

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 و در این میان، ارتقاء بهره‌وری در سیستم‌های خدماتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین یکی از مسائل بسیار پر اهمیت در سیستم‌های شکست‌پذیر رسیدن به یک سطح مناسب از قابلیت اطمینان برای برآورد رضایت مشتریان و هم‌چنین 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 جمع‌آوری شد و پس از تعیین توزیع هر یک از انواع خرابی به شبیه‌سازی آن در نرم‌افزار ARENA پرداخته شد. برای پیش‌بینی 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.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری، قابلیت اطمینان، عدم قطعیت، نرم‌افزار 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

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 در یک 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، دسترس پذیری 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 نشأت گرفته از یک سری عوامل کیفی مانند سطح دانش رانندگان، کیفیت قطعات مورد استفاده، تعداد مسافران در هر مسیر، برنامه تعمیرات نگهداری پیش‌گیرانه^۱ 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 وسیله 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 شبیه‌سازی به منظور در نظر گرفتن 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 می‌پذیرد به منظور پیاده‌سازی یک سیستم تصمیم‌یار کارآمد باید به برآزش 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 اتوبوس‌های 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 محدودیت‌های 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^۲ 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

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 ۱۹۷۶ جزو 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 پکن کم بوده و 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 از مطالعات 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 و انتظار بیش از حد انجام شده است [۱۲].

بیتس در سال ۱۹۸۶ پژوهشی‌هایی 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 به‌هنگام وجود دارد [۱۳].

استراتمن و هوپر در سال ۱۹۹۳ یک ارزیابی تجربی از عوامل مؤثر بر عملکرد به‌هنگام از سیستم 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 به‌هنگام 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].

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 هر یک 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 محیط‌های 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 کلی تر 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، پیش‌نیازهای

در نهایت یکی دیگر از دسته‌بندی‌های برجسته بررسی سیستم‌های پیچیده (موازی، سری) است. در تعریف این سیستم‌ها در ادبیات موضوع داریم اگر اجزای سیستم چند حالتی 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 حالتی 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 جزء سیستم چند حالتی 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 تندررو نشان می‌دهد که تقریباً هیچ مطالعه‌ای به صورت انحصاری به این موضوع نپرداخته و عمده مطالب موجود با تکیه بر اتوبوس و نه سامانه تندررو 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 رخدادها 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 می‌شود، داده‌های 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.

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 مبدأ، 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 ۱۹۸۴ عوامل مؤثر بر روی زمان راه‌اندازی در مسیرهای حمل‌ونقل و روش‌های حفظ نظم در خدمت‌دهی اتوبوس‌ها را 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 سرمایه‌گذاری که بر بهبود کنترل نسبت به اصلاح شاخصه‌های فعلی تأکید دارد حاصل شود [۲۲، ۲۳].

کاموس 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^۲ را به کار گرفت که در آن میزان تأخیرات، تحمل معطف را در نظر گرفت [۲۴].

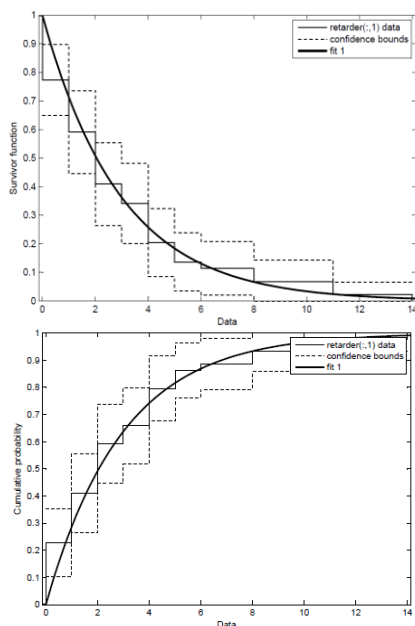
صابری و ذکایی در مقاله‌ای ارزیابی روش‌های اندازه‌گیری قابلیت اطمینان که در راهنمای کیفیت و ظرفیت حمل‌ونقل مسافر ارائه شده و نیز توسعه‌ی روش‌های جدید در سطح ایستگاه اتوبوس را انجام دادند [۲۵].

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 روی روش‌های بهبود قابلیت اطمینان با تنظیم جدول‌های زمان‌بندی با استفاده از نقاط درگیر مطالعه نمودند [۲۵].

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

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

با توجه به استفاده از توزیع های مختلف برای برازش مربوط به خرابی ریتارد در همان طور 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.

