



Malek-Ashtar  
University of Technology  
Code: EMME16-10108300971  
ID: 830

# Certificate



This is to certify that the following researcher(s):  
**Ali Vaysi ,Abbas Rohani ,Mohammad Tabasizadeh**

Attended and orally presented a paper entitled:  
**Reliability Evaluation of vacuum brake booster in automobiles**

At the 4<sup>th</sup> National & 2<sup>nd</sup> Internatioal Conference on Applied Research in  
**Electrical, Mechanical & Mechatronics Engineering**  
Held by **Malek-Ashtar University of Technology**,  
February ,17,2017, Tehran, Iran.

This paper will be indexed in ISC and CIVILICA data bases.

Dr. A. Jabar Rashidi  
Conference Chairman

Dr. H. Khaleghi  
Scientific Secretary

Dr. M. Mafi  
Executive Secretary



## ارزیابی قابلیت اطمینان بوستر ترمز خلأیی در خودروهای سواری

علی ویسی<sup>۱</sup>، عباس روحانی<sup>۲\*</sup>، محمد طبسی زاده<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

### خلاصه:

امروزه ارتقای سیستم ایمنی در خودروها به منظور کاهش سوانح رانندگی از اهمیت بالایی برخوردار است و سیستم ترمز که مسئولیت ایمنی خودرو را بر عهده دارد در زمره سیستم‌های حساس کنترلی اتومبیل می‌باشد. موضوع اطمینان از عملکرد سیستم ترمز خواسته اصلی تولید کنندگان و استفاده کنندگان از این محصول است و از مهم‌ترین شاخص‌های انتخاب و خرید توسط مشتریان به منظور حفظ کیفیت و عملکرد در سطح بهینه می‌باشد، لذا ارزیابی قابلیت اطمینان نقش مهمی در ارزیابی عملکرد این سیستم دارد. کارکرد هر سیستمی به کارکرد تک تک اجزای آن بستگی دارد و افزایش قابلیت اطمینان یک زیر سیستم موجب افزایش قابلیت اطمینان کل سیستم می‌شود، این تحقیق با هدف ارزیابی و تحلیل قابلیت اطمینان زیر سیستم بوستر ترمز از سیستم ترمز انجام شد که شامل تجزیه و تحلیل آماری بر روی زمان‌های منتهی به خرابی ۱۰۰ عدد بوستر ترمز با استفاده از نرم‌افزار Minitab 17 بر مبنای توزیع ویبول می‌باشد. نتایج نشان داد عمر مورد انتظار، تابع چگالی خرابی، نرخ خرابی و قابلیت اطمینان بوسترهای خلأیی مورد بررسی به ترتیب برابر  $261/51$  روز،  $10^{-3} \times 1/93$ ،  $4/73 \times 10^{-3}$  خرابی در روز و  $0/41$  می‌باشند. دسترس پذیری به عنوان یکی از پارامترهای مهم اثر بخشی تجهیز برای زیر سیستم بوستر در حین حرکت اتوموبیل نزدیک یک بدست آمد. محاسبه این شاخص‌ها برای تغییر و اصلاح در طراحی و ساخت به منظور تولید کالای با کیفیت تر و افزایش اطمینان استفاده کننده از تجهیز خریداری شده ضروری می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** قابلیت اطمینان، بوستر ترمز، سیستم ایمنی، توزیع ویبول، نرخ خرابی، چگالی خرابی.

### ۱. مقدمه

در میان سامانه‌های مهندسی هیچ سیستمی وجود ندارد که اجزاء و ساختار آن به لحاظ طراحی و ساخت به طور صد در صد سالم و بدون نقص باشد. طراحان هیچ‌گاه نمی‌توانند ادعا کنند، سیستمی را که طراحی کرده‌اند می‌تواند وظیفه خودش را بدون شکست در چرخه عمر تعیین شده انجام دهد. به این دلیل است که همواره محدودیت‌هایی در فرایند مهندسی وجود دارد که طراحی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بنابراین طراحی بدون نقص، امکان پذیر نبوده و به لحاظ اقتصادی نشدنی است [1]. در سیستم‌های مهندسی برای به حداقل رساندن تعداد شکست‌ها و احتمال وقوع آن‌ها، طراح باید آگاهی کافی از مکانیزم شکست داشته باشد تا بتواند طراحی مناسب بر اساس محدودیت‌ها و نیازهای فنی ارائه کند. موضوع اطمینان از عملکرد یک محصول یا مجموعه دغدغه ذهنی طراحان، سازندگان و استفاده کنندگان از آن محصول

است. تولید کننده موظف است تولید خود را مطابق با کیفیت مورد انتظار مشتری تولید کند تا مشتری با خاطری آسوده و اطمینان از عملکرد محصول از آن استفاده کند [2]. امروزه هدف اصلی شرکت‌های صنعتی دستیابی به محصولی است که بتواند نیازهای مشتری را برآورده و کمترین هزینه طراحی، ساخت، تولید و کارکرد را داشته باشد [3].

قابلیت اطمینان عبارتست از احتمال اینکه یک سیستم مأموریت محوله اش را برای یک دوره زمانی تحت شرایط عملیاتی مورد استفاده با موفقیت انجام دهد. که به دو صورت احتمالی و قطعی بیان می‌شود. در روش‌های احتمالی موضوع را به روش‌های آمار و احتمالات بررسی می‌کنند، اما در روش قطعی علت شکست و خرابی‌ها مد نظر قرار می‌گیرد [4].

ارزیابی قابلیت اطمینان فرایندی است که در طی آن با توجه به شاخص‌های قابلیت اطمینان، دستیابی سیستم را به قابلیت اطمینان مورد انتظار می‌سنجند و فرایند تصمیم‌گیری را پشتیبانی می‌کند همچنین برآورد قابلیت اطمینان نقش مهمی را در ارزیابی عملکرد هر سیستمی ایفا می‌کند. پیش‌بینی قابلیت اطمینان برای اهداف متفاوتی مانند برنامه ریزی تولید، برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات، ارزیابی قابلیت اطمینان، تشخیص خرابی در فرایند تولید، پیش‌بینی ریسک و

ارزیابی مسئولیت به کار می‌رود [5]. یکی از موضوعات مهم در ارزیابی قابلیت اطمینان یک مجموعه یا محصول آگاهی و شناخت کامل از آن‌ها می‌باشد. لازم است فرایند انجام کار و مدل مهندسی سیستم و مدل چرخه‌ی عمر محصولات آن مجموعه شناسایی شده و متناسب با آن از ابزارهایی مانند بلوک دیاگرام، تحلیل درخت خطا، تخصیص قابلیت اطمینان و ... استفاده نمود. زیرا ارزیابی قابلیت اطمینان در مراحل مختلف عمر یک سیستم و شرایط مهندسی سیستم آن مجموعه

متغیر است، بنابراین لازم است مباحث مهندسی سیستم و به ویژه چرخه عمر آن مورد توجه قرار گیرد [6]. در دنیای صنعتی امروز از سیستم‌های کوچک تا سامانه‌های بزرگ باید به گونه‌ای طراحی و تولید شوند که در مدت زمان مأموریت از قابلیت اطمینان لازم برخوردار باشند. قابلیت اطمینان یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های کیفی قطعات، محصولات و سیستم‌های پیچیده و بزرگ است که مشتریان از تولید کنندگان محصولات انتظار دارند، برای ارزیابی آن از ابزارهای آماری

استفاده می‌کنیم [7]. در کشورهای در حال توسعه که به لحاظ تولیدات صنعتی و ساخت قطعات و ادوات حساس به منظور جایگزینی در موارد خراب شده، در مقایسه با حجم صنعتشان فاصله زیادی تا سقف نیاز صنعت دارند، اجرا و پیاده سازی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان به معنی افزایش ظرفیت تولید ملی بدون سرمایه گذاری جدید است [8]. یک مدل دقیق پیش‌بینی قابلیت اطمینان تنها می‌تواند قابلیت اطمینان و عملکرد عملیاتی سیستم را فرا گیرد و دنبال کند،

همچنین اطلاعات مفیدی را عرضه می‌کند تا مدیران اقداماتی برای بهبود کیفیت سیستم و هزینه‌ها انجام دهند [9]. روش‌های ارزیابی مختلفی در ارتباط با قابلیت اطمینان سیستم‌های چند جزئی وجود دارد. به طور کلی دو روش عمده برای ارزیابی قابلیت اطمینان، روش تحلیلی و روش شبیه‌سازی می‌باشند. اطلاعات قابلیت اطمینان از آزمایش‌های تجربی و اطلاعات ضمن بهره برداری بدست می‌آید. این اطلاعات در مرورهای بعدی در طراحی، با ایجاد حلقه بازگشت اطلاعات و

برای بهسازی قابلیت اطمینان به کار می‌روند. مطالعه روند تغییرات قابلیت اطمینان در یک سیستم در حال کار و گردآوری اطلاعات مناسب، دارای منافع متعددی از قبیل ارزیابی عملکردهای قبلی و کاربرد آن برای پیش‌بینی آینده است. البته پیش‌بینی رفتار آینده یک سیستم در آینده با قطعیت کامل امکان پذیر نیست، اما می‌توان با اتخاذ روش‌های

درست، تحلیل‌های آماری، مدل‌های ریاضی و انتخاب قطعات مناسب، تخمین مناسبی از قابلیت اطمینان یک سیستم با توجه به ماهیت عملکردی آن بدست آورد [10]. در بسیاری از صنایع تولیدی به منظور جذب حداکثری مشتری و رقابت با سایر تولید کننده‌های مشابه، دستیابی به بالاترین سطح کیفیت و قابلیت اطمینان ضروری است. به همین منظور در این میان تنها صنایعی که با توجه به معیارهای استاندارد بین‌المللی عمل کنند و بتوانند بهترین سطح عرضه محصولات را از

جنبه کیفی و کمی به مصرف کنندگان داشته باشند پیروزند [11]. تجزیه و تحلیل پیش‌بینی قابلیت اطمینان به طور فزاینده‌ای برای سازمانها مهم است. یک مدل دقیق پیش‌بینی قابلیت اطمینان نه تنها می‌تواند قابلیت اطمینان و عملکرد عملیاتی سیستم را فراگیرد و دنبال کند، که همچنین اطلاعات مفیدی را عرضه می‌کند تا مدیران اقداماتی برای بهبود

