

طراحی تست عمر تسریع شده برای دستگاه تست سیستم انتقال قدرت خودرو بر اساس تحلیل خستگی و داده‌های جاده

عباس سلطانی^{۱*}، میلاد آریان فرد^۲

^۱ ایران، بوئین زهرا، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا، گروه مهندسی صنایع، مکانیک و هوافضا، استادیار

^۲ ایران، تهران، دانشگاه ملی مهارت، گروه مهندسی مکانیک، مربی

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: soltani@bzte.ac.ir

چکیده

در این مقاله، یک الگوریتم آزمون عمر تسریع شده برای سیستم‌های انتقال قدرت خودرو بر اساس تحلیل خستگی و داده‌های واقعی جاده طراحی می‌شود. از آنجا که محورهای متحرک و محرک سیستم‌های انتقال قدرت خودروها بسته به شرایط جاده‌ای، نحوه رانندگی و شرایط ترافیکی و غیره تحت شرایط مختلف بارگذاری قرار می‌گیرند، اجزای محرک و متحرک زنجیره توان، سطوح گشتاور متغیری را تجربه می‌کنند که منجر به آسیب خستگی قطعات می‌شود. به دلیل ارتباطی که بین خرابی‌های میدانی با داده‌های آزمایشگاهی وجود دارد، اگر یک سیکل آزمون که مرتبط با کارکرد میدانی خودرو است، استخراج شود، داده‌های آزمایشگاهی می‌توانند به طور موثر برای آزمون عمر تسریع شده این اجزا مورد استفاده قرار گیرند. به همین منظور در این تحقیق، رویکردی ارائه شده که در آن، تعداد این سیکل‌ها برای شفت ورودی جعبه‌دنده بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده واقعی روی خودرو در شرایط مختلف رانندگی و ترکیب جاده‌های متفاوت و همچنین بهره‌گیری از منحنی سیکل-استحکام خستگی مواد بدست می‌آید. داده‌های جاده‌ای ثبت شده شامل کمیت‌هایی مانند گشتاور موتور، زاویه دریچه گاز و دور موتور می‌باشد. روش ارائه شده، جهت تعیین برنامه آزمون تسریع شده جعبه‌دنده شش سرعت جدید که بر روی خودروی رانا نصب می‌شود، به کار گرفته شده است. طبق نتایج، این جعبه‌دنده می‌بایست به مدت ۲۷۸/۵ ساعت با سرعت زاویه‌ای ۳۰۰۰ دور بر دقیقه و گشتاور ۱۵۰ نیوتن‌متر تحت تست قرار بگیرد.

کلمات کلیدی: عمر؛ تسریع شده؛ خستگی؛ سیکل.

۱- مقدمه

محورهای متحرک و محرک سیستم‌های انتقال قدرت خودروها تحت شرایط مختلف بارگذاری بسته به شرایط جاده‌ای، نحوه رانندگی و شرایط ترافیکی و غیره قرار می‌گیرند. در حین حرکت خودرو، اجزای محرک و متحرک زنجیره توان، سطوح گشتاور متغیری را تجربه می‌کنند که منجر به آسیب خستگی قطعات می‌شود. تست این اجزا و شفت‌ها بر روی دستگاه تست^۱، به منظور تعیین عمر دوام از اهمیت بسزایی در طراحی و توسعه محورها و شفت‌ها برخوردار است؛ زیرا تست در سطح خودرو به دلیل زمان و هزینه بالای آن، محدودیت‌های زیادی خواهد داشت.

¹ Test rig

تدوین سیکل آزمون بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده جاده‌های^۱ روی خودرو در جاده‌ها و بارهای مختلف بدست می‌آید. برای مثال، داده‌های مذکور برای چند صد کیلومتر جاده‌های ترکیبی صاف، خشن و بزرگراه بر حسب گشتاور شفت خروجی گیربکس، گشتاور سرچرخ، دور موتور، دور شفت خروجی گیربکس، دمای روغن گیربکس و غیره جمع‌آوری می‌شوند. این داده‌ها پردازش، تجزیه و تحلیل می‌شوند تا تعداد سیکل‌های سطوح مختلف گشتاور که معادل با کیلومترهای طی شده توسط خودرو در طول جمع‌آوری داده‌ها است، تعیین شود [۲،۱].

