

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

تحلیل نیرویی و تحلیل تنش و خستگی میل لنگ موتور خودروی ملی

EF7

جواد پژوهش

اساتید راهنما:

دکتر محمد رضا قضاوی خوراسگانی

دکتر مجید محمدی مقدم

خرداد ۸۹

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

تقدیم به تمام کسانی که دوستشان دارم.

سپاس‌گزاری

با سپاس فراوان از راهنمایی‌ها و کمک‌های شایان جناب آقای دکتر قضاوی و جناب آقای دکتر محمدی مقدم که در انجام این پایان‌نامه همواره پشتیبان و پاسخگوی مشکلات در تمامی مراحل بودند.

چکیده

در این تحقیق مدل سازی و تحلیل میل لنگ موتور ملی EF7 انجام شده است. در این تحقیق به بررسی نیروهای وارده بر میل لنگ در سرعت‌های دورانی مختلف موتور و زوایای مختلف میل لنگ پرداخته شده است. در این راستا معادلات سینتیکی شاتون بدست آمده است و جابجایی دینامیکی دو سر شاتون مورد بررسی قرار گرفته است و نیروهای وارده به آنها محاسبه شده که عکس این نیروها به میل لنگ وارد می شود. یک مدل کامل از میل لنگ با تمام جزئیات در نرم افزار ABAQUS برای تحلیل تنش آماده شده است و تاریخچه تنش در دوره‌های مختلف به دست آمده است. نقاط بحرانی مشخص شده و تاریخچه تنش در این نقاط به عنوان نتایج تحلیل تنشی حاصل از نرم افزار ABAQUS به صورت فایل قابل خواندن در FEM/FAT تبدیل شده است و تحلیل خستگی با استفاده از تئوریهای ون مایرز و صفحه بحرانی انجام شده است. نتایج برای مواد مختلف با یکدیگر مقایسه شده اند. در این تحقیق هم چنین به بررسی و مرور مختصری بر نحوه ساخت میل لنگ پرداخته شده است. تحلیل بر روی مواد: forged steel و cast iron انجام شده است و نتایج برای ماده فورج شده دارای مقادیر بهتری است. ضریب اطمینان خستگی برای این ماده حتی در کمترین مقدار تقریباً دو برابر cast iron می باشد. ضرایب اطمینان به دست آمده برای هر دو جنس قابل قبول بوده و با توجه به اینکه نتایج تئوری صفحه بحرانی به واقعیت نزدیکترند نتایج حاصل از این تئوری با توجه به هزینه های بالای پروسه تولید میل لنگ منجر به طرحی دست بالا نمی شود.

کلید واژه: میل لنگ، ضریب اطمینان خستگی، فولاد آهنگری شده، چدن ریخته گری شده

فهرست مطالب

| عنوان..... | صفحه |
|---|------------|
| فهرست مطالب..... | أ..... |
| فهرست شکل ها..... | ه..... |
| فهرست جدول ها..... | ط..... |
| نمادها..... | ی..... |
| فصل ۱- مقدمه..... | ۱..... |
| ۱-۱- پیش گفتار..... | ۲..... |
| ۲-۱- پیشینه تحقیق و مروری بر کارهای گذشته..... | ۴..... |
| ۳-۱- رئوس مطالب پایان نامه..... | ۶..... |
| ۴-۱- نوآوری های پایان نامه..... | ۷..... |
| ۵-۱- معرفی میل لنگ..... | ۷..... |
| ۱-۵-۱- تاریخچه..... | ۷..... |
| ۲-۵-۱- وظیفه میل لنگ در موتور احتراق داخلی..... | ۸..... |
| ۳-۵-۱- نیروهای وارده و شکست میل لنگ..... | ۹..... |
| ۶-۱- انواع روشهای ساخت میل لنگ..... | ۱۱..... |
| ۱-۶-۱- بررسی میل لنگ با جنسهای متفاوت..... | ۱۱..... |
| ۲-۶-۱- پروسه آهنگری و پارامترهای موثر..... | ۱۱..... |
| ۳-۶-۱- عملیات حرارتی..... | ۱۳..... |
| ۴-۶-۱- صاف کردن و سکه زنی..... | ۱۳..... |
| ۵-۶-۱- پروسه ریخته گری و پارامترهای موثر..... | ۱۴..... |
| ۶-۶-۱- انواع روشهای ریخته گری..... | ۱۴..... |
| ۷-۶-۱- مقایسه روش های آهنگری و ریخته گری..... | ۱۴..... |
| ۷-۱- تحلیل خستگی..... | ۱۶..... |
| ۱-۷-۱- فرآیند خستگی..... | ۱۶..... |
| ۲-۷-۱- انواع بارهای وارد بر قطعات..... | ۱۷..... |
| ۳-۷-۱- انواع خستگی..... | ۱۸..... |
| ۴-۷-۱- منحنی های $S-N-P$ | ۱۹..... |