کیفیت سیستم و هزینه‌ها انجام دهند [9]. اسنهاموی و همکاران در سال ۲۰۱۲ برای تخمین قابلیت اطمینان با بکارگیری الگوریتم ژنتیک بر مبنای شبکه عصبی مصنوعی از داده‌های مربوط به زمان منتهی به خرابی کمپرسی‌های حمل و بارگیری در معادن زغال سنگ آلاسکا استفاده کردند همچنین برای مدل سازی قابلیت اطمینان زمان تجمعی منتهی به خرابی را محاسبه کردند، نتایج ثابت کرد که مدل بکارگرفته شده بر مبنای الگوریتم ژنتیک با دقت بالایی ( $R^2=0.94$ ) در پیش بینی خرابی کمپرسی‌های حمل و بارگیری عمل کرد [12]. توسعه و بکارگیری طرح و برنامه موثر قابلیت اطمینان برای دستیابی به سطوح بالای قابلیت اطمینان محصولات یا فرایندها با استفاده از ایجاد چشم انداز استراتژیک قابلیت اطمینان، هدایت به سمت شکاف‌های تجزیه و تحلیل با توجه به محدودیت‌ها و انتخاب روش‌های بالقوه و ابزارهایی که تأثیر بیشتری در رسیدن به سطوح بالاتر قابلیت اطمینان و بهترین کیفیت دارند ضروری است. طبق بررسی‌ها در مرحله‌ای از چرخه عمر که پیاده سازی فعالیت اطمینان از آن آغاز می‌شود بیش از ۴۰٪ از شرکت‌ها برنامه اجرایی قابلیت اطمینان را در مرحله طراحی دقیق و جزئیات آغاز می‌کنند و حدود ۳۰٪ در مرحله طراحی مفهومی، بنابراین حدود ۷۰٪ از شرکت‌ها در مرحله طراحی قابلیت اطمینان را اجرا می‌کنند [13].

یکی از موضوعاتی که همواره در طراحی و ساخت سیستم‌های مهندسی مطرح است نحوه ارزیابی قابلیت اطمینان محصول است. برای ارزیابی و اثبات میزان قابلیت اطمینان محصول باید از آزمون‌های قابلیت اطمینان استفاده شود و برای اطمینان از ایمنی، بررسی رشد قابلیت اطمینان، شناخت حالت‌های خرابی و عوامل ایجاد خرابی و ... متناسب با نیاز اجرا می‌شود. پارک و همکاران در سال ۲۰۰۶ با هدف نشان دادن قابلیت اطمینان موتور پمپ مونتاژ شده در یک مقدار مقرون به صرفه از زمان و در یک راه اقتصادی از آزمون شتاب ( $AT^1$ ) و اندازه‌گیری میزان شکست و متوسط زمان منتهی به خرابی استفاده کردند [14]. داتا و همکاران در سال ۲۰۱۰ با استفاده از داده‌های شکست مربوط به ۲۴ وسیله نقلیه و میزان شکست نت پیشگیرانه و توزیع وایبل قابلیت اطمینان استحکامات جعبه دنده خودرو مونتاژ شده را به دست آوردند و آن را تجزیه و تحلیل کردند. آن‌ها این کار را برای مأموریت ۳۵۰۰۰ و ۴۵۰۰۰ کیلومتر انجام دادند و قابلیت اطمینان به ترتیب ۳۳٫۵٪ و ۱۳٫۷٪ بدست آمد که خیلی کم و غیر قابل قبول است. نتایج نشان داد بعد از استفاده از سیاست‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه مقادیر قابلیت اطمینان به ترتیب ۸۴٫۳٪ و ۷۲٫۹۲٪ محاسبه شد که به ترتیب ۱٫۵ و ۴٫۳ برابر افزایش یافتند [15]. در بررسی که در سال ۲۰۱۵ روی ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های خنک‌کننده موتورهای دیزلی به کار رفته در کمپرسورها انجام گرفت از داده‌های منتهی به خرابی سیستم‌های خنک‌کننده و دو پارامتر توزیع وایبل و روش حد اقل مربعات استفاده شد. همچنین از نرم افزار Minitab 16.1 برای تخمین پارامترها استفاده گردید. نتایج مقادیر قابلیت اطمینان، دسترس پذیری، متوسط زمان بین خرابی‌ها، نرخ خرابی و چگالی خرابی بدست آمد. که این‌ها به طراحی، تولید تجهیزات، تغییر و اصلاح آن‌ها کمک می‌کنند. علت خرابی‌ها در آینده می‌تواند بیش باری موتور، خستگی مواد، سایش و خوردگی باشد. برای افزایش قابلیت اطمینان و کاهش نرخ خرابی‌ها ضروری است که سهم قابلیت اطمینان هر زیر سیستم و نرخ شکست و خرابی آن تخمین زده شود [16]. امروزه ارتقای سیستم ایمنی در خودروها از اهمیت بالایی برخوردار است این در حالی است که ۲۵ درصد تلفات و حوادث رانندگی در ایران مربوط به نقص فنی خودروها است که نیمی از آن به نقص در سامانه‌های ترمز مربوط می‌شود که این مطلب ضرورت بررسی قابلیت اطمینان در سیستم ترمز نشان می‌دهد و اینکه باید برای کاهش سوانح قابلیت اطمینان سیستم ترمز را افزایش داد [17]. سیستم ترمز در زمره سیستم‌های حساس کنترلی اتومبیل می‌باشد. برخی از اجزاء تأثیر قابل توجهی بر روی قابلیت اطمینان سیستم ترمز دارند و با بهبود قابلیت اطمینان این اجزاء می‌توان قابلیت اطمینان سیستم ترمز را به گونه مطلوبی افزایش داد. سیستمی در کار خود موفق است که تمام اجزا وظیفه‌ی خود را به خوبی انجام دهند، اما اگر یک قطعه عملکرد نا مناسب داشته باشد علیرغم کارکرد مناسب سایر قطعات، سیستم به شکست می‌رسد [18]. در زمینه سیستم ترمز مطا

## 1. Accelerated test

لغات و تحقیقات فراوانی در سال‌های اخیر انجام شده که هر کدام به بخشی از آن پرداخته‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعه گردس<sup>۱</sup> و همکارانش در سال ۱۹۹۹ که به بررسی و مدل‌سازی سیستم ترمز پرداختند [19]، مطالعه وو<sup>۲</sup> و همکارانش در سال ۲۰۰۳ بر روی معادلات حاکم بر سیستم ترمز ضد قفل پرداختند [20]، جی<sup>۳</sup> و همکارانش در سال ۲۰۱۰ دینامیک سیستم ترمز را در نرم‌افزار AMESim مدل‌سازی کردند، فورتینا<sup>۴</sup> در سال ۲۰۰۳ با استفاده از نرم‌افزار AMESim رفتار دینامیکی اجزای سیستم ترمز را بررسی و تحلیل کردند، وانگ<sup>۵</sup> و همکارانش در سال ۲۰۱۱ با ساخت یک پایه تست مجهز به چرخ‌های دوار سنگین به عنوان اینرسی معادل خودرو، سیستم مکانیکی ترمز شامل پدال و بخش‌های هیدرولیکی و ... به منظور ایجاد ضرایب اصطکاک مختلف نیاز مدل را به تست جاده ای بر طرف کردند و سایر مطالعاتی که در این زمینه انجام شده، با توجه به اهمیت قابلیت اطمینان که ذکر گردید و با در نظر گرفتن اینکه افزایش قابلیت اطمینان در سیستم‌های مختلف موجب افزایش بهره‌وری، کیفیت و کارایی محصول می‌شود، همچنین می‌دانیم کارکرد هر سیستمی به کارکرد تک تک اجزاء و مجموعه‌های آن بستگی دارد و افزایش قابلیت اطمینان یک زیر سیستم موجب افزایش قابلیت اطمینان کل سیستم می‌شود، لذا در این تحقیق به ارزیابی و تحلیل قابلیت اطمینان بوستر سیستم ترمز و تحلیل حالات خرابی و تأثیر آن بر کل سیستم ترمز می‌پردازیم.

## ۲. مواد و روش‌ها:

با توجه به هدف این تحقیق مبنی بر ارزیابی و تحلیل قابلیت اطمینان بوستر سیستم ترمز ابتدا به طور مختصر خود سیستم ترمز، انواع سیستم‌های ترمز و زیر سیستم بوستر که هدف مورد نظر است شرح داده می‌شود سپس به تشریح قابلیت اطمینان این سیستم و توزیع حالات خرابی آن می‌پردازیم.

### ۲-۱. تشریح سیستم ترمز اتوموبیل

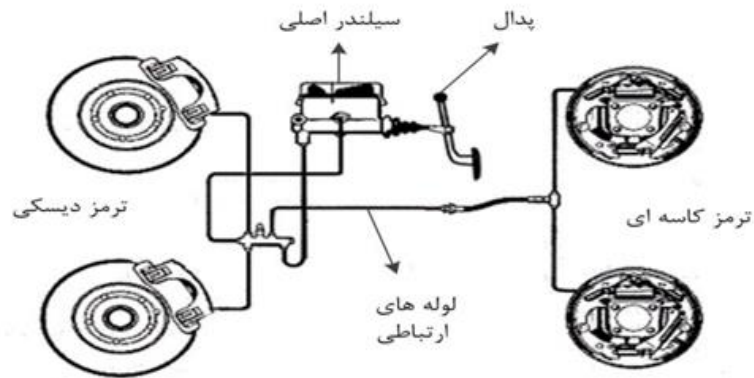
سیستم ترمز به منظور کند کردن حرکت خودرو و یا متوقف کردن آن به کار می‌رود و اساس عمل ترمز عبارتست از فشار دادن یک جسم ثابت روی یک جسم متحرک و در نتیجه ایجاد اصطکاک بین آن دو که حرکت جسم متحرک را کند و یا آن را متوقف می‌کند. سیستم ترمز دارای سه نوع ۱- ترمز هیدرولیکی (ترمز کفشکی (کاسه‌ای) و ترمز دیسکی) ۲- ترمزهای بادی ۳- ترمزهای ضد قفل (ABS) می‌باشد.