معمولاً، پوسته‌های دیفرانسیل برای شدیدترین بارگذاری‌های ممکن، شبیه‌سازی و طراحی می‌شوند و رویکردهایی برای داشتن عمر بی‌نهایت در مقابل این نوع بارها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این امر، باعث طراحی با ضریب اطمینان بالا و افزایش وزن می‌شود. برای مقابله با این مشکل، روشی جهت تحلیل خستگی به منظور تعیین سیکل کاری پوسته دیفرانسیل توسعه داده شده است [۳]. دوام یک محصول به سه عامل اصلی بار، ویژگی‌های سازه‌ای و مواد آن مرتبط است. بنابراین، دوام قطعات یک خودرو نه تنها به خصوصیات سازه‌ای آن بستگی دارد، بلکه به ویژگی‌های دینامیکی بارهای جاده‌ای و خواص خستگی مواد نیز وابسته خواهد بود [۴]. بارهای دینامیکی جاده‌ای اعمال شده به خودرو باعث آسیب خستگی قطعات می‌شود. دوام خودرو در جاده‌ها و مسیرهای تست، بر روی دستگاه تست و یا به طور فزاینده‌ای توسط شبیه‌سازی‌های کامپیوتری تأیید و صحت‌گذاری می‌شود. برای انجام این نوع تجزیه و تحلیل، همواره نیاز به اندازه‌گیری خروجی‌ها و پاسخ‌هایی از خودرو می‌باشد که تأثیر بسزایی در تحلیل دینامیک خودرو دارند [۵].

محققان، یک روش آزمایشگاهی تسریع شده برای برکت جعبه‌دنده سیستم فرمان را با استفاده از آسیب خستگی و همبستگی قابلیت اطمینان با شبیه‌سازی شکست‌های میدانی توسعه دادند. در ابتدا، علل احتمالی شکست برای برکت جعبه‌دنده سیستم فرمان مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سپس داده‌های بار ورودی در جاده‌های مخصوص تست خودرو جهت ارزیابی آسیب خستگی تجمعی روی برکت جعبه‌دنده فرمان بدست آمد [۶]. هنگامی که یک نمونه اولیه سیستم انتقال قدرت خودرو طراحی می‌شود، آزمایش‌های گسترده‌ای به کمک ابزار دقیق و سنسورها باید در جاده مخصوص تست خودرو انجام شود تا تاریخچه زمانی بار برای اجزای مختلف تولید شود [۷]. یک مدل ساده خط رانش خودرو که قادر به شبیه‌سازی چرخه‌های دوام تسریع شده در حین اجرا در جاده‌های مخصوص تست یا دینامومتر می‌باشد، ارائه شد. سپس این نتایج با نتایج شبیه‌سازی چند سیکل رانندگی در دنیای واقعی برای یک دسته خودرو مقایسه شد [۸]. یک برنامه تست تسریع شده برای صحت‌گذاری اجزای دنده فرمان دستی کامیون‌های کوچک بر اساس مشخصات کاربری مشتری، ایجاد شده است. در طول برنامه صحت‌گذاری، مشخص شد که عمر خستگی جعبه‌دنده فرمان به ویژگی‌های سختی شفت جعبه‌دنده بستگی دارد [۹]. در این راستا، مطالعاتی دیگر انجام شد که هدف از آن، طراحی یک برنامه آزمون عمر تسریع شده برای جعبه‌دنده دستی خودرو و بررسی اثرات عوامل کلیدی بر ویژگی‌های دینامیکی زنجیره توان و آسیب خستگی بود. ابتدا، گشتاور موتور و گشتاور شفت خروجی سیستم انتقال قدرت یک خودروی چند محوره با انجام آزمایش بر روی جاده‌های مخصوص تست، اندازه‌گیری شد و بر این اساس، تغییرات بارگذاری زنجیره توان، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت [۱۰-۱۳].

در یک تحقیق دیگر [۱۴] که توسط انجمن پژوهش‌های صنعت خودروسازی هندوستان صورت گرفت، الگوهای رانندگی در یک جامعه گسترده‌ای از هندوستان مورد بررسی قرار گرفت. هدف از آن، تحلیلی گسترده از پارامترهای مؤثر خودرو و زیرسیستم‌های مختلف کاربردی آن، به منظور دستیابی به دستورالعمل‌های لازم در راستای طراحی و توسعه خودرو در بازار هدف بود [۱۴]. در یک مقاله دیگر [۱۵]، تحلیل خرابی قطعات زنجیره توان یک خودروی الکتریکی بر اساس تحلیل فرکانسی سیگنال‌های ارتعاشی و تحلیل خستگی مورد بررسی گرفت. آزمون عمر تسریع شده بر اساس استاندارد بارگیری خودرو^۲، کارلوس، در جاده‌های مختلف، برای طول عمر ۱۶۰۰۰ کیلومتر طراحی شد. همچنین در محاسبات مربوط به گشتاور در دوره‌های مختلف و معادل‌سازی آن در طول عمر کل، ضریب برونیابی یا همان فاکتور افزایشی ضربی^۳، به کار گرفته شد.