- ۲۰-۵-۷-۱ عوامل مؤثر بر خستگی.....
- ۲۰-۱-۵-۷-۱ ساختار مصالح.....
- ۲۰-۲-۵-۷-۱ عملیات حرارتی.....
- ۲۱-۳-۵-۷-۱ جوشکاری.....
- ۲۱-۴-۵-۷-۱ ناپیوستگی های هندسی.....
- ۲۱-۵-۵-۷-۱ شرایط سطحی.....
- ۲۲-۶-۵-۷-۱ اثر اندازه مقطع.....
- ۲۲-۷-۵-۷-۱ تنشهای پسماند سطحی.....
- ۲۲-۸-۵-۷-۱ دمای کارکرد.....
- ۲۳-۹-۵-۷-۱ خوردگی.....
- ۲۳-۱۰-۵-۷-۱ فرتینگ.....
- ۲۴-۱۱-۵-۷-۱ محدوده سرعت کاری.....
- ۲۴-۶-۷-۱ چگونگی تغییر تنش با زمان.....
- ۲۵-۷-۷-۱ تنش میانگین غیر صفر.....
- ۲۵-۸-۷-۱ آسیب انباشته.....
- ۲۵-۹-۷-۱ شرایط مرزی.....
- ۲۵-۱۰-۷-۱ تئوری های آسیب انباشته و تخمین عمر خستگی.....
- ۲۶-۱-۱۰-۷-۱ تئوریهای آسیب انباشته خطی.....
- ۲۶-۲-۱۰-۷-۱ تنش های عکس شونده هم ارز.....
- ۲۸-۸-۱ بررسی روابط خستگی در میدان تنش سه بعدی.....
- ۲۸-۱-۸-۱ تئوری های مبتنی بر گسیختگی استاتیکی.....
- ۲۸-۱-۱-۸-۱ تئوری تنش قائم بیشینه هم ارز.....
- ۲۸-۲-۱-۸-۱ تئوری تنش برشی بیشینه یا تئوری ترسکا.....
- ۲۹-۳-۱-۸-۱ تئوری انرژی واپیچش بیشینه یا ون مایرز.....
- ۲۹-۴-۱-۸-۱ تئوری کرنش هم ارز ون مایرز :.....
- ۲۹-۲-۸-۱ تئوری های ارائه شده بر مبنای انرژی.....
- ۳۰-۳-۸-۱ معیارهای مبتنی بر لایتغیرهای تنش.....
- ۳۱-۴-۸-۱ تئوری های صفحات بحرانی.....
- ۳۲-۱-۴-۸-۱ تئوری فیندلی.....

| | |
|----|---|
| ۳۳ | ۱-۸-۴-۲- تئوری مک دیارمید |
| ۳۴ | فصل ۲- تحلیل نیرویی میل لنگ |
| ۳۵ | ۱-۲- مقدمه |
| ۳۵ | ۲-۲- تحلیل نیرویی |
| ۳۵ | ۱-۲-۲- تعاریف |
| ۳۶ | ۲-۲-۲- معادلات سینماتیکی حرکت شاتون |
| ۳۸ | ۳-۲-۲- تحلیل نیروهای دینامیکی وارد بر شاتون |
| ۴۱ | ۴-۲-۲- تحلیل نیروهای دینامیکی توسط نرم افزار <i>AVL</i> |
| ۴۲ | ۳-۲- نتایج تحلیل نیرویی |
| ۴۲ | ۱-۳-۲- نیروهای وارد بر میل لنگ در دوره‌های ۳۵۰۰ و ۶۰۰۰ |
| ۴۴ | ۲-۳-۲- نتایج اثر سرعت موتور بر نیروها |
| ۴۵ | ۳-۳-۲- بررسی صحت نتایج تحلیل نیرویی |
| ۴۸ | ۴-۳-۲- مقایسه نتایج کد <i>MATLAB</i> و نرم افزار <i>AVL</i> برای موتور <i>EF7</i> |
| ۵۰ | فصل ۳- تحلیل تنش و خستگی |
| ۵۱ | ۱-۳- مقدمه |
| ۵۱ | ۲-۳- مدل سازی میل لنگ در نرم افزار <i>ABAQUS</i> برای آنالیز تنش |
| ۵۲ | ۱-۲-۳- مدل سازی میل لنگ |
| ۵۶ | ۳-۳- تحلیل تنش |
| ۵۷ | ۱-۳-۳- اصطکاک مجموعه موتور |
| ۵۸ | ۱-۱-۳-۳- اصطکاک هیدرودینامیکی یا سیالی |
| ۵۸ | ۲-۱-۳-۳- اصطکاک لایه جزئی یا ترکیبی |
| ۵۸ | ۳-۱-۳-۳- اصطکاک مرزی |
| ۶۰ | ۲-۳-۳- تحلیل تنش شبه دینامیکی |
| ۶۱ | ۳-۳-۳- بررسی کیفیت المانها |
| ۶۱ | ۴-۳-۳- تهیه مدل و المان بندی آن |
| ۶۵ | ۵-۳-۳- نتایج بررسی کیفیت المان ها و همگرایی تنش |
| ۶۷ | ۴-۳- نتایج تحلیل تنش |
| ۷۹ | ۵-۳- بررسی خستگی در این پروژه |
| ۸۲ | ۶-۳- نتایج تحلیل خستگی |