### ۲-۱-۱. سیستم ترمز هیدرولیکی:

در بیشتر اتوموبیل‌ها ترمز از نوع پایی هیدرولیکی است که با فشار روغن کار می‌کند. مکانیسم‌های ترمز چرخ بر دو نوع است: کاسه‌ای و دیسکی. در ترمز کاسه‌ای، فشار روغن کفشک‌های ترمز لنت کوبی شده را به یک کاسه چرخان یا کاسه چرخ می‌فشارد. در ترمز دیسکی، فشار روغن لنت ترمزها را به دیسک چرخان می‌فشارد. اصطکاک بین لنت ترمز متصل به کفشک‌های ساکن با کاسه یا دیسک چرخان منشأ عمل ترمزگیری است که سبب کند شدن حرکت یا توقف چرخ‌ها می‌شود و اصطکاک بین لاستیک و سطح جاده سبب کند شدن حرکت یا توقف خودرو می‌شود. ترمزگیری از پدال ترمز آغاز می‌شود، وقتی راننده پدال ترمز را فشار می‌دهد روغن ترمز از پمپ زیر پا وارد لوله‌های روغن می‌شود و به مکانیسم‌های ترمز می‌رسد. با افزایش فشار هیدرولیکی، کفشک‌ها یا لنت ترمزها به کاسه‌ها یا دیسک‌های چرخان

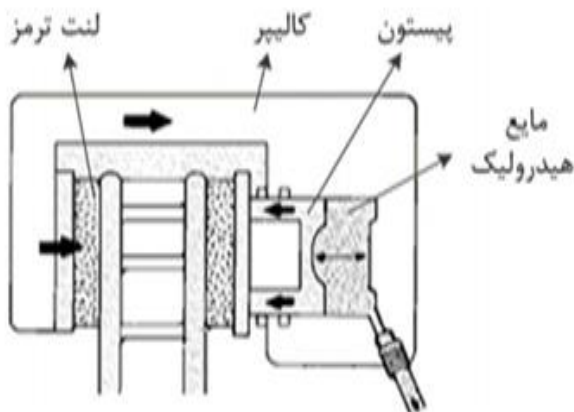
1. Gerdes
2. Wu
3. Ji
4. Fortina
5. Wang

فشرده می‌شوند. اصطکاک حاصل سبب کاهش سرعت یا توقف چرخ و خودرو می‌شود. ترمز هیدرولیکی از یک پمپ اصلی دارای یک سیلندر در که زیر پای راننده است تشکیل شده، ارتباط بین پمپ و سیلندر چرخ‌ها توسط لوله‌های ترمز برقرار می‌شود. داخل هر کاسه چرخ روی طبق در سیستم کفشکی (کاسه ای) و در سیستم دیسکی یک سیلندر و پیستون قرار دارد. اورینگ‌های تشتکی شکل با سیلندر یک حالت آب‌بندی را به وجود می‌آورند [21].

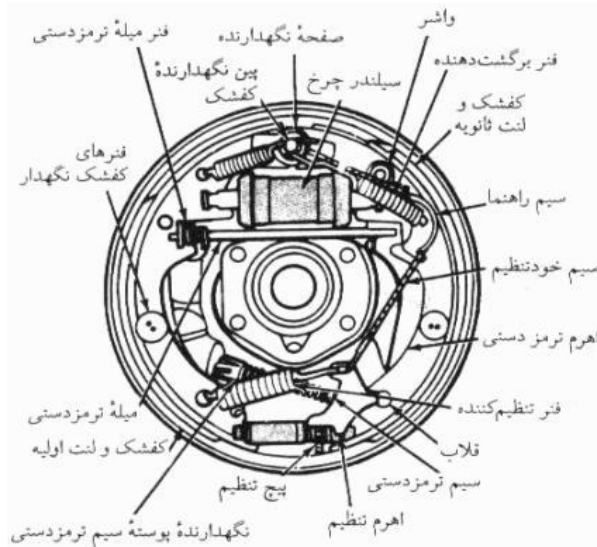


## شکل ۱- مجموعه یک ترمز هیدرولیکی متشکل از ترمز کاسه ای چرخ عقب و دیسکی چرخ جلو

در ترمز کفشکی طرز کار این گونه است که پشت توپی‌های چرخ صفحه ای به نام طبق نصب شده، روی طبق‌ها یک سیلندر به همراه پیستون وجود دارد که وسط دو پیستون، محل ورود روغن و دو اورینگ یا لاستیک تشتکی شکل داخل سیلندر قرار دارد. در دو طرف سیلندر، دو عدد کفشک لنت دار که یک طرف روی پیستون‌ها و طرف دیگر کفشک در پایین روی تکیه‌گاه قرار می‌گیرد، وجود دارد. کفشک‌ها توسط دو فنر قوی و در وسط توسط میله و فنر به طبق متصل می‌باشند. روی این مجموعه کاسه ای قرار دارد که همراه با چرخ به دور کفشک‌ها در حال چرخش می‌باشند. جهت نگه داشتن خودرو کافی است که کفشک‌ها باز شده با کاسه تماس پیدا کرده، کاسه را از حرکت باز دارند که در واقع، عمل ترمزگیری انجام شده است. اما در ترمزهای دیسکی که معمول‌ترین نوع امروزی آن کالیپر شناور تک پیستونی است. طراحی دستگاه ترمز دیسکی به گونه ای است که دو پیستون بزرگ آن که در جلوی لقمه ترمز قرار دارد در دو طرف دیسک قرار می‌گیرند. با فشار آوردن به پمپ ترمز، روغن ارسالی به پشت پیستون‌ها فشار وارد کرده، پیستون‌ها به طرف یک دیگر حرکت می‌کنند و توسط لقمه لنت، دیسک را از حرکت باز می‌دارند و عمل ترمز انجام می‌شود. با رها کردن ترمز، فشار از پشت پیستون‌ها برداشته شده، فنری که روی لقمه‌های ترمز قرار دارد فشار مختصری به لنت وارد کرده و طبق این اصل که هر عمل را عکس‌العملی است، لنت‌ها کمی با دیسک فاصله پیدا می‌کنند و اصطکاک به وجود آمده بین لنت‌ها و دیسک، سرعت دیسک را کاهش می‌دهد.



(ب)



(الف)

شکل ۲- اجزاء ترمز (الف) کفشکی (کاسه ای) (ب) ترمز دیسکی

## ۲-۱-۲. سیستم ترمز ضد قفل (ABS):

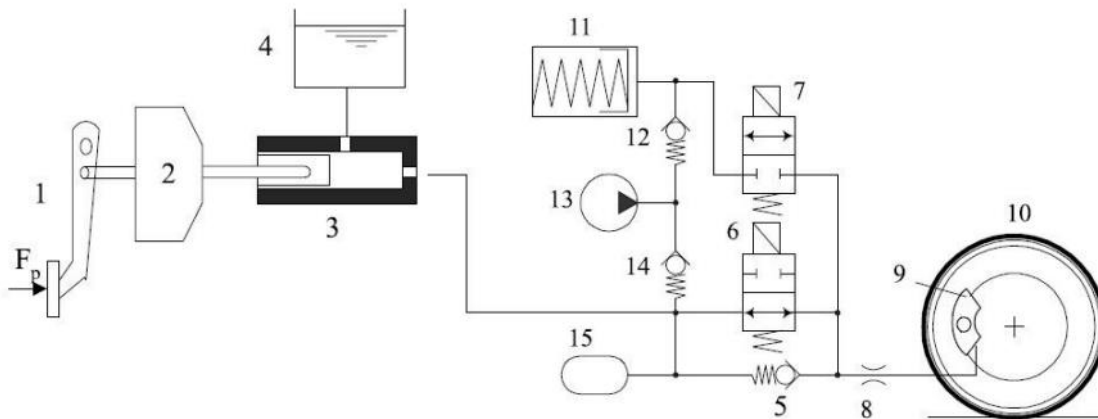
سیستم ترمز ضد قفل به عنوان یک سیستم تکمیلی بر روی ترمز معمولی سوار می شود و همه اجزاء یک مجموعه ترمز معمولی در مجموعه ترمز ضد قفل نیز وجود دارد. هدف سیستم ترمز ضد قفل، حفظ پایداری و قابلیت هدایت خودرو، کاهش فاصله ایستادن، کنترل بهینه ضریب اصطکاک بین چرخ و جاده و کاهش فاصله ایستادن هنگام ترمز های شدید است. ضریب اصطکاک در حالت بیشینه منجر به افزایش فرمان پذیری خودرو در حین ترمز گیری شده و مسافت ترمزی را نیز کاهش می دهد. کنترل کننده ABS همواره سعی می کند با کنترل لغزش چرخ ها، حد اکثر ضریب اصطکاک را بدست آورد [22].

بخش های دیگر سیستم ترمز ضد قفل عبارتند از:

- ❖ واحد کنترل الکترونیکی
- ❖ واحد کنترل هیدرولیکی
- ❖ سنسور دور چرخ

برخی از نکات مهم در طراحی سیستم ترمز ضد قفل عبارتند از: ۱- حفظ قابلیت هدایت خودرو از حداقل کردن فاصله ایستادن مهم تر است. ۲- باید از اصطکاک بین تایر و سطح جاده به طور بهینه کاسته شود. ۳- باید در برابر تغییرات ضریب اصطکاک جاده مقاوم باشد. ۴- در ضریب اصطکاک های متفاوت جاده برای چرخ های دو طرف باید پایداری خودرو حفظ شود و مانع چرخیدن خودرو به دور خود گردد. ۵- باید قابلیت اطمینان تا حد امکان بالا باشد. ۶- اگر در ABS عیبی به وجود آمد باید تا حد امکان رفتار سیستم ایمن باشد و قابلیت هدایت خودرو حفظ شود ۷- نگهداری و تعمیرات با مهارت های کنون باید قابل انجام باشد.