بر اساس مرور مطالعات انجام شده، می‌توان دریافت که جهت تعیین قابلیت اطمینان خودروها در فرآیند طراحی، می‌بایست تخمینی از رفتار خودروهای تولید انبوه شده در طول دوره عمر کاری آنها در دست باشد. اما به دلیل آغاز نشدن تولید انبوه خودروها، این می‌تواند یکی از پیچیده‌ترین مشکلات پروژه‌ها باشد. بدست آوردن تاریخچه‌های بارگذاری طولانی‌مدت واقعی از طریق

¹ Road load data (RLD)

² Car Loading Standard (CARLOS)

³ Multiplication Factor (MF)

$$N_2 = \left(\frac{T_1}{T_{target}}\right)^k \times N_1 \quad (1)$$

که در آن، T_1 ، گشتاور شفت ورودی گیربکس متناظر با دور موتور N_1 در داده‌های جاده‌ای خودروی تست، T_{target} گشتاور هدف تست و N_2 ، تعداد سیکل معادل تست تسریع‌شده در آزمایشگاه به ازای اعمال گشتاور هدف تست T_{target} می‌باشد. البته به دلیل محدودیت در انتقال گشتاور از چرخ‌ها به سطح جاده ناشی از لغزش لاستیک‌ها و بالا بودن نسبت دنده ۱، خودروسازان گشتاور موتور را در این دنده محدود می‌کنند. از این رو در این مقاله جهت طراحی سیکل کاری دنده ۱، ۶۰ درصد گشتاور ماکزیمم موتور لحاظ شده است؛ با توجه به اینکه جعبه‌دنده مورد بحث از محصولات شرکت پژو می‌باشد و این شرکت، مانند بسیاری از شرکت‌های خودروسازی دیگر، گشتاور را در دنده‌های سنگین از جمله دنده ۱، محدود می‌کند، در این مقاله نیز گشتاور بر مبنای مستندات شرکت پژو به میزان ۶۰٪ گشتاور دنده‌های دیگر محدود شده است. دلیل این امر، نسبت دنده بالای دنده‌های سنگین و در نتیجه افزایش گشتاور انتقالی به چرخ‌ها به میزانی بیش از ظرفیت انتقال لاستیک‌ها به جاده می‌باشد که خود باعث لغزش چرخ‌ها بر روی جاده می‌شود. بنابراین رابطه (۱) به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$N_2 = \left(\frac{T_1}{0.6 \times T_{target}}\right)^k \times N_1 \quad (2)$$

۳- جمع‌آوری داده‌های جاده‌ای

در این بخش، به جمع‌آوری داده‌های جاده‌ای پرداخته می‌شود. همانطور که در قسمت مقدمه ذکر شد، ابتدا لازم است الگوهای مختلف رانندگی بر روی انواع جاده‌های کشور شناسایی شوند و خودروی تست می‌بایست به دستگاه ثبت‌کننده داده جهت اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌های زاویه دریچه گاز^۲، دور موتور، گشتاور موتور و موقعیت دنده در حین رانندگی مجهز باشد. در این تحقیق، از دستگاه ثبت‌کننده داده به نام وکتور با نرخ نمونه‌گیری ثابت برابر ۲۰۰ هرتز استفاده شده و قابلیت نمونه‌برداری از ۸ کانال به صورت همزمان را دارا می‌باشد. برای تعیین سهم هر یک از جاده‌های مختلف که ترکیبی از بزرگراه (۴۳٪)، جاده روستایی (۱۸٪)، جاده درون‌شهری (۲۹٪)، و جاده کوهستانی (۱۰٪) می‌باشد، مرجع استاندارد بارگیری خودرو، کارلوس [۱۷]، به کار گرفته شده است.

به منظور دریافت اطلاعات جاده‌ای از خودرو ابزارهای مختلفی معرفی شده‌اند. یکی از ابزارهای معتبر در این حوزه، تجهیزات ETAS می‌باشد. این تجهیزات این امکان را می‌دهد که داده‌ها به صورت خودکار اندازه‌گیری شوند. سیگنال‌های ECU، گذرگاه‌ها، شبکه‌ها، حسگرها و ابزارهای اندازه‌گیری در خودرو را ضبط و ثبت می‌کنند. این دستگاه با ETAS INCA، ابزار استاندارد برای اندازه‌گیری، کالیبراسیون ECU و تشخیص، سازگار است. ES820 برای استفاده انعطاف‌پذیر در محفظه مسافر یا صندوق عقب خودرو، در میز آزمایش و در آزمایشگاه‌ها طراحی شده است. چهار ورودی دیجیتال و چهار خروجی دیجیتال از طریق یک کانکتور در دسترس هستند. آنها می‌توانند به عنوان تریگر یا نشانگر (ورودی) عمل کنند و می‌توانند وضعیت یا رویدادهای سیستم (خروجی) را نمایش دهند. در شکل (۲-ب)، خودروی تست که مجهز به دستگاه جمع‌آوری داده‌ها و ثبت آنها است، در حال اجرای تست دیده می‌شود. همچنین در شکل (۲-ج)، تجهیزات تست و نحوه نصب آنها در خودرو مشاهده می‌شود.