| | |
|----|---|
| ۹۳ | فصل ۴- نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات |
| ۹۴ | ۴-۱- نتیجه گیری |
| ۹۶ | ۴-۲- پیشنهادات برای کارهای آتی |
| ۹۷ | مراجع |
| ۹۹ | پیوست الف |

فهرست شکل‌ها

| عنوان..... | صفحه |
|---|------|
| شکل (۱-۱) نمائی از یک میل لنگ چهار سیلندر..... | ۲ |
| شکل (۲-۱) قسمت های مختلف یک میل لنگ چهار سیلندر [۸]..... | ۸ |
| شکل (۳-۱) نحوه قرار گرفتن میل لنگ در موتور [۸]..... | ۹ |
| شکل (۴-۱) دیاگرام $P-V$ برای یک موتور چهار زمانه [۸]..... | ۹ |
| شکل (۵-۱) نمای میل لنگ در جعبه موتور از پهلو [۸]..... | ۱۰ |
| شکل (۶-۱) قطعه کار و قالب گیری اولیه زیرین [۱۱]..... | ۱۲ |
| شکل (۷-۱) یک نمونه میل لنگ آهنگری شده [۱۱]..... | ۱۲ |
| شکل (۸-۱) نمونه ای از هندسه نا کارآمد [۱۲]..... | ۱۳ |
| شکل (۹-۱) ۹/۵ میلی متر ترک با ۲ هرتز تشدید [۱۸]..... | ۱۶ |
| شکل (۱۰-۱) مکانیزم شکست [۲۰]..... | ۱۷ |
| شکل (۱۱-۱) بارگذاری متناسب [۲۱]..... | ۱۷ |
| شکل (۱۲-۱) بارگذاری نامتناسب [۲۱]..... | ۱۸ |
| شکل (۱۳-۱) نمونه منحنی $S-N$ [۲۱]..... | ۲۰ |
| شکل (۱-۲) مکانیزم حرکت شاتون..... | ۳۶ |
| شکل (۲-۲) دیاگرام آزاد پیستون..... | ۳۸ |
| شکل (۳-۲) دیاگرام آزاد شاتون..... | ۳۹ |
| شکل (۴-۲) نمودار تغییرات فشار گاز سیلندر در دورهای مختلف بر حسب زاویه میل لنگ [۲۴]..... | ۴۱ |
| شکل (۵-۲) نیروهای محوری و نرمال وارد بر چشم بزرگ شاتون در سرعت ۳۵۰۰ دور بر دقیقه..... | ۴۳ |
| شکل (۶-۲) نیروهای محوری و نرمال وارد بر چشم بزرگ شاتون در سرعت ۶۰۰۰ دور بر دقیقه..... | ۴۳ |
| شکل (۷-۲) تغییرات نیروی عمودی وارد بر میل لنگ با سرعت موتور..... | ۴۴ |
| شکل (۸-۲) تغییرات نیروی افقی وارد بر میل لنگ با سرعت موتور..... | ۴۵ |
| شکل (۹-۲) پروفیل فشار استفاده شده در مرجع [۲۲]..... | ۴۶ |
| شکل (۱۰-۲) مقایسه نیروی ایجاد شده در انتهای چشم بزرگ شاتون بوسیله کد <i>MATLAB</i> و مرجع [۲۲]..... | ۴۶ |
| شکل (۱۱-۲) مقایسه نیروی ایجاد شده در انتهای چشم کوچک شاتون بوسیله کد <i>MATLAB</i> و مرجع [۲۲]..... | ۴۷ |

