندگان قطعات مورد نیاز تعمیرات با هدف کمینه‌سازی ضایعات، تاخیرات، هزینه های ثابت و متغیر سفارش دهی می باشد.

این پژوهش با بهینه سازی هزینه‌های مدیریت منابع انسانی در کنار فاکتورهای مرتبط با مدیریت تامین کنندگان قطعات مانند کاهش ضایعات، تاخیرات و هزینه‌های سفارش دهی سعی در بهبود عملکرد در عین کاهش هزینه‌های کل سیستم در مجموع دارد که این موضوع بهره‌وری در مجموعه تعمیرگاهی سامانه اتوبوس‌رانی تندرو را بهبود می‌دهد. استخدام نیروی انسانی برای پاسخگویی حداکثری سیستم تعمیرگاهی و جلوگیری از ایجاد وقت بیکاری بیش از حد استاندارد بر پایه مدل ترکیبی برنامه‌ریزی خطی و شبیه سازی باعث کاهش خطای سیستم به حدقل مقدار ممکن خواهد شد.

در نظرگرفتن مجموعه‌ای از سیستم‌های منابع انسانی، تعمیرگاهی، کیفیت مواد و قطعات و ... به صورت یکپارچه و بررسی عملکرد سیستم تعمیرگاهی در محیطی نزدیک به شرایط واقعی از اهداف این پژوهش

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-11]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.11.3]

است. برای این منظور از شاخص‌های کلیدی عملکرد همچون سطح دانش رانندگان و سطح کیفیت قطعات به عنوان ورودی‌های مدل استفاده گردید. جهت نزدیکی جواب‌ها به مقدار واقعی از متوسط داده‌های زمانی مربوط به زمان تعمیر هر قطعه جهت تعیین توابع خرابی و از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی جهت در نظرگرفتن کل سیستم تعمیرگاهی به صورت یکپارچه استفاده شد تا تعداد دقیق و درست تعمیرکاران (منابع انسانی) مورد نیاز در زیرسیستم ترمزی در خط یک اتوبوسرانی تهران استخراج گردد.

برای مطالعات آینده پیشنهاد می‌گردد با توجه به گستردگی حجم موضوع، سایر زیرسیستم‌ها همچون سیستم تعلیق، بخش الکتریکی، موتوری و غیره مورد بررسی و تحلیل قرارگیرند. همچنین سایر خطوط دهگانه سیستم اتوبوسرانی شهر تهران جهت کاهش هزینه‌ها و برنامه‌ریزی درست منابع انسانی می‌توانند مورد توجه قرارگیرند.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-11]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.11.3]

مراجع

[۱] انصاری رنانی، قاسم و سبزی علی آبادی، سارا، **"اولویت بندی عوامل سازمانی موثر در ارتقای بهره وری نیروی انسانی در صنایع کوچک"**، بررسی های بازرگانی، شماره ۳۹، دوره ۷، ۴۹-۶۴.

[2] Meeker, W.Q. and L.A. Escobar, *Statistical methods for reliability data*, John Wiley & Sons, 2014 .

[3] Levinson, H.S., et al., *Bus rapid transit*, Transportation Research Board, 2003.

[4] Deng, T. and J.D. Nelson, *Recent developments in bus rapid transit: a review of the literature.* Transport Reviews, Vol. 31, No. 1, pp. 96-99, 2011.

[5] Chen, X., et al., *Analyzing urban bus service reliability at the stop, route, and network levels.* Transportation research part A: policy and practice, Vol. 43, No. 8, pp. 722-734, 2009.

[6] Bunker, J.M., *Transit line passenger transmission and productiveness under high load conditions: presentation, 2012*.

[7] Johnston, K., L. Ferreira, and J. Bunker, *Using risk analysis to prioritize intelligent transport systems: variable message sign case study in Gold Coast City, Australia*.

[8] Lin, J., P. Wang, and D.T. Barnum, *A quality control framework for bus schedule reliability.* Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 44, No. 6, pp. 1086-1098, 2008.

[9] Tumlin, J., et al. *Performance measures for the urban village transit network.* In the Annual Meeting of Transportation Research Record, 2005.

[10] Savsar, M., *Modeling and simulation of maintenance operations at Kuwait public transport company.* Kuwait Journal of Science, Vol. 40, No. 2, 2013.

[11] Haghani, A. and Y. Shafahi, *Bus maintenance systems and maintenance scheduling: model formulations and solutions.* Transportation research part A: Policy and Practice, Vol. 36, No. 5, pp. 453-482, 2002.

[12] Sterman, B.P. and J.L. Schofer, *Factors affecting reliability of urban bus services.* Journal of Transportation Engineering, Vol. 102, 1976.

[13] Bates, J.W., *Definition of practices for bus transit on-time performance: Preliminary study.* Transportation Research Circular, Vol. 300, 1986.