اگر عمر خودرو ۱۰۰۰ کیلومتر در نظر گرفته شود، سهم هر یک از انواع جاده، ترکیبی از ۲۹۰ کیلومتر سیکل شهری، ۴۳۰ کیلومتر بزرگراه، جاده روستایی ۱۸۰ کیلومتر و ۱۰۰ کیلومتر جاده کوهستانی خواهد بود. در طول فعالیت جمع‌آوری داده‌های جاده‌ای، اطلاعات واقعی برای کیلومترهای محدود ۱۰۰ کیلومتر در شهر، ۲۰۰ کیلومتر در بزرگراه، ۱۲۰ کیلومتر در جاده روستایی و ۸۰ کیلومتر در کوهستان جمع‌آوری شده است. در این صورت، فاکتور افزایشی ضربی، MF، در شرایط مختلف جاده به صورت زیر، [۱]، محاسبه می‌شود:

$$MF_{City} = \frac{290}{100} = 2.9, \quad MF_{Motorway} = \frac{430}{200} = 2.15, \quad MF_{Rural} = \frac{180}{120} = 1.5, \quad MF_{Mountain} = \frac{100}{80} = 1.25 \quad (3)$$

کل داده‌های سری زمانی مربوط به گشتاور، دور موتور و متغیرهای دیگر سیستم انتقال قدرت در حین راندن خودروی تست ثبت می‌شوند و برای عمر مفید جعبه‌دنده مورد نظر تحقیق که ۲۵۰۰۰۰ کیلومتر است، برون‌یابی می‌شوند.

¹ Data logger

² Throttle

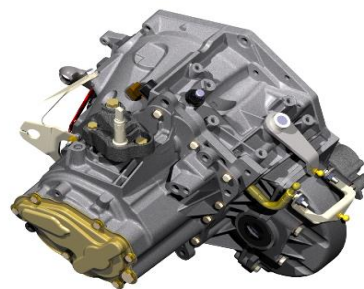
۴- نمودار ستونی گشتاور- دور

نمودار ستونی گشتاور- دور همان نمودار گشتاور بر حسب دور است که از داشتن همزمان دو نمودار گشتاور- زمان و دور- زمان مطابق شکل (۳) و با استفاده از رابطه (۴)، [۲]، بدست می‌آید که در آن، n_i ، تعداد سیکل‌ها در یک سطح گشتاور ثابت و Δt_i بازه‌های زمانی گسسته هستند، [۲]. در این قسمت، برای نمونه جهت محاسبه تعداد سیکل‌ها در یک سطح گشتاور ثابت، از داده‌های تست جمع‌آوری شده جاده‌ای روی خودرو رانا استفاده شده است. نمودار ستونی گشتاور- دور تست در شکل (۴) مشاهده می‌شود.

$$n_i = \sum_{i=1}^m \int_{\Delta t_i} rpm(t) \quad (4)$$



(ب)



(الف)



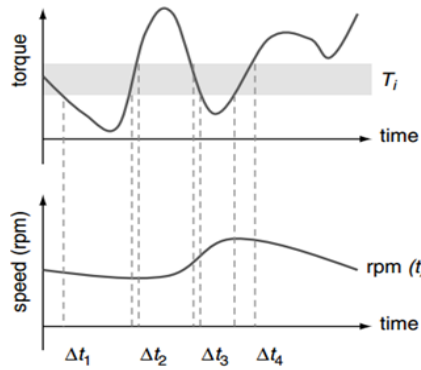
(ج)