| | |
|--|----|
| شکل (۲-۱۲) مقایسه نیروی ایجاد شده در چشم بزرگ شاتون در جهت محوری، نرمال و کلی بوسیله کد | |
| <i>MATLAB</i> و مرجع [۲۲]..... | ۴۷ |
| شکل (۲-۱۳) مقایسه نیروی ایجاد شده در چشم کوچک شاتون در جهت محوری، نرمال و کلی بوسیله | |
| کد <i>MATLAB</i> و مرجع [۲۲]..... | ۴۸ |
| شکل (۲-۱۴) مقایسه شتاب پیستون توسط کد <i>MATLAB</i> و نرم افزار <i>AVL</i> در 6000 RPM | ۴۸ |
| شکل (۲-۱۵) مقایسه نیروهای اعمالی توسط کد <i>MATLAB</i> و نرم افزار <i>AVL</i> در 6000 RPM | ۴۹ |
| شکل (۳-۱) نمای جانبی مدل سه بعدی میل لنگ در نرم افزار <i>ABAQUS</i> | ۵۳ |
| شکل (۳-۲) نمای ایزومتریک مدل سه بعدی میل لنگ در نرم افزار <i>ABAQUS</i> | ۵۳ |
| شکل (۳-۳) نمای بالای مدل سه بعدی میل لنگ در نرم افزار <i>ABAQUS</i> | ۵۴ |
| شکل (۳-۴) مش بندی مدل سه بعدی میل لنگ در نرم افزار <i>HYPERMESH</i> | ۵۴ |
| شکل (۳-۵) قیدهای تماسی در مدل میل لنگ در نرم افزار <i>ABAQUS</i> | ۵۵ |
| شکل (۳-۶) مدل کردن یاتاقانها به صورت استوانه های صلب در نرم افزار <i>ABAQUS</i> | ۵۵ |
| شکل (۳-۷) بار گذاری میل لنگ در نرم افزار <i>ABAQUS</i> | ۵۶ |
| شکل (۳-۸) ضرایب اصطکاک در اجزای موتور [۲۶]..... | ۵۹ |
| شکل (۳-۹) المان بندی میل لنگ با اندازه المان $3\text{ و }5$ | ۶۳ |
| شکل (۳-۱۰) المان بندی میل لنگ با اندازه المان 4 | ۶۳ |
| شکل (۳-۱۱) المان بندی میل لنگ با اندازه المان 5 | ۶۴ |
| شکل (۳-۱۲) المان بندی میل لنگ با اندازه المان 6 | ۶۴ |
| شکل (۳-۱۳) کانتور تنش میل لنگ در زاویه 375 درجه سیلندر شماره 1 در سرعت 3500 دور بر دقیقه | |
| | ۶۸ |
| شکل (۳-۱۴) کانتور تنش میل لنگ در زاویه 90 درجه سیلندر شماره 1 در سرعت 6000 دور بر دقیقه | |
| | ۶۸ |
| شکل (۳-۱۵) تاریخچه تنش دو گره تصادفی از المان های مدل میل لنگ در سرعت دورانی 3500 | ۶۹ |
| شکل (۳-۱۶) کانتور تنش ون مایزرز برای زاویه 195 درجه سیلندر شماره 1 در سرعت 3500 دور بر | |
| دقیقه..... | ۶۹ |
| شکل (۳-۱۷) کانتور تنشهای اصلی <i>SII</i> برای زاویه 195 درجه سیلندر شماره 1 در سرعت 3500 دور بر | |
| دقیقه..... | ۷۰ |