## 1. Antilock Brake System



شکل ۳- شماتیک اجزاء مکانیکی سیستم ترمز ضد قفل [20]

این اجزا مطابق شکل عبارتند از:

- |                     |                       |                    |
|---------------------|-----------------------|--------------------|
| ۱- پدال ترمز        | ۲- بوستر              | ۳- سیلندر اصلی     |
| ۴- مخزن روغن        | ۵- شیر یک طرفه        | ۶- شیر معمولاً باز |
| ۷- شیر معمولاً بسته | ۸- اریفیس             | ۹- کالیپر          |
| ۱۰- مجموعه چرخ      | ۱۱- انباره فشار پایین | ۱۲- شیر یکطرفه     |
| ۱۳- پمپ             | ۱۴- شیر یکطرفه        | ۱۵- میرا کننده     |

عیوبی که در سیستم ترمز ضد قفل اتفاق می افتد می تواند عیوب تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی شامل موتور الکتریکی، سلونوئیدها و سنسورها یا عیوب قطعات مکانیکی شامل پمپ هیدرولیک، شیرهای هیدرولیک، اتصالات و نشتی ها و سیستم لنت ترمز باشد در خودرو هایی مانند سمند، پژو 405 GLX، پژو پارس و پژو 206 سیستم ترمز از نوع هیدرولیکی بوستر دار است. این خودرو ها دارای ترمز دیسکی در چرخ های جلو و ترمز کاسه ای در چرخ های عقب می باشند. در این قسمت سیستم بوستر به طور مختصر شرح داده می شوند:

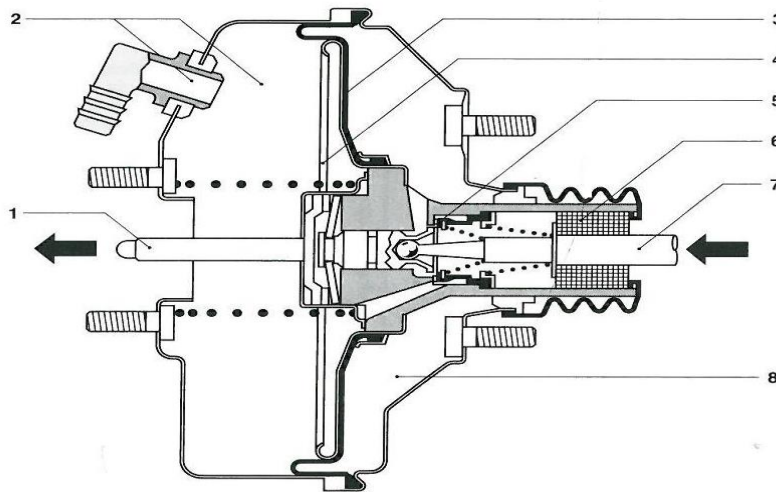
### ۲-۱-۳. زیر سیستم بوستر:

بوستر یا تقویت کننده ترمز به گونه ای طراحی شده که با استفاده تفاوت فشار اتمسفری و خلأ مانیفولد موتور، با حداقل نیرویی که بر پدال ترمز وارد می کنیم یک نیروی ترمزی بیشتری تولید می کند. بوستر بسته به اندازه دیافراگم نیروی پدال را ۲ تا ۴ برابر افزایش می دهد. بوستر ترمز بین پدال ترمز و سیلندر اصلی واقع شده است. هنگامی که به پدال ترمز فشار وارد می کنیم این فشار بر روی دریچه هوای بوستر وارد می شود، سپس این فشار وارد شده بر بوستر به سیلندر اصلی اعمال می شود. در صورت نقص بوستر نیروی معمول مکانیکی سیلندر اصلی نگهداری می شود. بوستر خلأ قوطی فلزی است که شامل یک سوپاپ هوشمندانه و یک دیافراگم است. میله ای که از مرکز قوطی می گذرد از یک سو به پیستون سیلندر اصلی و از سوی دیگر به پدال متصل است. این قطعه نیاز به منبع خلأ دارد تا بتواند کار کند. در خودرو های بنزینی موتور خلأ مناسبی را برای بوستر ایجاد می کند. اگر لوله ای را به محل مناسبی از موتور متصل کنید می توان هوا را به بیرون از محفظه کشید و خلأ نسبی ای ایجاد نمود، این خلأ باعث می شود که با نیروی کم وارده به پدال ترمز بتوان به آسانی ترمز گرفت.



### Vacuum brake booster

1 Push rod (output force to tandem master cylinder), 2 Vacuum chamber with vacuum connection, 3 Diaphragm, 4 Working piston, 5 Double valve, 6 Air filter, 7 Piston rod (pedal force), 8 Working chamber.



شکل ۴ - شماتیک اجزاء مکانیکی بوستر خلأ

ساختار سیستم مورد مطالعه سری - موازی است، در نتیجه سیستم بوستر از تعدادی زیر سیستم تشکیل می‌شود که به صورت سری به یک دیگر متصلند اما ارتباط سیستم بوستر با کل سیستم ترمز یک ارتباط موازی است به این معنی که با از کار افتادن بوستر، عمل ترمز گیری سخت تر می‌شود و نیروی بیشتری برای ترمز گیری نیاز است.

### ۲-۲. بسط روابط قابلیت اطمینان:

باتوجه به این که در روش احتمالی تعیین قابلیت اطمینان، به احتمال موفقیت سیستم در انجام مأموریت محوله اش در شرایط کاردی و بازه زمانی معین، قابلیت اطمینان سیستم می‌گوییم. بنابراین با جمع آوری اطلاعاتی در مورد زمان رخ دادن خرابی‌ها، می‌توان توزیع قابلیت اطمینان را محاسبه نمود. برای محاسبه توزیع کلی قابلیت اطمینان، اگر تعداد کل اعضای سیستم را با  $N_0$  نشان دهیم و  $N_s(t)$  به عنوان تعداد عضوهای سالم و  $N_f(t)$  تعداد عضوهای معیوب شده تا مدت زمان  $t$  باشد. قابلیت اطمینان برابرست با:

$$N_s(t) + N_f(t) = N_0 \quad (1)$$

$$R(t) = \frac{N_s(t)}{N_0} = \frac{N_0 - N_f(t)}{N_0} = 1 - \frac{N_f(t)}{N_0} \quad (2)$$

به طور مشابه تابع توزیع تجمعی احتمال خرابی یا احتمال از کارافتادن تا زمان  $t$  به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$F(t) = \frac{N_f(t)}{N_0} \quad (3)$$

با توجه به رابطه (۲) و (۳)، مجموع احتمال خرابی و سالم بودن برابر یک می‌باشد.

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (4)$$

همچنین تابع چگالی احتمال خرابی  $f(t)$ ، که به صورت مشتق زمانی تابع توزیع تجمعی خرابی تعریف می‌گردد، قابل محاسبه می‌باشد.

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} = \frac{1}{N_0} \frac{dN_f}{dt} \quad (5)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = -\frac{dF(t)}{dt} = -\frac{1}{N_0} \frac{dN_f}{dt} \quad (6)$$

با توجه به رابطه (۵)، رابطه قابلیت اطمینان و تابع توزیع تجمعی احتمال خرابی با تابع چگالی احتمال خرابی به صورت زیر می‌باشند:

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (7)$$

با توجه به رابطه (۴) و (۷) می‌توان قابلیت اطمینان سیستم را با انتگرال گیری از تابع چگالی احتمال از زمان  $t$  تا بینهایت محاسبه کرد.

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (8)$$

تابع دیگری که در ارزیابی قابلیت اطمینان مورد استفاده قرار می‌گیرد، تابع نرخ وقوع خرابی<sup>۱</sup> است. این تابع با نماد  $\lambda(t)$  نشان داده می‌شود و به صورت تعداد از کارافتادن در واحد زمان به تعداد عضوهای در معرض از کارافتادن (عضوهای سالم) محاسبه می‌گردد. تعریف ریاضی تابع نرخ خرابی به صورت رابطه زیر می‌باشد:

$$\lambda(t) = \frac{1}{N_s(t)} \cdot \frac{dN_f(t)}{dt} \quad (9)$$

با توجه به رابطه (۶)، تابع نرخ خرابی را می‌توان برحسب قابلیت اطمینان و تابع چگالی احتمال خرابی به صورت زیر نوشت:

$$\lambda(t) = \frac{1}{N_s(t)} \cdot \frac{dN_f(t)}{dt} = \frac{N_0}{N_0} \cdot \frac{1}{N_s(t)} \cdot \frac{dN_f(t)}{dt} = \frac{N_0}{N_s(t)} \cdot \frac{1}{N_0} \frac{dN_f(t)}{dt} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (10)$$

با استفاده از رابطه (۵)، تابع نرخ خطر برحسب قابلیت اطمینان به صورت زیر بدست می‌آید:

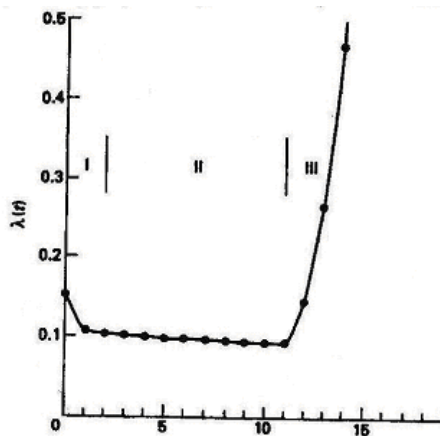
## 1. Hazard rate function

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} \quad (11)$$

با انتگرال گیری از رابطه (۱۱)، می توان قابلیت اطمینان را برحسب تابع نرخ خرابی محاسبه نمود:

$$R(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right) \quad (12)$$

آهنگ تغییرات خطر برای قطعات مکانیکی با زمان تغییر می کند.



شکل (۵): نمودار تغییرات آهنگ وقوع خطر بر حسب سن کارکرد برای قطعات مکانیکی

تمام قطعات مکانیکی در ابتدای شروع به کار به خاطر مشکلات ذاتی نظیر جنس مواد مصرفی و مشکلات تولیدی و... به سرعت دچار سایش می شوند، در نتیجه احتمال از کار افتادن آنها در اوایل کار زیاد است. با گذشت زمان نرخ خرابی تقریباً ثابت می شود و در این مرحله اتفاقات به صورت تصادفی می تواند به دلایل خطای کاربر، مشکلات تعمیر و نگهداری و... باشد. با گذشت زمان و افزایش کارکرد به دلیل پدیده های سایش، خوردگی، خستگی، رشد ترک های اولیه و... در مرحله سوم از عمر قطعه ما افزایش سطح تنش و دوره فرسایش قطعه را داریم.