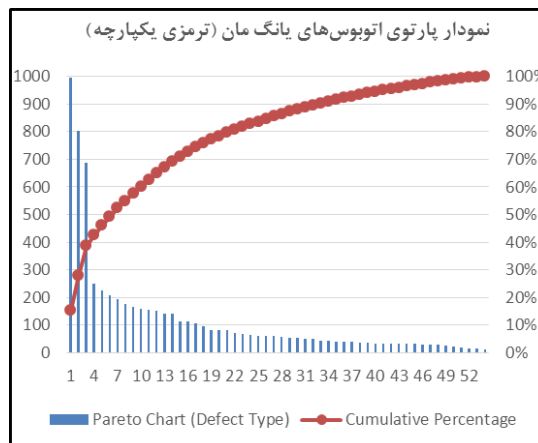


شکل (۳): مشخصات توزیع برازش شده خرابی ریتارد

جدول (۴): مشخصات توزیع برازش شده خرابی ریتارد

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

با توجه به استفاده از توزیع های مختلف برای برازش مربوط به خرابی چراغ ABS همان طور 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.



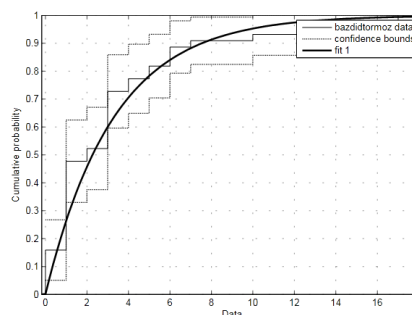
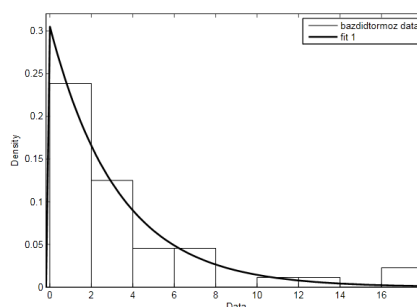
شکل (۱): نمودار پارتوی اتوبوس های یانگ مان (ترمزی یکپارچه)

۳-۲- برازش توزیع زمان تعمیر انواع خرابی های

سیستم ترمزی

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

با توجه به نمودار چگالی رسم شده در شکل (۲) می توان 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.

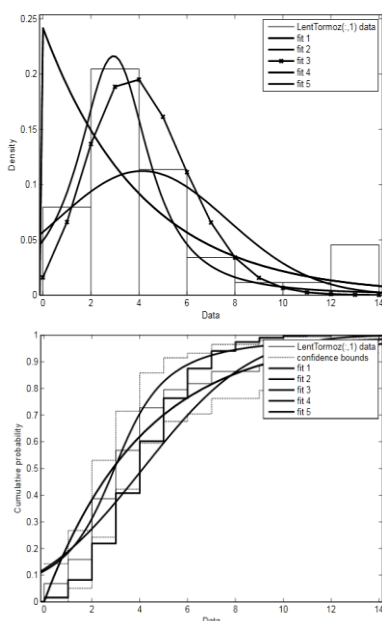


شکل (۲): مشخصات توزیع برازش شده خرابی بازدید کامل ترمز

جدول (۶): مشخصات توزیع برازش شده عیب ABS

| نمایی | نوع توزیع |
|----------|-------------------|
| ۳۹/۸۰۶۴ | حداکثر درست‌نمایی |
| ۰/۹۰۹۹۱ | میانگین |
| ۰/۸۲۶۴۴۶ | واریانس |

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.

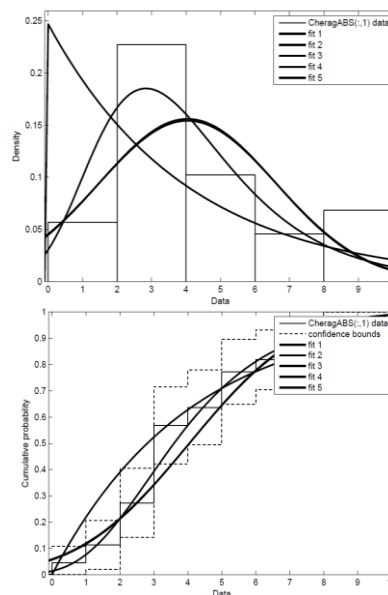


شکل (۶): مشخصات توزیع برازش شده خرابی لنت ترمز

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

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

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

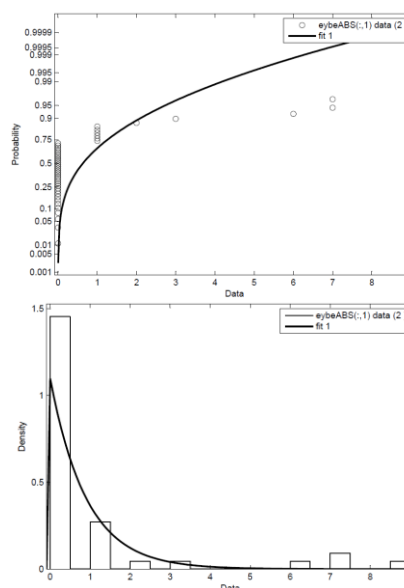


شکل (۴): مشخصات توزیع برازش شده خرابی چراغ ABS

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

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

با توجه به استفاده از توزیع‌های 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.