- شکل (۳-۱۸) کانتور تنشهای اصلی S22 برای زاویه ۱۹۵ درجه سیلندر شماره ۱ در سرعت ۳۵۰۰ دور بر دقیقه ۷۰
- شکل (۳-۱۹) کانتور تنشهای اصلی S33 برای زاویه ۱۹۵ درجه سیلندر شماره ۱ در سرعت ۳۵۰۰ دور بر دقیقه ۷۰
- شکل (۳-۲۰) نقاط انتخاب شده به منظور بررسی بیشتر نتایج تحلیل تنش ۷۱
- شکل (۳-۲۱) تاریخچه تنش و مایز و تنشهای اصلی نقطه ۱ در سرعت ۳۵۰۰ دور بر دقیقه ۷۲
- شکل (۳-۲۲) تاریخچه تنش و مایز و تنشهای اصلی نقطه ۲ در سرعت ۳۵۰۰ دور بر دقیقه ۷۲
- شکل (۳-۲۳) تاریخچه تنش و مایز و تنشهای اصلی نقطه ۳ در سرعت ۳۵۰۰ دور بر دقیقه ۷۲
- شکل (۳-۲۴) تاریخچه تنش و مایز و تنشهای اصلی نقطه ۴ در سرعت ۳۵۰۰ دور بر دقیقه ۷۳
- شکل (۳-۲۵) تاریخچه تنش و مایز و تنشهای اصلی نقطه ۵ در سرعت ۳۵۰۰ دور بر دقیقه ۷۳
- شکل (۳-۲۶) تاریخچه تنش و مایز و تنشهای اصلی نقطه ۶ در سرعت ۳۵۰۰ دور بر دقیقه ۷۳
- شکل (۳-۲۷) تاریخچه تنش و مایز و تنشهای اصلی نقطه ۷ در سرعت ۳۵۰۰ دور بر دقیقه ۷۴
- شکل (۳-۲۸) تاریخچه تنش و مایز و تنشهای اصلی نقطه ۸ در سرعت ۳۵۰۰ دور بر دقیقه ۷۴
- شکل (۳-۲۹) تاریخچه تنش و مایز و تنشهای اصلی نقطه ۹ در سرعت ۳۵۰۰ دور بر دقیقه ۷۴
- شکل (۳-۳۰) تاریخچه تنش و مایز و تنشهای اصلی نقطه ۱۰ در سرعت ۳۵۰۰ دور بر دقیقه ۷۵
- شکل (۳-۳۱) تاریخچه تنش و مایز و تنشهای اصلی نقطه ۱۱ در سرعت ۳۵۰۰ دور بر دقیقه ۷۵
- شکل (۳-۳۲) تغییرات تنش و مایز نقاط ۱ تا ۱۱ در زاویه ۱۵ درجه ۷۶
- شکل (۳-۳۳) تغییرات تنشهای اصلی S11 نقاط ۱ تا ۱۱ در زاویه ۱۵ درجه ۷۶
- شکل (۳-۳۴) تغییرات تنشهای اصلی S22 نقاط ۱ تا ۱۱ در زاویه ۱۵ درجه ۷۶
- شکل (۳-۳۵) تغییرات تنشهای اصلی S33 نقاط ۱ تا ۱۱ در زاویه ۱۵ درجه ۷۷
- شکل (۳-۳۶) تنش های و مایز در زاویه ۱۵ درجه برای ۱۱ نقطه مورد نظر با استفاده دو ماده ۷۸
- شکل (۳-۳۷) کانتور جابجایی با جنس *forged steel* ۷۸
- شکل (۳-۳۸) کانتور جابجایی با جنس *cast iron* ۷۹
- شکل (۳-۳۹) ضریب اطمینان خستگی در دور ۳۵۰۰ برای *Cast iron* ۸۴
- شکل (۳-۴۰) مقدار تنش دامنه در دور ۳۵۰۰ برای *Cast iron* ۸۵
- شکل (۳-۴۱) مقدار تنش میانگین در دور ۳۵۰۰ برای *Cast iron* ۸۵
- شکل (۳-۴۲) ضریب اطمینان برای *Forged Steel* در دور ۳۵۰۰ ۸۶
- شکل (۳-۴۳) ضریب اطمینان برای *Forged Steel* در دور ۳۵۰۰ برای ناحیه بحرانی ۸۶
- شکل (۳-۴۴) ضریب اطمینان در دور ۶۰۰۰ برای جنس *Cast iron* ۸۷

- شکل (۳-۴۵) ضریب اطمینان در دور ۶۰۰۰ برای جنس *Cast iron* در ناحیه بحرانی ۸۷
- شکل (۳-۴۶) ضریب اطمینان در دور ۶۰۰۰ برای جنس *forged steel* ۸۸
- شکل (۳-۴۷) ضریب اطمینان در دور ۶۰۰۰ برای جنس *forged steel* در ناحیه بحرانی ۸۸
- شکل (۳-۴۸) ضریب اطمینان در دور ۳۵۰۰ برای جنس *Cast Iron* در نواحی مختلف ۸۹
- شکل (۳-۴۹) ضریب اطمینان در دور ۶۰۰۰ برای جنس *forged steel* در نواحی مختلف ۸۹