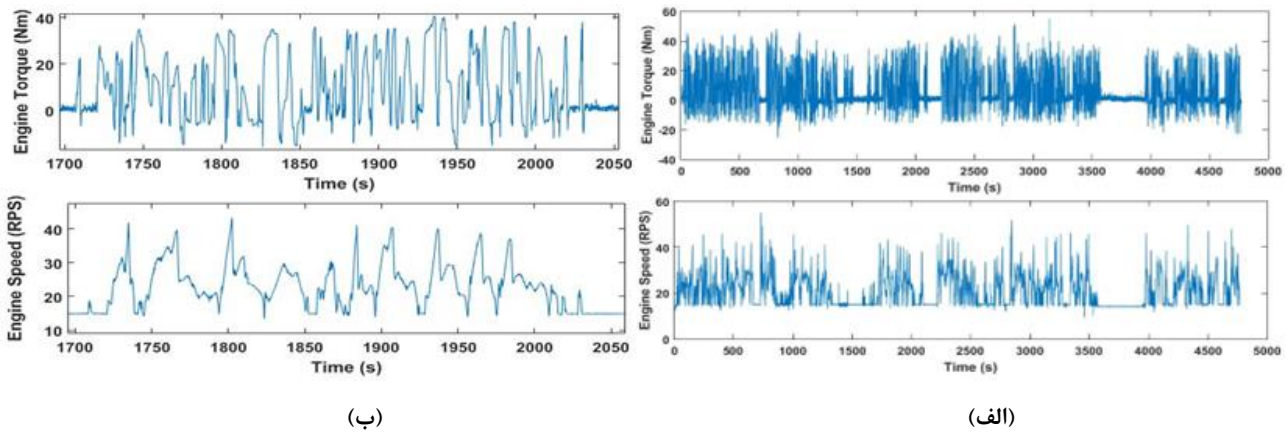
شکل ۲. (الف): یک جعبه دنده ۶ سرعته برای خودروی رانا، (ب): خودروی تست مجهز به ثبت‌کننده داده، (ج): تجهیزات تست و نحوه نصب آنها

۵- تعیین دسته‌های سطوح گشتاور

حال جهت محاسبه n_i (تعداد سیکل‌ها در یک سطح گشتاور ثابت) از یک برنامه کامپیوتری در نرم‌افزار MATLAB، استفاده شده که در آن، مساحت زیر نمودار دور- زمان در دسته‌های مشخص گشتاور با استفاده از نمودار ستونی گشتاور- دور، شکل (۳)، محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است که در این برنامه، گستره تغییرات انتخابی گشتاور، 10 Nm انتخاب شده و بدیهی است نماینده دسته سطح گشتاوری، مقدار میانه آن خواهد بود. به طور مثال برای دسته ۵ تا ۱۵ نیوتن- متر، نماینده این گروه، گشتاور معادل 10 Nm می‌باشد. مجموع سیکل‌ها متناظر با نماینده گشتاور هر دسته، با توجه به داده‌های جاده‌ای خودروی تست روی بزرگراه، جاده‌های درون‌شهری، کوهستانی و روستایی در هر دنده به طور جداگانه دسته‌بندی می‌شوند. سپس باید فاکتورهای افزایشی، MF، که از رابطه (۳) محاسبه شده، در تمام داده‌های جاده‌ای به طور جداگانه برای هر نوع جاده، ضرب شوند. بنابراین داده‌های جاده درون‌شهری، بزرگراه، روستایی و کوهستانی به ترتیب باید در ۲/۹، ۲/۱۵، ۱/۵ و ۱/۲۵ ضرب شوند. سپس از آنجایی که مسافت جاده تست، ۱۰۰۰ کیلومتر در نظر گرفته شده و عمر مفید جعبه‌دنده مورد نظر پژوهش، ۲۵۰۰۰۰ کیلومتر می‌باشد، جهت برون‌یابی، کل داده‌ها پس از اعمال اثر ضریب افزایشی MF، دوباره بایستی در ۲۵۰ ضرب شوند. پس از انجام این مراحل، گشتاور و دور برای هر دنده جداگانه که برابر با مجموع داده‌های متناظر در ترکیب ۴ جاده مختلف است، بدست می‌آیند. به دلیل اینکه کلیه نتایج این محاسبات و جداول مربوطه، فضای بسیار زیادی اشغال می‌کنند و همچنین محدودیت در حجم مقاله، تنها قسمت نهایی نتایج محاسبات دور و گشتاور در جدول (۱) ذکر شده است.



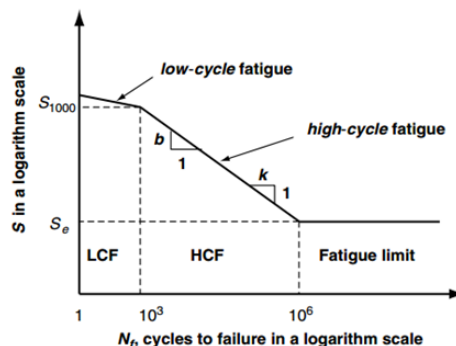
شکل ۳. نمودار ستونی گشتاور- دور



شکل ۴. (الف): نمودارهای توأم گشتاور- زمان و دور- زمان حاصل از داده‌های جاده‌ای خودروی تست ، (ب): بزرگنمایی شکل (الف)