برای ارزیابی و محاسبه قابلیت اطمینان و همچنین محاسبه عمر قطعات دو روش پارامتریک و ناپارامتریک وجود دارد. در روش پارامتریک که روش این مقاله می باشد یک توزیع احتمالی برای خرابی و از کار افتادگی در نظر گرفته و بر مبنای آن محاسبه می شود و با توجه به رابطه نرخ خطر  $\lambda(t)$  با زمان، توزیع های مختلفی برای قابلیت اطمینان بدست می آید. هرگاه ساختار و یا شرایط عملکرد تغییر کند و یا محصول از سازنده دیگری تهیه گردد، توزیع قابلیت اطمینان تغییر خواهد کرد و احتمال از کار افتادن در زمانهای مورد نظر متفاوت خواهد بود. بنابراین برای ارزیابی قابلیت اطمینان باید از توزیع های آماری استفاده کرد. انواع توزیع های رایج در مدل سازی و ارزیابی قابلیت اطمینان عبارتند از: توزیع نرمال، توزیع لوگ نرمال، توزیع نمایی، توزیع وایبل، توزیع گاما، توزیع مقادیر حدی و توزیع بیرنوم-ساندرز<sup>۱</sup>. با توجه به این که زیر سیستم بوستر با از بین رفتن یکی از قطعاتش هم از کار می افتد لذا در تخمین عمر و ارزیابی قابلیت اطمینان این زیر سیستم از توزیع وایبل استفاده می کنیم.

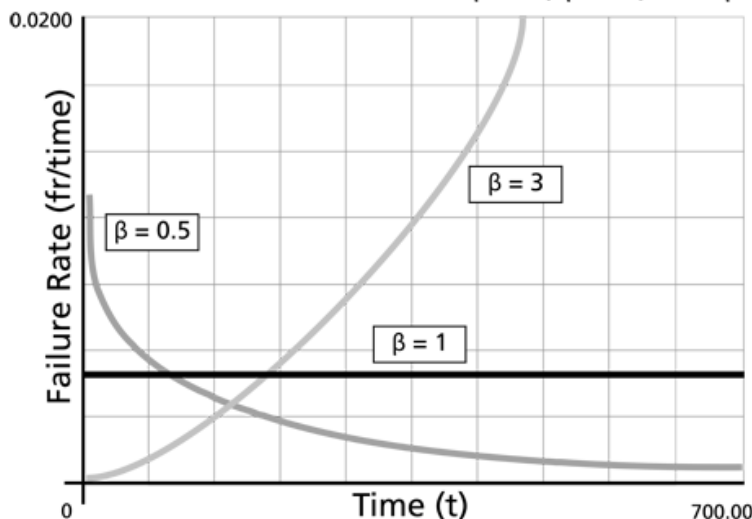
## ۳-۲. توزیع ویبول:

توزیع ویبول یکی از پرکاربردترین، ساده‌ترین و انعطاف‌پذیرترین توزیع احتمالی در تخمین عمر قطعات و اجزاء سیستم می‌باشد. این خاصیت، توزیع ویبول را برای برآزش<sup>۱</sup> انواع داده‌ها مناسب می‌گرداند. این توزیع برای ماشین‌آلات و تجهیزات صنعتی که متشکل از قسمت‌های مختلفی مانند الکتروموتورها، جعبه‌دنده‌ها، اتصالات، بلبرینگ‌ها و ... یا مجموعه‌هایی که شامل اجزاء و قطعات مختلفی است مناسب می‌باشد از این رو از توزیع ویبول در مدل کردن خرابی‌های اجزاء و سیستم‌های صنعتی استفاده می‌شود [2]. تابع ویبول دارای دو پارامتر شکل  $\beta$  و پارامتر مقیاس  $\alpha$  است. پارامتر  $\beta$  شکل توزیع و  $\alpha$  پراکندگی آن را مشخص می‌کند. تابع چگالی احتمال ویبول عبارتست از:

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)t^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad t > 0 \quad (13)$$

به پارامتر مقیاس ( $\alpha$ )، مشخصه عمر نیز می‌گویند، پارامتر مقیاس بر حسب زمان بیان می‌شود. ولی پارامتر شکل ( $\beta$ )، عدد بدون بُعد است. توزیع ویبول فقط برای مقادیر مثبت تعریف می‌شود. لذا به عنوان یک توزیع برای طول عمر سیستمها و تجهیزات مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این توزیع با انتخاب مناسب پارامترها، می‌توان توزیع‌های دیگر را از توزیع ویبول بدست آورد. به عنوان مثال، برای حالت خاص  $\beta = 1$ ، توزیع ویبول تبدیل به توزیع نمایی می‌شود. همچنین برای مقادیر پارامتر شکل، در فاصله  $3 \leq \beta \leq 4$ ، شکل توزیع ویبول به توزیع نرمال نزدیک می‌گردد. نمودار تابع نرخ خطر توزیع ویبول در شکل (۶) نشان داده شده است. برای حالت  $\beta > 1$  با افزایش زمان، نرخ خطر نیز افزایش پیدا می‌کند. در صورتیکه برای حالت  $\beta < 1$  نرخ خطر کاهش پیدا می‌کند و برای حالت  $\beta = 1$  (توزیع نمایی) نرخ خرابی ثابت می‌باشد. علاوه بر موارد ذکر شده برای کاربرد زیاد توزیع ویبول، توانایی توصیف نرخ خطر صعودی و نزولی باعث رواج توزیع ویبول در تجزیه و تحلیل داده‌های طول عمر شده است.

Weibull Failure Rate with  $0 < \beta < 1$ ,  $\beta = 1$ , and  $\beta > 1$



شکل ۶- نمودار تابع نرخ خطر توزیع ویبول

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right]$$

(۱۴) تابع تجمعی خرابی توزیع ویبول

### 1. Fit

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right]$$

(۱۵) قابلیت اطمینان توزیع ویبول

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left( \frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} \quad t > 0$$

(۱۶) نرخ خرابی توزیع ویبول

$$MTTF = \alpha \cdot \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

(۱۷) میانگین عمر توزیع ویبول

با توزیع‌های بیان شده و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به اجزاء، می‌توان تابع قابلیت اطمینان هر جزء را محاسبه نمود. اما برای محاسبه قابلیت اطمینان کل سیستم، نیاز به روابطی برای قابلیت اطمینان کل سیستم براساس چیدمان سیستم‌ها می‌باشد. سامانه‌های مهندسی، مجموعه‌ای از قطعات و اجزاء که در کنار یک دیگر وظیفه مورد نظرشان را انجام می‌دهند. بنابراین یک سیستم ممکن است از بخش‌های مختلفی نظیر سخت‌افزار و نرم‌افزار تشکیل شده یا با نیروی انسانی در ارتباط باشد، که ما در این جا حوزه سخت‌افزار را بررسی می‌کنیم. برای ارزیابی قابلیت اطمینان یک سیستم معمولاً از ابزارهایی استفاده می‌شود:

- ❖ روش بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان<sup>۱</sup>
- ❖ روش تحلیل درخت خطا<sup>۲</sup>
- ❖ روش مبتنی بر منطق بولی<sup>۳</sup>
- ❖ روش حالات بالقوه اثرات خرابی<sup>۴</sup>
- ❖ روش زنجیره مارکوف<sup>۵</sup>
- ❖ روش ارزیابی احتمال ریسک<sup>۶</sup>

در این مقاله صرفاً به تشریح روش‌های بلوک دیاگرام و تحلیل درخت خطا می‌پردازیم.

## ۲-۴. روش بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان:

یکی از مباحث مهم در ارزیابی قابلیت اطمینان یک سیستم، شناخت دقیق و کامل سیستم است که باید ضمن شناسایی دقیق مأموریت و نحوه عملکرد آن، اجزاء آن شناسایی شده و نحوه ارتباط و تعامل آن‌ها نیز مشخص شود. روش بلوک دیاگرام یکی از روش‌های معمول در مدل‌سازی نحوه ارتباط قطعات و اجزاء یک سیستم و اثر خرابی یک جزء در عملکرد یک سیستم است. بلوک دیاگرام نمایشی از چیدمان فیزیکی اجزای یک سیستم است. یک سیستم ممکن است از زیر سیستم‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری تشکیل شده باشد، برای این روش باید نمایش بلوکی درون هر یک از این زیر

1. Reliability Block Diagram Method (RBDM)
2. Fault Tree Analysis (FTA)
3. Boolean Logic Diagram (MLD)
4. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)
5. Markov chains
6. Probabilistic Risk Assessment

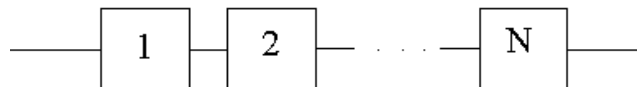
سیستم‌ها ایجاد شود. این بلوک‌ها به صورت سری، موازی یا ترکیبی از سری و موازی و یا پیچیده به یک دیگر رشته شده اند تا نشان دهند که چگونه هر جزء برای موفقیت در سیستم عمل می‌کند. با توجه به نمودار بلوکی و تکنیک‌های متناسب هر چیدمان می‌توان قابلیت اطمینان یک سیستم را محاسبه نمود.



شکل ۷- نمایش بلوکی چیدمان اجزای ترمزهای هیدرولیکی

## ۲-۴-۱. سیستم با ساختار سری:

در حالت سری تمام اجزاء بحرانی هستند، به عبارت دیگر با از کار افتادن یک عضو کل سیستم از کار می‌افتد. برای موفقیت این نوع سیستم‌ها باید تمامی اجزاء در زمان انجام مأموریت با موفقیت کار کنند.