فهرست جدول‌ها

| عنوان..... | صفحه |
|---|------------|
| جدول (۱-۲) مشخصات شاتون و موتور <i>EF7</i> [۲۴]..... | ۴۰..... |
| جدول (۲-۲) مشخصات هندسی موتور و وزنی آن برای شبیه سازی در <i>AVL</i> | ۴۲..... |
| جدول (۱-۳) خواص ماده فولاد <i>C70</i> | ۶۰..... |
| جدول (۲-۳) نتایج بررسی دقت المان بندی..... | ۶۶..... |
| جدول (۳-۳) بررسی همگرایی تنش با المانهای مختلف..... | ۶۷..... |
| جدول (۴-۳) محاسبه ضریب اطمینان با تئوریهای مختلف در بحرانی ترین حالات..... | ۸۲..... |
| جدول (۵-۳) مقایسه تنشهای متوسط و دامنه برای <i>Cast Iron</i> در دورهای ۳۵۰۰ و ۶۰۰۰..... | ۹۰..... |
| جدول (۶-۳) مقایسه تنشهای متوسط و دامنه برای <i>ForgedSteel</i> در دورهای ۳۵۰۰ و ۶۰۰۰..... | ۹۱..... |
| جدول (۷-۳) مقایسه تنشهای متوسط و دامنه برای <i>Cast Iron</i> و <i>Forged Steel</i> در دور ۳۵۰۰..... | ۹۱..... |
| جدول (۸-۳) مقایسه تنشهای متوسط و دامنه برای <i>Cast Iron</i> و <i>Forged Steel</i> در دور ۶۰۰۰..... | ۹۲..... |

نمادها

| | |
|-------------------------|-----------------------------------|
| a_G | شتاب مرکز جرم شاتون |
| a_B, a_{pi} | شتاب پیستون |
| F_{gas} | نیروی فشار گاز |
| G | مرکز جرم شاتون |
| I_G | ممان اینرسی شاتون حول مرکز جرم آن |
| l | طول شاتون |
| m_C | جرم شاتون |
| m_{pi} | جرم پیستون |
| v_{pi} | سرعت پیستون |
| σ_a | دامنه تنش |
| τ_N | دامنه تنش برشی |
| σ_m | میانگین تنش |
| σ_N | تنش کاملاً عکس شونده |
| σ_u | تنش حد استحکام |
| σ_e, σ_{vM} | تنش معادل ون مایزر |
| f | پارامتر آسیب |
| | فهرست علائم یونانی |
| Θ | زاویه میل لنگ |
| β | زاویه شاتون |
| | زیر نویس‌ها |
| x | در جهت x |
| y | در جهت y |
| <i>Axial</i> | در جهت محور طولی شاتون |
| <i>Normal</i> | در جهت عمود بر محور طولی شاتون |

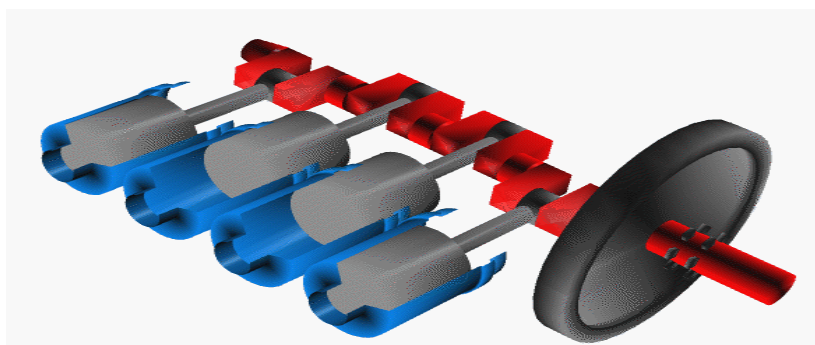
فصل ۱

مقدمه

۱-۱- پیش‌گفتار

یکی از مهمترین، گران‌قیمت‌ترین و پیچیده‌ترین قطعات مکانیکی خودرو از حیث طراحی، ساخت و تحلیل، میل‌لنگ می‌باشد. فشار در طراحی موتورهای احتراق داخلی به منظور افزایش قدرت موتور و کاهش اندازه موتور و بهبود مصرف سوخت، دارای اهمیت است.

برای طراحی مناسب و عالی که نتیجه آن کاهش سر و صدای موتور، قدرت بالا، دوام و راحتی بالا است، باید اجزای موتور بهینه‌سازی شوند. تحلیل‌های پیچیده ابزاری برای شناخت بیشتر پدیده‌های فیزیکی موثر بر اجزای اصلی موتور، بخصوص میل‌لنگ که یکی از اجزای اصلی موتور است می‌باشد. در شکل ۱-۱ نمایی از یک میل‌لنگ چهار سیلندر نشان داده شده است.