۶- فاکتور تسریع k

فاکتور تسریع k از شیب منحنی سیکل- استحکام مربوط به جنس قطعه مورد بررسی، در نمودار لگاریتمی (هر دو محور لگاریتمی) بدست می‌آید. به این صورت که اگر هر دو محور افقی تعداد سیکل‌ها و عمودی استحکام خستگی، S ، لگاریتمی بوده و شیب منحنی برابر b باشد، فاکتور تسریع k برابر با قرینه معکوس b ، $k = -1/b$ ، خواهد بود. توصیف فاکتور k که بیانگر رابطه بین سطح تنش و تعداد سیکل‌های شکست متناظر با تنش مربوطه می‌باشد، در شکل (۵) نمایان است. در این مقاله، ضریب تسریع k که معادل فاکتور خمش در خستگی جنس فولاد چرخ‌دنده است، برابر ۶ ($k=6$) در نظر گرفته شده است.



شکل ۵. نمودار کلی یک منحنی سیکل- استحکام برای فولادها

۷- تعیین دوره‌های معادل در گشتاور تست

با استفاده از روابط (۱) و (۲) و تعداد سیکل‌ها در سطوح مختلف گشتاور در یک گروه، سیکل‌های معادل در گشتاور هدف تست در گروه مربوطه محاسبه می‌شوند. در این مطالعه، گشتاور هدف تست برابر $T_{target} = 150 \text{ Nm}$ که معادل بیشینه گشتاور موتور می‌باشد،

انتخاب شده است. مجموع سیکل‌های معادل برای گشتاور هدف متناظر با ستون هر دنده جداگانه بر اساس داده‌های جدول (۱)، محاسبه شده و نتایج در جدول (۲) مشاهده می‌شوند. مقدار ساعت تست تسریع‌شده برای هر دنده جداگانه از رابطه (۵) تعیین می‌شود.

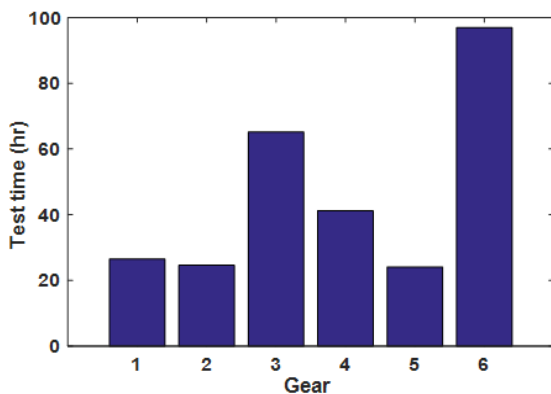
$$Test\ hours = \frac{N_2}{60 \times \omega_{test}} \quad (5)$$

که در آن، ω_{test} سرعت زاویه‌ای تست در حالت اعمال گشتاور هدف بوده که در این تحقیق، برابر 3000 rpm در نظر گرفته شده است. N_2 نیز مجموع دورهای کامل معادل در هر دنده می‌باشد که در جدول (۲) بیان شده‌اند. نتایج محاسبه ساعات تست تسریع‌شده برای هر دنده جداگانه را می‌توان در این جدول و نیز در نمودار ستونی شکل (۶) مشاهده نمود.