شکل ۸- بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان یک سیستم با ساختار سری

بنابراین قابلیت اطمینان سیستم سری برابرست با احتمال سالم بودن همه قطعات و اجزاء به صورت همزمان. اگر قابلیت اطمینان سیستم را با  $R_s(t)$  نشان دهیم، اگر  $R_1(t)$  قابلیت اطمینان جزء اول،  $R_2(t)$  قابلیت اطمینان جزء دوم، ... و  $R_n(t)$  قابلیت اطمینان جزء n ام در نظر بگیریم آنگاه:

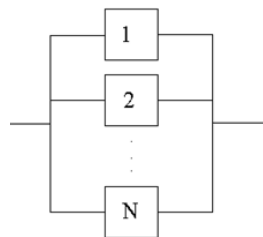
$$R_s(t) = R_1(t) \times R_2(t) \times \dots \times R_n(t) \leq \text{Min} \{R_1(t), R_2(t), \dots, R_n(t)\} \quad (18)$$

بنابراین قابلیت اطمینان یک سیستم سری از کوچکترین قابلیت اطمینان اجزاء بزرگتر نیست. برای افزایش قابلیت اطمینان سیستم باید قابلیت اطمینان تک تک اجزاء افزایش یابد.

## ۲-۴-۲. سیستم با ساختار موازی:

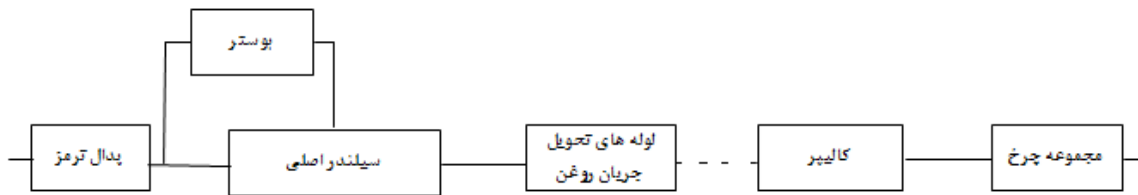
در سیستمی با ساختار موازی، اگر فقط یکی از عضوهای سیستم سالم باشد، سیستم همچنان دارای عملکرد انتظاری خواهد بود. بنابراین فقط زمانیکه کلیه اعضا از کار بیفتند، سیستم از کار باز می‌ماند. در این ساختار موفقیت فقط یک جزء موفقیت کل سیستم را تضمین می‌کند. قابلیت اطمینان سیستم  $R_s(t)$ ، برای n جزء موازی و مستقل از رابطه ذیل بدست می‌آید:

$$R_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R_i(t)] \geq \text{Max} \{R_1(t), R_2(t), \dots, R_n(t)\} \quad (19)$$



شکل ۹- بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان یک سیستم با ساختار موازی

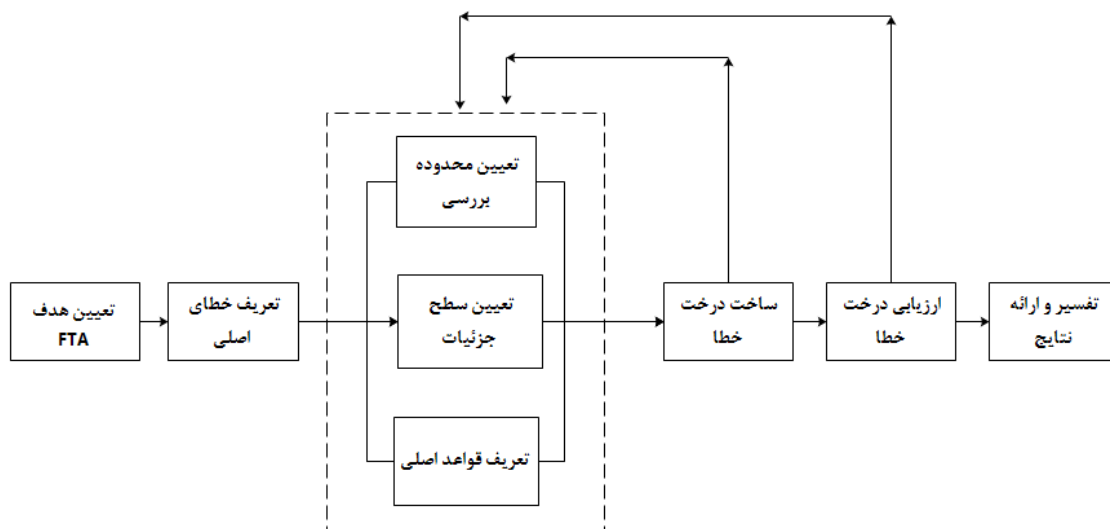
بوستر ترمز نقش تقویت کننده نیروی پای راننده را دارد و به صورت موازی با سیلندر اصلی قرار گرفته است. که در شکل زیر می بینیم:



شکل ۱۰- زیر سیستم بوستر که به صورت موازی با سیلندر اصلی قرار گرفته

## ۵-۲. روش تحلیل درخت خطا:

این روش (FTA) تکنیکی است که برای تحلیل حالت های مجزا بکار می رود و در تحلیل نتیجه این روش مجموعه ای از ترکیبات اجزای ایجاد کننده خرابی به همراه احتمال هر خرابی که موجب خرابی کل ساختار می شوند بررسی می گردند. در این روش شرایط محیطی و عملیاتی که منجر به رخ دادن این شرایط نامطلوب می شود تعیین می گردد. مراحل انجام درخت خطا به ترتیب شامل:



شکل ۱۱- مراحل تحلیل درخت خطا [23].

در بررسی خطا یکبار خطای یک جزء بررسی می شود که علت آن فقط یک جزء و یا قطعه است، یکبار خطای سیستم بررسی می شود که علت ایجاد خطا از یک جزء بیشتر است. مثلاً در تشکیل درخت خطای بوستر ترمز خلأیی ابتدا باید بیابیم شرایطی را که برای درست کارکردن قطعه یا این زیر سیستم قابل پذیرش است را تعریف کنیم، سپس باید مطمئن شویم که خطا در عملکرد بوستر برای هدف این زیر سیستم که تقویت نیروی پای راننده می باشد درست در نظر گرفته شده به گونه ای که پاسخ گوی سوالات طراحی اصلی است و اگر در مورد خطای اصلی مطمئن نیستیم باید آن را کلی تر بیان کنیم. در خطای عملکرد بوستر ما دو دسته بررسی داریم: یک دسته عواملی که از بیرون بوستر بر عملکرد آن تأثیر می گذارند مانند اختلال در مکش موتور، عمل نکردن سوپاپ خلأ، شیلنگ یا لوله های رابط مشکل داشته باشند، قطعه لاستیکی سوپاپ سوراخ باشد و ... دسته‌ی دیگر عواملی که در خود بوستر ایجاد اشکال می کنند یا مرتبط با خود آن است مانند بوستر سوراخ باشد، ممبران یا پرده دیافراگم پاره یا سوراخ شده باشد و ... که این عوامل داخلی و خارجی بر عملکرد سیستم ترمز تأثیرهایی مانند چوب شدن آن، خالی کردن ترمز و ... می گذارد.

## ۲-۶. مطالعه موردی:

این مطالعه با جمع آوری اطلاعات مربوط به زمان خرابی ۱۰۰ عدد بوستر خلأیی در دوره گارانتی مربوط به خودروهای سواری پژو پارس، پژو 405 GLX، پژو 206 از نمایندگی های ایساکو انجام شد. سپس بر اساس کد بوستر، تاریخ تحویل خودرو، تاریخ تعمیر خودرو، کیلومتر کارکرد خودرو و زمان منتهی به خرابی بر حسب روز طبقه بندی می شوند. با توجه به این که مجموعه بوستر از جمله زیر سیستم های تعمیر ناپذیر است یعنی بعد از یک مدتی کارکرد به دلایل مختلف بعد از خراب شدن توسط نمایندگی ها یا تعمیرگاه های ترمز این قطعه تعویض می شود. اگر زمان تعویض در دوره گارانتی باشد که خود ایساکو مسئولیت تعویض را بر عهده می گیرد و به صورت رایگان برای مشتری تعویض می کند در غیر این صورت هزینه قطعه و دستمزد تعویض از مشتری گرفته می شود. سپس ایساکو قطعات معیوب را به ساپکو بر می گرداند و ساپکو مجدداً به شرکت قطعه ساز مربوطه و در آن شرکت بعد از انجام تست های مربوطه که آیا واقعاً قطعه معیوب است یا خیر در صورت معیوب بودن قطعه را می فرستند برای بازیافت. یکی از سوالاتی که طراح یا سازنده باید به آن پاسخ دهد سوال در رابطه با عمر قطعه است. بنابراین تعریف عمر یا میانگین زمان کارکرد تا خرابی که بیانگر عمر مورد انتظار قطعه است باید مشخص شود. که در مهندسی قابلیت اطمینان به کمک رابطه زیر عمر قطعه تعیین می شود [4].

$$MTTF = \int_0^{\infty} tf(t) dt \quad (20)$$

شاخص MTTF برای قطعات تعمیر ناپذیر مثل بوستر تعریف می شود و برای قطعات تعمیرپذیر از واژه متوسط زمان بین خرابی ها استفاده می شود. اگر در فرایند تعمیر یا تعویض، قطعه جدید به طور کامل جایگزین قطعه معیوب شود، این دو واژه معادل هستند.

$$MTBF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (21)$$

که در این رابطه (۲۱) n تعداد بوسترها می باشد  $t_i$  زمان خرابی i ام می باشد بنابراین در این تحقیق :

$$MTBF = \frac{26127}{100} = 261.27 \text{ day}$$

بنابراین میانگین زمان کارکرد تا خرابی که بیانگر عمر مورد انتظار بوستر های مورد بررسی می باشد برابر ۲۶۱/۲۷ روز است. همانطوری که در بالا ذکر شد دلیل استفاده از شاخص MTBF بجای MTTF در این مسئله این است که بعد از خرابی قطعه، قطعه جدید به طور کامل جایگزین قطعه معیوب می شود.