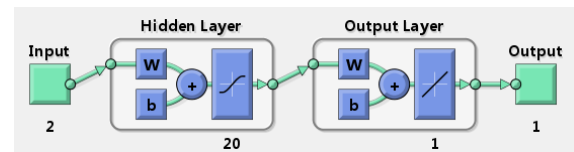
شکل (۵): مشخصات توزیع برازش شده خرابی عیب ABS

۴-۲- برازش تعداد خرابی ها با استفاده از شبکه

عصبی مصنوعی چند لایه

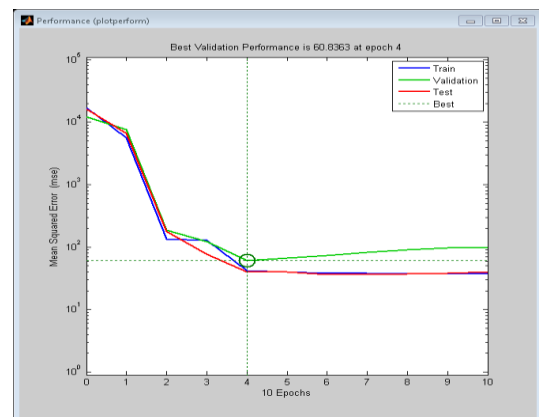
با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی چند لایه در این تحقیق به برازش رابطه‌ی بین تعداد خرابی‌ها و معیارهای سطح دانش رانندگان و سطح کیفی قطعات خواهیم پرداخت. با توجه به این موضوع که پراکندگی داده به گونه‌ای می‌باشد که نمی‌توان توزیع خاصی برای آن در نظر گرفت در نتیجه با توجه به موارد قسمت قبلی نمی‌توان از رگرسیون آماری استفاده نمود و شبکه‌ی عصبی مصنوعی چند لایه بهترین گزینه برای برازش تابع تعداد خرابی می‌باشد. شاید ذکر است با توجه به ماهیت داده‌های 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 داده‌های موجود استفاده شد. ۱۵ درصد باقی داده‌ها برای اعتبارسنجی و مابقی بابت تست مورد استفاده قرار گرفت.



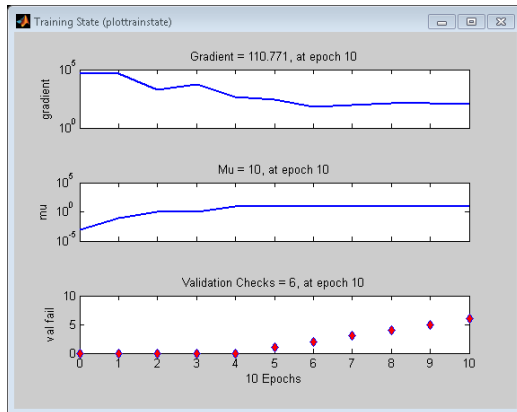
شکل (۹): ساختار شبکه عصبی تخمین تعداد خرابی

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.



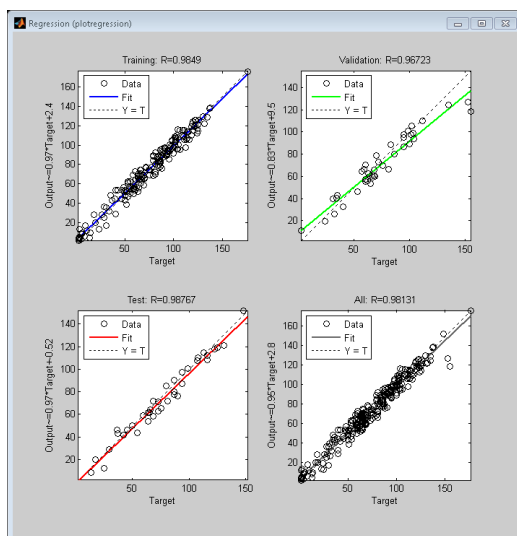
شکل (۱۰): منحنی میانگین مجذور خطا

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 نرم افزار GAMS مقادیر تعداد اپراتور برای تعمیرات برقی و دسته تعمیرات مکانیکی تعیین شد.