جدول ۱. گشتاور و دور در مجموع ۴ جاده مختلف در دنده ۱ تا ۶

چرخش شفت ورودی جعبه‌دنده (دور کامل)						گشتاور موتور (Nm)
دنده ۶	دنده ۵	دنده ۴	دنده ۳	دنده ۲	دنده ۱	
۲۸۷۴۶	۴۲۸۹۰	۴۹۷۵۴	۲۳۰/۲۴	۲۸۵۵/۳	۰	-۵۰
۳۷۴۷/۵	۱۱۴۹۹۰	۱۳۰۶۰۰	۱۷۳۳۱	۷۰۶۶۲	۷۸/۴۱	-۴۰
۲۹۷۸۳	۴۸۱۵۷۰	۱۰۱۰۳۰۰	۵۴۶۹۹۰	۶۳۱۰۲۰	۱۰۸۵/۹	-۳۰
۱۶۶۵۱۰	۱۲۳۹۹۰۰	۲۱۳۶۷۰۰	۵۱۹۱۱۰۰	۴۷۷۹۰۰۰	۶۲۹۱۵	-۲۰
۲۶۰۸۷۰	۱۵۱۳۷۰۰	۴۲۲۷۴۰۰	۱۳۰۷۰۰۰۰	۱۸۳۱۸۰۰۰	۲۱۲۲۳۰۰	-۱۰
۱۱۲۳۹۰۰۰۰	۱۵۰۶۳۰۰۰۰	۳۴۶۲۸۰۰۰۰	۶۳۸۶۲۰۰۰۰	۳۹۴۷۵۰۰۰۰	۶۳۹۱۹۰۰۰۰	۰
۵۴۹۵۰۰۰۰	۵۵۸۹۲۰۰۰	۱۷۲۲۹۰۰۰۰	۵۲۴۹۶۰۰۰۰	۶۳۴۷۵۰۰۰۰	۵۵۴۹۶۰۰۰۰	۱۰
۱۱۱۳۳۰۰۰۰	۵۱۳۱۴۰۰۰	۱۲۷۲۰۰۰۰۰	۳۵۷۱۷۰۰۰۰	۲۶۹۷۳۰۰۰۰	۲۴۴۹۹۰۰۰۰	۲۰
۲۴۵۹۰۰۰۰۰	۵۹۳۹۵۰۰۰	۱۰۴۶۵۰۰۰۰	۲۰۹۸۸۰۰۰۰	۱۹۹۹۰۰۰۰۰	۱۶۸۰۷۰۰۰۰	۳۰
۲۵۱۵۶۰۰۰۰	۴۱۰۵۶۰۰۰	۵۶۷۰۲۰۰۰	۱۴۱۹۷۰۰۰۰	۱۸۱۸۹۰۰۰۰	۸۱۰۲۶۰۰۰	۴۰
۱۶۶۸۳۰۰۰۰	۲۸۴۳۳۰۰۰	۵۰۹۰۷۰۰۰	۱۱۳۰۴۰۰۰۰	۱۱۵۴۳۰۰۰۰	۲۶۳۷۰۰۰۰	۵۰
۱۸۹۳۸۰۰۰۰	۱۹۶۹۸۰۰۰	۳۴۹۳۶۰۰۰	۵۷۰۲۷۰۰۰	۶۰۵۴۳۰۰۰۰	۱۶۴۰۷۰۰۰	۶۰
۱۲۱۸۰۰۰۰۰	۹۳۹۷۸۰۰	۲۱۴۸۵۰۰۰	۳۶۰۸۳۰۰۰	۴۴۹۲۵۰۰۰	۶۳۳۱۴۰۰	۷۰
۱۹۶۴۶۰۰۰۰	۱۰۶۸۵۰۰۰	۲۰۵۹۲۰۰۰	۳۷۳۰۲۰۰۰	۴۷۴۶۱۰۰۰	۴۳۴۷۱۰	۸۰
۱۸۶۷۴۰۰۰۰	۲۷۴۵۴۰۰۰	۳۸۵۰۹۰۰۰	۶۳۵۶۲۰۰۰	۳۸۶۳۳۰۰۰	۴۵۰۴۶	۹۰
۲۷۴۲۰۰۰۰	۲۷۹۵۰۰۰۰	۵۱۷۶۵۰۰۰	۷۷۹۱۱۰۰۰	۶۳۵۱۱۰۰	۳۰۹۲/۹	۱۰۰
۶۱۰۳۶۰	۷۴۶۴۳۰	۱۶۱۲۶۰۰	۱۱۲۴۲۰۰	۱۳۸۵۷۰	۱۸۹/۷۴	۱۱۰
۲۰۸۷۴	۵۱۷۴/۴	۱۰۰۳۰	۱۳۸۲۴۰	۱۰۲۵۸	۰	۱۲۰
۲۲۴۴/۳	۰	۶۶۰/۶	۴۱۵۵۸	۷۶۶/۶۳	۰	۱۳۰
۰	۰	۳۵۵/۸	۱۱۰۵۱	۶۰۳/۶۶	۰	۱۴۰
۰	۰	۷۷۶۲/۲	۱۶۵۲/۵	۱۳۳/۴۶	۰	۱۵۰

جدول ۲. برنامه نهایی تست برای جعبه‌دنده ۶ سرعته



شماره دنده	گشتاور تست در شفت ورودی (Nm)	دوره‌های کامل معادل برای ۲۵۰۰۰۰ کیلومتر تست	ساعات تست
۱	۹۰	۴۷۶۸۹۰۰	۲۶/۵
۲	۱۵۰	۴۴۲۷۶۰۰	۲۴/۶
۳	۱۵۰	۱۱۷۳۰۰۰۰	۶۵/۱۶
۴	۱۵۰	۷۴۱۳۶۰۰	۴۱/۱۸
۵	۱۵۰	۴۳۳۳۸۰۰	۲۴/۰۸
۶	۱۵۰	۱۷۴۵۳۰۰۰	۹۶/۹۶
مجموع ساعات تست			۲۷۸/۴۸