شکل (۱-۱) نمایی از یک میل‌لنگ چهار سیلندر

بررسی و مقایسه قدرت و توانایی خستگی میل‌لنگ با روش‌های تولید متفاوت آهنگری و ریخته‌گری برای بهبود و بهینه‌کردن روش‌های ساخت میل‌لنگ از مهمترین اهداف صنعت تولید خودرو می‌باشد. میل‌لنگ یک قطعه بزرگ با هندسه‌ای پیچیده در موتور می‌باشد، که حرکت جابه‌جایی رفت و برگشتی پیستون را به یک حرکت دوار (چرخشی) به وسیله چهار بازوی مکانیزم، تبدیل می‌کند. از آنجایی که میل‌لنگ، میزان بار زیادی در طول عمر استفاده‌اش تحمل می‌کند، فاکتور خستگی و دوام در برابر بارهای وارده در این عضو در پروسه طراحی باید مورد نظر قرار گیرد. در شرکت‌های تولید میل‌لنگ، پروسه طراحی همیشه یکی از مهمترین مسائل می‌باشد. دستیابی به اهدافی مانند تولید با کمترین وزن ممکن و ارزانترین بهای ممکن و همچنین تحمل خستگی به صورت مناسب مورد نظر می‌باشد. این بهینه‌سازی

ها منجر به دسترسی به یک موتور سبکتر و کوچکتر با مصرف سوخت بهینه و قدرت موتور بالاتر می شود. بررسی دو میل لنگ با جنس های متفاوت از یک موتور یکسان با بررسی تنش های حاصل از آنالیز برای مقایسه رفتار دو نوع میل لنگ در مقابل بار اعمال شده مورد نظر می باشد. برای تحلیل عملکرد میل لنگ روش های تحلیلی متفاوتی بیان شده است. یکی از این روشها روش المان محدود است که تحلیلهای پیچیده را با استفاده از کامپیوترهای پرسرعت و با پیش پردازش های ماهرانه که می تواند مش های پیچیده را ایجاد کند، انجام می دهد.

در این تحقیق به بررسی میل لنگ در مکانیزم موتور در دوره های مختلف و در زوایای مختلف پرداخته شده است. مدل میل لنگ و متعلقات آن در نرم افزار *ABAQUS* برای تحلیل تنش تهیه شده است. برای تحلیل نیروها، یک مدل ریاضی از مکانیزم موتور استخراج شده است. به بررسی نیروهای وارد بر میل لنگ در دورها و زاویه های مختلف پرداخته شده است. این نیروها به شاتون وارد شده و عکس العمل آن ها به میل لنگ وارد می شود و نقاط بحرانی میل لنگ در دورها و زاویه های مختلف بدست آمده است. این نیروها به میل لنگ وارد شده و نقاط بحرانی میل لنگ در دورها و زاویه های مختلف بدست آمده است. نتایج حاصل از تحلیل تنش در نرم افزار *ABAQUS* به عنوان ورودی نرم افزار *FEMFAT* برای تحلیل خستگی میل لنگهای *cast iron* و *forged steel* استفاده شده است. ضرایب اطمینان در سرعت ۳۵۰۰ دور بر دقیقه که متناظر با ماکزیمم گشتاور موتور است و سرعت ۶۰۰۰ دور بر دقیقه که بیشترین قدرت موتور می باشد برای نقاط بحرانی میل لنگ با استفاده از تئوریهای صفحه بحرانی و ون مایرز به دست آمده است.

یکی از جنبه های مهم نوع ماده است. رقابت شدیدی بین طراحان و سازندگان میل لنگ برای تولید میل لنگ وجود دارد. مواد فولاد فورج^۱ شده و فولاد پودری^۲ و چدن ریخته گری شده^۳ از پرکاربردترین مواد میل لنگ هستند. با ظهور کامپیوترها و پردازشگرهای پرسرعت، استفاده از برنامه مدل سازی تحلیلی

^۱ Forged Steel

^۲ Powder Metal

^۳ Cast iron

با پیچیدگی کمتری همراه شده و بیشتر عملی شده است. هزینه کم مدلسازی نرم‌افزاری در مقایسه با تست‌های واقعی مزیت عمده محسوب می‌شود. مدلسازی نرم‌افزاری امکان انجام طراحی‌های جدید بدون اینکه هیچ مدل فیزیکی از قطعه ساخته شود را می‌دهد که به نوبه خود منجر به صرفه‌جویی زمان و نیروی انسانی می‌شود. در طراحی میل لنگ بدون صرف هزینه و وقت زیاد می‌توان ضرایب اطمینان نقاط بحرانی میل لنگ را در دورها و زاویه‌های مختلف بدست آورد و آنها را بهینه نمود.