[14] Strathman, J.G. and J.R. Hopper, *Empirical analysis of bus transit on-time performance.* Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 27, No. 2, pp. 93-100, 1993.

[15] Strathman, J., et al., *Automated bus dispatching, operations control, and service reliability: Baseline analysis.* Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, pp. 28-36, 1999.

[16] Kittelson, et al., *Transit capacity and quality of service manual*, Transportation Research Board, Vol. 100, 2003.

[17] Liu, R. and S. Sinha, *Modelling Urban Bus Service and Passenger Reliability*, 2007.

[18] Benn, H., *Bus route evaluation standards, transit cooperative research program, synthesis of transit practice*, Transportation Research Board, Washington, DC, 1995.

[19] Gershenson, C. and L.A. Pineda, *Why does public transport not arrive on time? The pervasiveness of equal headway instability.* PloS one, Vol. 4, No. 10, pp. 10, 2009.

[20] Vuchic, V.R., *Urban transit: operations, planning, and economics*, 2005.

[21] Leong, L.V., et al., *Sensitivity Analysis of Passenger Volume for Public Bus Services: Case Study of Penang Island, Malaysia.* Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 8, pp. 1193-1204, 2010.

[22] Abkowitz, M.D. and I. Engelstein, *Factors affecting running time on transit routes.* Transportation Research Part A: General, Vol. 17, No. 2, pp. 107-113, 1983.

[23] Abkowitz, M. and I. Engelstein, *Methods for maintaining transit service regularity*, 1984.

[24] Camus, R., G. Longo, and C. Macorini, *Estimation of transit reliability level-of-service based on automatic vehicle location data.* Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, pp.277-286, 2005.

[25] Saberi, M., et al., *Definition and properties of alternative bus service reliability measures at the stop level*, 2013.

[26] Ap. Sorratini, J., R. Liu, and S. Sinha, *Assessing bus transport reliability using micro-simulation*, Transportation Planning and Technology, Vol. 31, No. 3, pp. 303-324, 2008.

[27] Furth, P.G., et al., *Uses of archived AVL-APC data to improve transit performance and management: Review and potentia*l, Transportation Research Board Washington, DC, 2003.

[28] Xin, Y., L. Fu, and F.F. Saccomanno, *Assessing transit level of service along travel corridors: Case study using the transit capacity and quality of service manual*, Transportation research record, pp. 259-267, 2005.

[29] Levitin, G., *Optimal allocation of multi-state elements in linear consecutively connected systems with vulnerable nodes.* European Journal of Operational Research, Vol. 150, No. 2, pp. 406-419, 2003.

[30] Levitin, G., *Protection survivability importance in systems with multilevel protection.* Quality and Reliability Engineering International, Vol. 20, No. 8, pp. 727-738, 2004.

[31] Levitin, G., *Reliability of multi-state systems with common bus performance sharing*, IIE Transactions, Vol. 43, No. 7, pp. 518, 2011.

[32] Fu, L. and Y. Xin, *A new performance index for evaluating transit quality of service*. Journal of public transportation, Vol. 10, No. 3, pp. 4, 2007.

[33] Maze, T. and A.R. Cook, *Theory and practice of transit bus maintenance performance measurement*, 1987.

[34] Yin, Y., W.H. Lam, and M.A. Miller, *A simulation-based reliability assessment approach for congested transit network*, Journal of advanced transportation, Vol. 38, No. 1, pp. 27-44, 2004.

[35] Qizhi, L. and E. Ismutulla, *A Matlab Simulation Method for Evaluation of Travel Time Reliability of Public Transportation System*, Urban Transport of China, Vol.4, pp. 16, 2006.

[36] Turnquist, M.A., *A model for investigating the effects of service frequency and reliability on bus passenger waiting times*, 1978.

[37] Duarte, J.A.C., J.C.T.A. Craveiro, and T.P. Trigo, *Optimization of the preventive maintenance plan of a series components system*, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol. 83, No. 4, pp. 244-248, 2006.

[38] Canto, S.P., *Application of Benders' decomposition to power plant preventive maintenance scheduling*, European journal of operational research, Vol. 148, No. 3, pp. 759-777, 2008.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-11]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.11.3]

[39] Budai, G., D. Huisman, and R. Dekker, *Scheduling preventive railway maintenance activities*, Journal of the Operational Research Society, Vol. 57, No. 9, pp. 1035-1044, 2006.
[40] Chang, C.T. (2007). Multi-choice goal programming. Omega, The International Journal of Management Science, 35, 389-396.

زیرنویس‌ها

[1] Preventive maintenance program
[2] Easy Fit
[3] Punctuality Index based on Routes (PIR)
[4] Deviation Index based on stops (DIS)
[5] Evenness Index based on stops (EIS)

[6] Running Time
[7] Weighted delay index
[8] Levenberg-Marquardt

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-11]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.11.3]