شکل ۶. نمودار میله‌ای ساعات تست عمر تسریع‌شده برای دنده‌های مختلف

۸- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک الگوریتم تست عمر تسریع‌شده برای دستگاه تست جعبه‌دنده خودرو بر اساس تحلیل خستگی و داده‌های واقعی جاده طراحی شد. در این تحقیق، رویکردی ارائه شد که در آن، تعداد سیکل‌های تست عمر تسریع‌شده برای شفت ورودی جعبه‌دنده شش سرعته جدید که بر روی خودروی رانا نصب می‌شود، به کار گرفته شد. این الگوریتم بر اساس داده‌های جمع‌آوری‌شده واقعی روی خودرو در شرایط مختلف رانندگی و ترکیب جاده‌های متفاوت و همچنین بهره‌گیری از منحنی سیکل-استحکام خستگی مواد بدست آمد. داده‌های جاده‌ای ثبت‌شده شامل کمیت‌هایی مانند گشتاور موتور، زاویه دریچه گاز، دور موتور در دنده‌های مختلف می‌باشد. رویکرد طراحی‌شده در این مطالعه، روشی کارآمد جهت تعیین تعداد سیکل‌های کاری شفت‌ها و اجزای دورانی زنجیره توان خودروها قبل از بروز شکست در آنها محسوب می‌شود. در نهایت، برنامه تست عمر تسریع‌شده برای جعبه‌دنده ۶ سرعته به این نتیجه انجامید که جعبه‌دنده مورد نظر در آزمایشگاه تست عمر می‌بایست به مدت ۲۷۸/۵ ساعت با سرعت زاویه‌ای ۳۰۰۰ دور بر دقیقه و گشتاور ۱۵۰ نیوتن‌متر تحت تست قرار بگیرد.

مراجع

1. S. Mohire, P. Kathale, M. Chaskar, V. Tendulkar, "Development of Accelerated Life Test Schedule for Rig Testing of Live Axles Based on Road Load Data and Its Correlation with Field", *SAE Technical Paper*, April 3 (2018).
2. YL. Lee YL, *Fatigue testing and analysis: theory and practice*, Butterworth-Heinemann, 2005.
3. SN. Reddy, VH. Yadav, "Duty Cycle Fatigue Simulation for Differential Casing", *SAE Technical Paper*, April 16 (2012).
4. H. Su, "A road load data processing technique for durability optimization of automotive products", *SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems* 1, 244-259 (2014).
5. MR. Saraf, "Measurement of Road Profile and Study its Effect on Vehicle Durability and Ride", *SAE Technical Paper*, January 21(2009).
6. NO. Karthikeyan, RD. Kumar, VS. Chandra, V. Murali, "Accelerated lab test methodology for steering gearbox bracket using fatigue damage and reliability correlation", *SAE International Journal of Commercial Vehicles* 10, 18-25 (2017).
7. B. Joseph, P. Attibele, YL. Lee, S. Haq, "A PG-based powertrain model to generate component loads for fatigue reliability testing", *SAE Technical Paper*, March 3 (2003).
8. P. Attibele, S. Makam, Y. Lee, "A Comparison of Real World and Accelerated Powertrain Endurance Cycles for Light-Duty Vehicles", *Innovative Automotive Transmissions, Hybrid and Electric Drives*, May:13-16 (2013).
9. HS. Babu, SR. Salunkhe, "Accelerated Life Test to Predict Fatigue Life of Small Manual Steering Gearbox", *Report*, 0148-7191 (2006).
10. J. Bai, X. Wu, F. Gao, H. Li, "Analysis of powertrain loading dynamic characteristics and the effects on fatigue damage", *Applied Sciences* 7(10), 1027 (2017).
11. G. Wilmerding, J. Häckh, A. Berthold, "Driving cycle, load and fatigue life predictions based on measured route data", *SAE Technical Paper*, October 1 (2001).
12. S. Shih, S. Kuan, D. Eschenburg, "Considerations in the development of durability specifications for vehicle drive train component test", *SAE transactions*, January 1, 450-460, (2003).
13. HE. Kim, DS. Kim, YP. Lee, YC. Yoo, "Accelerated Life Testing Method of Transmission", *Key Engineering Materials* 326, 1865-1868 (2006).
14. MS. Jambhale, VA. Manel, JG. Kale, MR. Saraf, "Vehicle Response and Real-World Driving Pattern for Indian Scenario for Vehicle Development and Optimization Program", *SAE Technical Paper*, January 9 (2013).
15. DH. Jung, A. Gafurov, "Reliability achievement of the driving system parts through development of vibration-fatigue evaluation method", *Procedia Engineering* 10, 1906-1916 (2011).
16. B. Bertsche, "Reliability in automotive and mechanical engineering: determination of component and system reliability", *Springer Science & Business Media*, April 30 (2008).
17. G. Lechner G, H. Naunheimer, *"Automotive transmissions: fundamentals, selection, design and application"*, Springer Science & Business Media, 1999.