۱-۲- پیشینه تحقیق و مروری بر کارهای گذشته

کوبکه و ماتسوی به بررسی کاربرد دماهای پایین در آهنگری های سرد و گرم که سبب فراهم آوردن مزایایی از قبیل کاهش و حتی حذف کامل برآمدگی های زاید اکسیدی روی اجزاء می باشد تا جایی که می توان اجزاء را با دقت ابعادی بالایی تولید کرد پرداختند [۱].

سیلوا در سال ۲۰۰۳ به بررسی عواملی زیادی که می توانند موجب خرابی موتور باشند پرداخت. این عوامل می توانند به عوامل انسانی، عوامل مکانیکی و عواملی مانند تعمیرات دسته بندی شوند [۲].

در سال ۲۰۰۴ یک تحقیق جامع درباره دوام و پایداری میل لنگ و مقایسه روش های متفاوت تولید و بررسی هزینه ها به وسیله ظروفی و فاطمی انجام پذیرفت [۳].

ارزیابی خستگی و دوام میل لنگ استفاده شده در این تحقیق به وسیله ویلیام و فاطمی در سال ۲۰۰۷ صورت پذیرفت [۴]. آن ها تست یکنواخت و تناوبی بر روی هر دو نوع جنس میل لنگ های فولاد آهنگری شده و چدنی را انجام دادند. تحقیق آن ها همچنین شامل بررسی تست خستگی و تخمین عمر خستگی نیز می شد.

یک تحقیق جامع در رابطه با میل لنگ به وسیله ظروفی و فاطمی در سال ۲۰۰۵ انجام شد. در این تحقیق به ارزیابی توانایی خستگی و مقایسه این امر در میل لنگ های فولاد آهنگری شده و چدن چکشخوار ریخته گری شده پرداخته شده است. در این تحقیق، خصوصیات میل لنگ، شرایط استفاده و عوامل متفاوت شکست مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. تحقیق آن ها شامل مروری بر اثرات

پارامترهای تاثیرگذار مانند تنش پس ماند بر روی رفتار خستگی و روش های استنتاج تنش های پسماند فشاری در میل لنگ می شود. مواد متداول مورد استفاده در ساخت میل لنگ و روشهای تولید معمول مورد مقایسه قرار گرفته اند البته فاکتور دوام در برابر خستگی مورد لحاظ قرار گرفته است. بحث ها با بررسی پروسه تخمین عمر و دوام در برابر خستگی میل لنگ با کمک تست نمونه و تکنیک های تجربی ادامه یافته است. در تحقیق آنها، بهینه سازی ابعاد میل لنگ، بررسی هزینه ها و امکان کاهش هزینه ها به طور خلاصه مورد بررسی قرار گرفته اند [۵].

تحقیقی برای پیدا کردن نقاط بحرانی محتمل به شکست ناشی از خستگی ایجاد شده به وسیله بار موتور و محاسبه یک میزان تنش عملی در این نقاط به وسیله فاطمی و منتظر صدق در سال ۲۰۰۷ انجام شد [۶].

ویلیامز در سال ۲۰۰۷ لحاظ کردن هندسه اجزا، نظر به بار وارد شده در طول عمر استفاده از میل لنگ را مورد بررسی قرار داد. بهینه کردن وزن و هزینه های تولید میل لنگ مطلوب و مورد نظر بوده است. همچنین قدرت دوام در برابر خستگی همیشه فاکتور مهمی در این زمینه بوده است [۷].

منتظر صدق و فاطمی در سال ۲۰۰۷ به بهینه سازی میل لنگ تک سیلندر پرداختند. روند کار آنها بررسی تنش های وارده به میل لنگ تحت بارگذاری دینامیکی بود که بهینه سازی وزن، هندسه، هزینه های تولید و هم چنین مواد به کار رفته هدف تحقیق آنها بود [۸].

یافتن راه هایی برای بهبود عمر خستگی میل لنگ و هم چنین مرقوم به صرفه بودن پروسه تولید بهینه سازی این عضو مهم موتور خودرو را هدف اصلی تحقیقات شرکت های بزرگ تولید میل لنگ و هم چنین محققان قرار داده است البته تابع های هدف متفاوتی در این زمینه وجود دارد که از آن جمله می توان به مواردی از قبیل مسائل ناشی از ارتعاشات پیچشی، انتقال بهینه نیرو، شکست ناشی از خستگی و... اشاره کرد. در این تحقیق هدف بررسی عمر خستگی میل لنگ موتور ملی $EF7$ می باشد که با توجه به تحلیل های قبلی انجام شده در این زمینه می توان گفت که در تحقیق حاضر با توجه به شبیه سازی