۳-۴- مدل برنامه‌ریزی ریاضی

Subject to:

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

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

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

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

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

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

در این قسمت به مدلسازی مساله تحقیق پرداخته خواهد شد:

| | |
|--|-----------|
| مجموعه | نماد |
| انواع خرابی‌ها (مکانیکی، برقی و...): | i عضو R |
| تامین‌کنندگان قطعات: | j عضو S |
| پارامتر | نماد |
| هزینه به کارگیری نیروی انسانی: | f_i |
| هزینه نگهداری قطعات در انبار: | h_i |
| هزینه خرید قطعات از تامین‌کنندگان: | C_{ij} |
| هزینه ثابت سفارش دهی به تامین‌کنندگان قطعات: | O_j |
| نرخ جریمه برای سرمایه راکد: | r |
| جریمه برای زمان انتظار: | w |
| نرخ ضایعات تامین‌کنندگان: | q_{ij} |
| نرخ تاخیرات تامین‌کنندگان: | p_{ij} |
| حداکثر بودجه در دسترس: | U |
| حداقل بودجه در دسترس: | L |
| سطح کیفی قطعات یدکی تامین‌کننده زام | QM_j |
| سطح دانش و آگاهی نیروی انسانی نوع آم | QH_i |
| حداکثر زمان قابل قبول انتظار: | T_{max} |
| یک عدد بسیار بزرگ | $BigM$ |

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 تامین‌کنندگان در نظر گرفته شده است. رابطه (۵) سعی در حداکثر سازی ارزش کیفی منابع انسانی در حوزه دانش و آگاهی از بخش‌های تحصیلات، تجربه و سابقه کار و دوره‌های آموزشی گذارنده می‌باشد. همچنین به دنبال تنظیم صحیح کیفیت قطعات تامین‌کنندگان در حد بهینه می‌باشد. 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 می‌شود. در ابعاد بزرگ نیاز به استفاده از روش‌های ابتکاری می‌باشد). 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 تامین‌کننده در نظر گرفته شده است. در نهایت رابطه (۱۱) متغیرهای مساله و نوع آن در نظر گرفته شده است.

| | |
|---|----------|
| متغیر تصمیم | نماد |
| متغیر عدد صحیح برای تعداد اپراتور برای خرابی نوع i | X_i |
| متغیر صفر و یک برای انتخاب یا عدم انتخاب تامین‌کننده زام برای قطعه i آم | Y_j |
| متغیر عدد صحیح برای میزان تخصیص قطعه آم به تامین‌کننده زام | B_{ij} |

Objective Functions:

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

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

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

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

$$Max G5 = \sum_j Y_j QM_j + \sum_i X_i QH_i \quad (5)$$

۴-۵- حل مدل:

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 ظرفیت یابی صحیح منابع انسانی یاری می رساند.

- **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 کمینه سازی ضایعات، تاخیرات، هزینه های ثابت و متغیر سفارش دهی می باشد.

این پژوهش با بهینه سازی هزینه های مدیریت منابع انسانی در کنار فاکتورهای مرتبط با مدیریت تامین کنندگان قطعات مانند کاهش ضایعات، تاخیرات و هزینه های سفارش دهی سعی در بهبود عملکرد در عین کاهش هزینه های کل سیستم در مجموع دارد که این موضوع بهره وری در مجموعه تعمیرگاهی سامانه اتوبوس رانی تندرو را بهبود می دهد. استخدام نیروی انسانی برای پاسخگویی حداکثری سیستم تعمیرگاهی و جلوگیری از ایجاد وقت بیکاری بیش از حد استاندارد بر پایه مدل ترکیبی برنامه ریزی خطی و شبیه سازی باعث کاهش خطای سیستم به حداقل مقدار ممکن خواهد شد.

در نظر گرفتن مجموعه ای از سیستم های 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

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 نمی باشند، نیاز به تبدیل مدل به ساختار قابل حل توسط حل گرهای برنامه ریز عدد صحیح مختلط می باشد. 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 مینیمم سازی جمع مقادیر این متغیرهای کمکی برای نزدیک شدن هر جزء تابع هدف به آرمان به صورت زیر دارد:

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

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

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

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

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

۵- حل و نتیجه گیری

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 هزینه ای مدل) برابر با 65438900 تومان در ماه و میانگین زمان انتظار بهینه ۴۸.۵ دقیقه می باشد.

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.

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 نظر گرفتن 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 قرار گیرند. همچنین سایر خطوط دهگانه سیستم اتوبوسرانی شهر تهران جهت کاهش هزینه‌ها و برنامه‌ریزی درست منابع انسانی می‌توانند مورد توجه قرار گیرند.

مراجع

- [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 potential*, 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.
- [1] انصاری رنائی، 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 productivity 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] Serman, 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.

- [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.

زیر نویس‌ها

- 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