## ۳. نتایج و بحث:

### ۳-۱. دسترس پذیری:

میزان دسترس پذیری احتمال سلامت یک قطعه را در زمانی که فراخوان شده نشان می دهد. در زیر سیستم بوستر دسترس پذیری به معنی این است که راننده هر لحظه در حین رانندگی بخواهد ترمز بگیرد پدال ترمز وظیفه خود را به درستی انجام می دهد و نیروی پای راننده را تقویت می کند و پدال به نرمی پایین می رود. برای تعیین میزان این شاخص در بوستر خلأیی باید دو شاخص  $MTBF$  و  $MTTF$  را در نظر بگیریم، با توجه به این که در زمان خرابی بوستر به طور کامل با یک بوستر جدید تعویض می شود بنابراین این دو شاخص معادل یک دیگر می باشند و دسترس پذیری نزدیک به یک است. دسترس پذیری نزدیک به یک یعنی قطعه بوستر در تمام زمان حرکت اتوموبیل در دسترس است.

1. Availability
2. Mean Time to Failure
3. Mean Time Between Failure



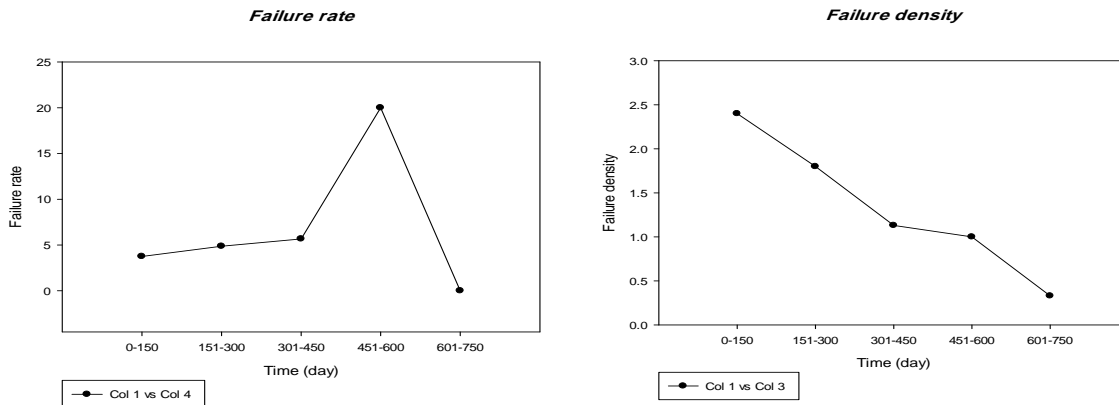
### ۲-۳. تخمین تابع چگالی خرابی، نرخ خرابی و قابلیت اطمینان:

برای تخمین تابع چگالی خرابی  $f(t)$  رابطه بین تعداد خرابی‌ها در بازه زمانی و کل خرابی‌های سیستم را در نظر می‌گیریم. یکی از مهم‌ترین پارامترهای محصول و مشخصات قابلیت اطمینان آن، نرخ است که محصولات مشابه به صورت تابعی از زمان خراب می‌شوند که به آن نرخ خرابی  $\lambda(t)$  گوئیم. تابع قابلیت اطمینان  $R(t)$  ارتباط بین تعداد سیستم‌هایی که تا آخر بازه زمانی خراب نشده‌اند و تعداد کل سیستم‌ها را نشان می‌دهد [24].

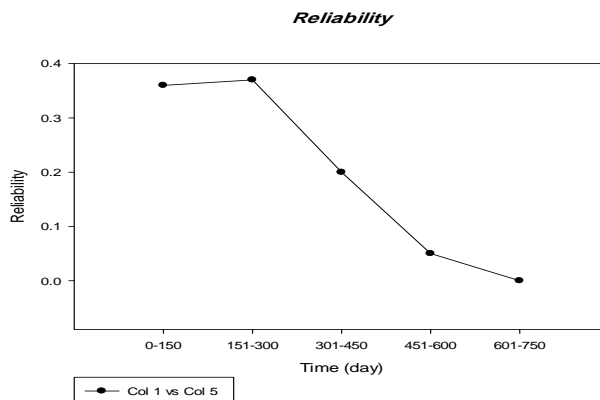
جدول ۱- مقادیر محاسبه شده از توابع آزمایشی

بازه زمانی خرابی‌ها (روز)	تعداد خرابی‌ها	چگالی خرابی $f(t) \times [10^{-3}]$	نرخ خرابی $\lambda(t) \times [10^{-3}]$	قابلیت اطمینان $R(t)$
0-150	36	2.4	3.75	0.36
151-300	27	1.8	4.86	0.37
301-450	17	1.13	5.66	0.2
451-600	15	1	20	0.05
601-750	5	0.33	0	0

شکل‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴ به ترتیب توابع تجربی و آزمایشی مانند چگالی خرابی، نرخ خرابی و قابلیت اطمینان را نشان می‌دهند.



شکل ۱۲- نمودار تابع چگالی خرابی و نرخ خرابی در برابر زمان



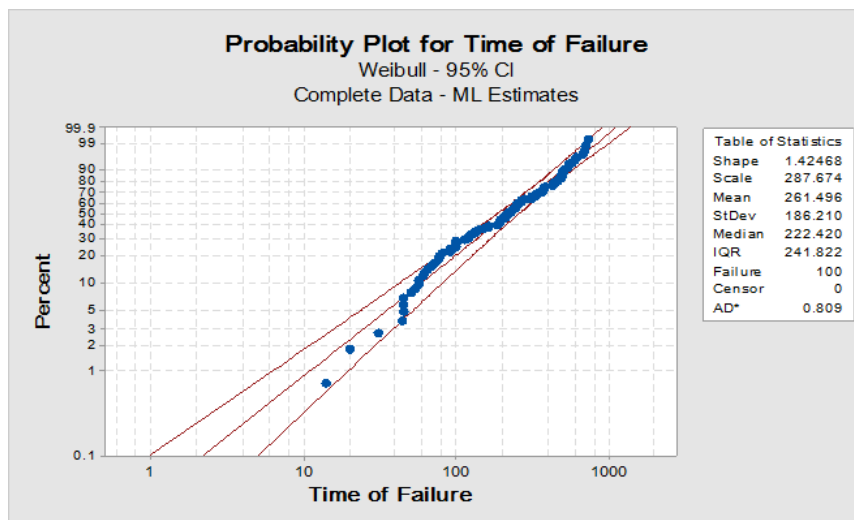
شکل ۱۳- نمودار تابع قابلیت اطمینان در برابر زمان

### ۳-۳. روش پارامترها با استفاده از Minitab :

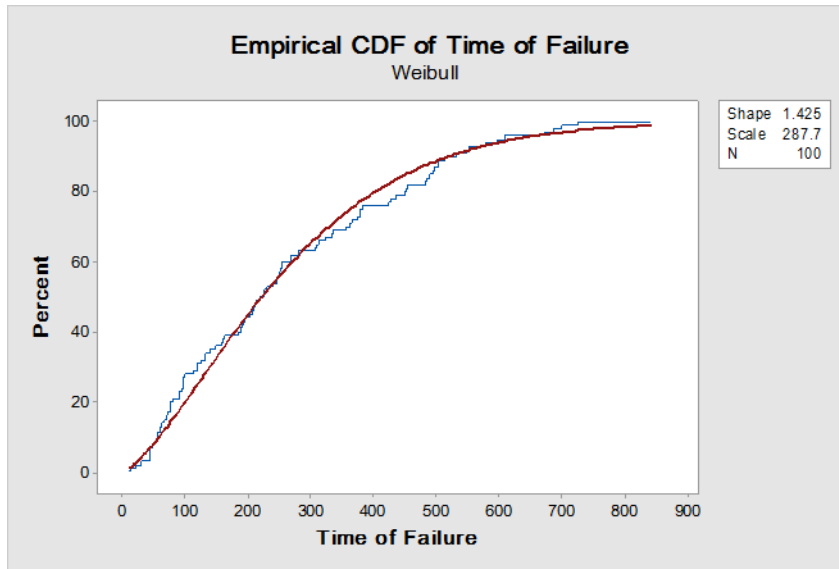
برای تخمین تابع چگالی خرابی، قابلیت اطمینان و نرخ خرابی پارامترهای توزیع ویبول داده‌های خرابی بوستر سیستم ترمز از نرم افزار Minitab 17 استفاده می‌شود. برای مقدار نرخ شکست‌های ثابت که بستگی به زمان ندارد و نرخ شکست ثابت است، نرخ شکست از معادله زیر به دست می‌آید:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{267.27} = 3.74 \times 10^{-3} \quad (22)$$

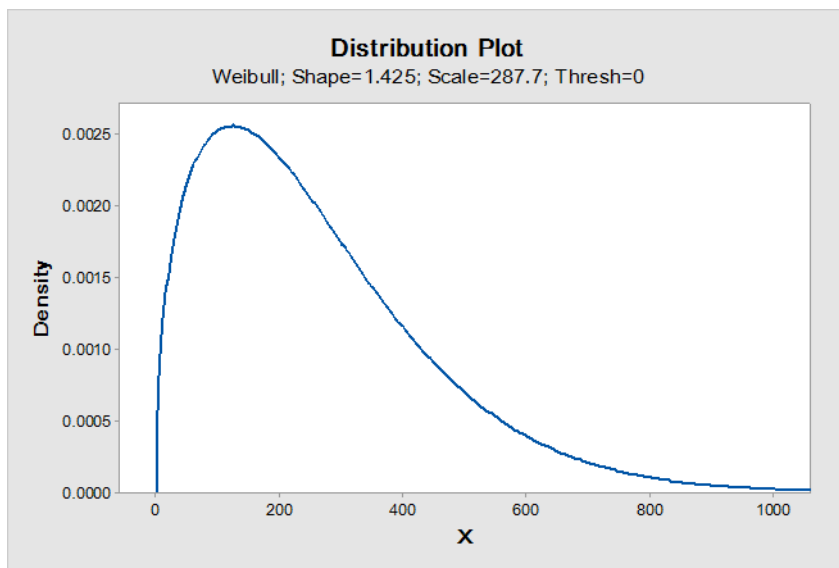
نرخ شکست به دست آمده به طور معنی‌داری پایین‌تر از یک مقدار تجربی و یک مقدار محاسبه شده بر مبنای توزیع ویبول می‌باشد. در روند برآورد خاص قابلیت اطمینان سیستم‌های فنی این معمول است که فرض کنیم میزان شکست ثابت است. در این مورد خرابی‌ها به صورت تصادفی نشان داده می‌شوند و نرخ شکست وابسته به زمان نیست. با توجه به شکل ۱۳ نرخ خرابی به طور مداوم در حال افزایش و قابلیت اطمینان با افزایش زمان کارکرد کاهش می‌یابد، در حقیقت قابلیت اطمینان ذکر شده در زیر سیستم بوستر را به خوبی می‌توان با توزیع ویبول تخمین زد. دلایل خرابی خود زیر سیستم بوستر را می‌توان: بوستر سوراخ‌شده، ممبران یا پرده دیافراگم پاره یا سوراخ‌شده باشد و ... نام برد. عواملی که در خارج از بوستر بر عملکرد آن تأثیر می‌گذارد شامل: اختلال در مکش موتور، عمل نکردن سوپاپ خلأ، شیلنگ یا لوله‌های رابط مشکل‌داشته باشند، قطعه لاستیکی سوپاپ سوراخ‌شده و ... می‌باشد.



شکل ۱۴- نمودار توزیع احتمالی ویبول در سطح ۹۵ درصد



شکل ۱۵- نمودار تابع چگالی تجمعی با توزیع ویبول



شکل ۱۶- نمودار توزیع ویبول

از فرامین تجزیه و تحلیل Minitab برای درک ویژگی‌های عمر محصول یا قطعه استفاده می‌شود. به عنوان مثال تخمین این که یک قطعه چه مدت تحت شرایط متفاوت به فعالیت خودش ادامه می‌دهد. در توزیع ویبول می‌دانیم نوع خرابی تجهیزات و تکرار آن‌ها اثر مستقیمی بر قابلیت اطمینان سیستم دارد. دو پارامتری که توزیع ویبول به آن‌ها نیاز دارد یکی پارامتر مقیاس یا مشخصه عمر ( $\eta$ ) و دیگری پارامتر شکل ( $\beta$ ) می‌باشد. با توجه به شکل ۱۵،  $\beta = 1.424$  بنابراین نرخ خرابی در حال افزایش است. ضریب اندرسون نشان می‌دهد که آیا داده‌ها توزیع خاصی را دنبال می‌کنند و توزیع مناسب توزیعی است که کمترین ضریب اندرسون را داشته باشد.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = E(t) = \gamma + \eta \times \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) = 0 + 287.7 \times \Gamma\left(\frac{1}{1.425} + 1\right) = 287.7 \times \Gamma(1.7) = 261.51 \text{ day}$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{261.51}{287.7}\right)^{1.425}} = 0.41$$

$$\text{Failure rate} = \lambda v(t) = \frac{\beta}{\eta} \times \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} = \frac{1.425}{287.7} \times \left(\frac{261.51}{287.7}\right)^{1.425-1} = 4.73 \times 10^{-3} \text{ Failure/day}$$

$$\text{Failure density} = \frac{\beta}{\eta} \times \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \times e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 0.41 \times 4.73 \times 10^{-3} = 1.93 \times 10^{-3}$$

جدول ۲- مقادیر محاسبه شده از توابع آزمایشی و Minitab

داده ها	زمان خرابی (روز)	قابلیت اطمینان R(t)	نرخ خرابی $\lambda(t) \times [10^{-3}]$	چگالی خرابی f(t) x $[10^{-3}]$
داده های واقعی	MTBF= 261.27	0.36	3.75	2.4
Minitab	E(T)= 261.51	0.41	4.73	1.93

#### ۴. نتیجه گیری:

- ❖ نتایج محاسبات با نرم افزار Minitab نشان داد عمر مورد انتظار، تابع چگالی خرابی، نرخ خرابی و قابلیت اطمینان بوستر های مورد بررسی به ترتیب برابر 261.51 روز،  $1.93 \times 10^{-3}$ ،  $4.73 \times 10^{-3}$ ، 0.41 می باشند.
- ❖ زیر سیستم بوستر ترمز نقش تقویت کننده نیروی پای راننده را دارد و به صورت موازی با سیلندر اصلی قرار گرفته، لذا زمانی که بوستر خراب شود اتومبیل ترمز دارد ولی به نیروی بیشتری برای عمل ترمز گیری نیاز است همچنین به دلیل موازی قرار گرفتن بوستر خلأیی سیستم ترمز از نوع سری - موازی می باشد.
- ❖ شاخص دسترس پذیری به عنوان یکی از پارامترهای مهم در اثر بخشی سیستم می باشد، در بوستر به دلیل این که بعد از خرابی قطعه معیوب به طور کامل با قطعه جدید عوض می شود بنابراین شاخص MTBF معادل MTTF می باشد در نتیجه دسترس پذیری حدوداً برابر یک است.
- ❖ در بررسی درخت خطای بوستر ترمز خلأیی با در نظر گرفتن شرایطی که برای درست کارکردن این زیر سیستم قابل پذیرش است عوامل خرابی به دو دسته عوامل بیرونی و درونی تقسیم می شوند که بر عملکرد سیستم ترمز تأثیرهایی مانند چوب شدن، خالی کردن ترمز و ... می گذارد.
- ❖ برای برازش داده ها در تخمین عمر و قابلیت اطمینان زیر سیستم بوستر بهترین توزیع، توزیع ویبول می باشد که پایین ترین ضریب اندرسون  $AD = 0.809$  را دارد. همچنین  $\beta = 1.42 > 1$  که پارامتر شکل می باشد نشان دهنده افزایش نرخ خرابی یا نرخ خطر با افزایش زمان کارکرد است.

## ۵. مراجع:

- [1] Pecht, M. (Ed.). (2009). *Product reliability, maintainability, and supportability handbook*. CRC Press.
- [2] Bertsche, B. (2008). *Reliability in automotive and mechanical engineering: determination of component and system reliability*. Springer Science & Business Media.
- [3] Dhillon, B. S. (2007). *Applied reliability and quality: fundamentals, methods and procedures*. Springer Science & Business Media.
- [4] Modarres, M., Kaminskiy, M. P., & Krivtsov, V. (2009). *Reliability engineering and risk analysis: a practical guide*. CRC press.
- [5] Zheng, J. (2009). Predicting software reliability with neural network ensembles. *Expert systems with applications*, 36(2), 2116-2122.
- [6] Rodríguez-Borbón, M. I., Rodríguez-Medina, M. A., Rodríguez-Picón, L. A., Alvarado-Iniesta, A., & Sha, N. (2016). Reliability Estimation for Accelerated Life Tests Based on a Cox Proportional Hazard Model with Error Effect. *Quality and Reliability Engineering International*.
- [7] Rao, D., Saraf, R. K., & Kushwaha, H. S. (2005). Uncertainty in Reliability Analysis of Main Control Power Supply System of Nuclear Power Plant: A Fuzzy Approach. *Quality, Reliability and Information Technology: Trends and Future Directions*, 337.
- [8] Yi-Hui, L. (2007). Evolutionary neural network modeling for forecasting the field failure data of repairable systems. *Expert Systems with Applications*, 33(4), 1090-1096.
- [9] Liang, Y. H. 2013. Applying the generalized autoregressive conditional Heteroskedastic model to analyze and forecast the field failure data of repairable systems. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 30(7), 737-750.
- [10] Cavallaro, J. R., & Walker, I. D. (1994). A survey of NASA and military standards on fault tolerance and reliability applied to robotics. In *Conference on Intelligent Robotics in Field, Factory, Service, and Space* (pp. 282-286). NASA.
- [11] Topalović, S. (2015). The Implementation of Total Quality Management in Order to Improve Production Performance and Enhancing the Level of Customer Satisfaction. *Procedia Technology* 19:1016-1022.
- [12] Chatterjee, S., & Bandopadhyay, S. (2012). Reliability estimation using a genetic algorithm-based artificial neural network: An application to a load-haul-dump machine. *Expert Systems with Applications*, 39(12), 10943-10951.
- [13] Carlson, C., Sarakakis, G., Groebel, D. J., & Mettas, A. (2010). Best practices for effective reliability program plans. In *Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), Proceedings-Annual* (pp. 1-7). IEEE.
- [14] Park, S. J., Park, S. D., Kim, K. S., & Cho, J. H. (2006). Reliability evaluation for the pump assembly using an accelerated test. *International journal of pressure vessels and piping*, 83(4), 283-286.
- [15] Dutta, S., Kumar, D., & Kumar, P. (2010). Reliability analysis of defence vehicles gear box assembly under preventive maintenance. *Indian Journal of Science and Technology*, 3(3), 328-331.

[16] Dolas, D. R., & Deshmukh, S. (2015). Reliability Ananalysis of Cooling System of Diesel Engine. *Universal Journal of Mechanical Engineering*, 3(2), 57-62.

[17] عارفیان، م. (۱۳۹۰)، "مدل سازی و طراحی کنترل کننده برای سیستم ترمز ضد قفل"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران.

[18] Fragola, J. R. (1996). Reliability and risk analysis data base development: an historical perspective. *Reliability Engineering & System Safety*, 51(2), 125-136.

[19] Gerdes, J. C., & Hedrick, J. K. (1999). Brake system modeling for simulation and control. *Journal of dynamic systems, measurement, and control*, 121(3), 496-503.

[20] Wu, M. C., & Shih, M. C. (2003). Simulated and experimental study of hydraulic anti-lock braking system using sliding-mode PWM control. *Mechatronics*, 13(4), 331-351.

[21] Walusiak, S., Dziubiński, M., & Pietrzyk, W. (2005). An analysis of hydraulic braking system reliability. *Motrol: motoryzacja i energetyka rolnictwa.*, OL PAN, 5(25), 217-226.

[22] Bakker, E., Pacejka, H. B., & Lidner, L. 1989. *A new tire model with an application in vehicle dynamics studies* (No. 890087). SAE Technical Paper.

[23] Stamatelatos, M. and Vesely, W. (2002), *Fault Tree Handbook with Aerospace Applications*, Ver:1.1, NASA Headquarters Office of Safety and Mission Assurance.

[24] Ebeling, C. E. (2004). *An introduction to reliability and maintainability engineering*. Tata McGraw-Hill Education.