

بهینه‌سازی و تحلیل مانیفولد دود خودروی پژو ۲۰۶ توسط نرم‌افزار انسیس - فلوئنت

سید محمدرضا حسینی علی آباد^{*}، عرفان جمیلی^۲، میلاد فراهانی علوی^۳، محمدمعین رشیدپور^۴

۱- گروه مهندسی مکانیک، مازندران

۲- گروه مهندسی خودرو، انزلی

۳- گروه مهندسی مکانیک، همدان

۴- گروه مهندسی خودرو، انزلی

چکیده

قطعه‌ای به نام مانیفولد در پیش‌رانه وسایل نقلیه درون سوز قرار گرفته که به دو نوع مانیفولد هوا و مانیفولد دود تقسیم می‌گردد. مانیفولد دود که مبحث اصلی این مقاله می‌باشد، وظیفه آن هدایت و خارج نمودن گازهای حاصل از احتراق موتور به بیرون می‌باشد. در این مقاله، مانیفولد دود پژو ۲۰۶ به صورت تقریب و نزدیک به واقعیت توسط نرم‌افزار کتیا طراحی گردیده و سپس سرعت سیال در داخل مانیفولد دود و در نواحی خروجی مانیفولد دود و همچنین فشار در مانیفولد دود بررسی گردیده است. سپس زوایا و ابعاد مانیفولد دود پژو ۲۰۶ را جهت بهینه‌سازی (هر کدام از لوله‌ها را به صورت جداگانه به خروجی متصل کرده و شعاع انحنای لوله‌ها را بیشتر کرده و لوله‌ها را در انتها به سوی پایین هدایت کرده‌ایم) تغییر داده‌ایم. سپس سرعت سیال در مانیفولد دود بهینه‌سازی شده و همچنین فشار در مانیفولد دود بهینه‌سازی شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده بدین صورت است که مانیفولد دود پژو ۲۰۶ از طراحی تقریباً مناسبی برخوردار است، لیکن محل قرارگیری خروجی مانیفولد با توجه به ورودی مانیفولد در جای مناسبی قرار نگرفته است. به همین منظور در طراحی بهینه انجام گرفته، مشکل خروجی را با جداسازی هر لوله و هدایت نمودن آن‌ها به سمت پایین تا حدودی حل نموده‌ایم و جهت تماس کمتر سیال به جداره‌های مانیفولد، زوایای آن تغییر داده شده است.

واژگان کلیدی: تحلیل، بهینه‌سازی، مانیفولد دود، پژو ۲۰۶، فلوئنت

۱- مقدمه

سامانه تخلیه دود^۱ در موتور احتراق داخلی به منظور انتقال گازهای حاصل از احتراق، از محفظه احتراق موتور به فضای محیط استفاده می‌گردد. در موتورهای احتراق داخلی با بیش از یک استوانه از چند راهه دود^۲ به منظور انتقال محصولات احتراق، از درگاه خروجی استوانه‌ها به یک خروجی مشترک استفاده می‌گردد. با توجه به اینکه هندسه، روش ساخت و جنس چند راهه دود تاثیر بسزایی روی عملکرد آن دارد، انواع مختلفی از چند راهه‌های خروجی در موتورهای مختلف استفاده گردیده است [۱].

فرآیند آگروز در موتورهای احتراق داخلی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است [۲]، از این رو در این مقاله، در گام نخست به تشریح جریان خروج گازها پرداخته گردیده و در گام بعدی مانیفولد دود پژو ۲۰۶ از طریق نرم‌افزار کتیا طراحی و سپس توسط نرم‌افزار فلونت تحلیل و در خاتمه نیز جهت بهینه‌سازی، زوایا و ابعاد مانیفولد دود را تغییر داده و مجدداً از طریق نرم‌افزار فلونت تحلیل صورت گرفته است.

۲- جریان خروج گازها^۳

پس از شکل‌گیری کامل فرآیند احتراق و تولید قدرت در اثر انبساط گازهای حاصل از احتراق، مرحله خروج گازها آغاز می‌گردد تا شرایط سیلندر برای ورود هوای تازه مهیا گردد [۳].

فرآیند خروج گازها از اواخر مرحله انبساط آغاز می‌گردد. معمولاً هنگامی که هنوز ۳۰ الی ۵۰ درجه گردش میل‌لنگ تا رسیدن به نقطه مرگ پایین باقی مانده است، سوپاپ دود باز می‌گردد. در این مرحله هنوز فشار داخل سیلندر در حدود ۴ الی ۵ اتمسفر بوده و دما بیش از ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. هر چند که وجود این مقدار آوانس در زود باز شدن سوپاپ دود، باعث اتلاف بخشی از قدرت می‌شود و فشار حاصل از احتراق تا آخرین حد خود نمی‌تواند به قدرت تبدیل شود، اما از سوی دیگر با تخلیه بهتر گازهای سوخته شده و افزایش راندمان حجمی، کیفیت احتراق‌های بعدی افزایش یافته و در نهایت قدرت بیشتری تولید می‌شود [۳].

خروج گازهای داخل سیلندر در دو مرحله انجام می‌پذیرد. مرحله اول، خروج آنی گازها است که قبل از رسیدن پیستون به نقطه مرگ پایین رخ می‌دهد. یعنی در همان زمان آوانس سوپاپ دود، به محض باز شدن سوپاپ به دلیل اختلاف فشار شدیدی که بین فضای داخل و خارج وجود دارد، به صورت لحظه‌ای و در مدت زمان کوتاهی، حجم زیادی از گازهای داخل سیلندر تخلیه می‌گردد [۳].

پس از عبور پیستون از نقطه مرگ پایین و آغاز مرحله تخلیه، مرحله دوم خروج گازهای حاصل از احتراق انجام می‌پذیرد. در این مرحله با بالا رفتن پیستون و کاهش فضای سیلندر، گازها به سمت سوپاپ خروجی هدایت شده و با روندی آرام از آن خارج می‌گردد [۳].

۳- معرفی نرم‌افزار انسیس^۴

انسیس به عنوان یکی از نرم‌افزار تحلیل از بین نرم‌افزارهای تحلیلی مطرح است. این نرم‌افزار یک نرم‌افزار چندگانه است و قابلیت تحلیل مسائل گوناگون و متنوع مهندسی از قبیل حرارت، سیالات، مغناطیس، الکترواستاتیک، الکتریسیته، سازه، ارتعاشات، استاتیک و ... را دارد. این نرم‌افزار همچنین قابلیت ایجاد ارتباط بین هر یک از موارد ذکر شده را نیز داراست [۴].

دلایل برتری نرم‌افزار انسیس نسبت به سایر نرم‌افزارهای تحلیل عبارتند از [۴]:

- انجام آنالیز در زمینه‌های گوناگون از قبیل: جامدات، سیالات، انتقال حرارت، الکترومغناطیس، الکترواستاتیک، الکترونیک و دینامیک.
- توانایی آنالیز توأمان مانند آنالیز سیالاتی - جامداتی.
- توانایی بهینه‌سازی مدل‌های طراحی شده.
- قابلیت برنامه‌نویسی به کمک زبان برنامه‌نویسی نرم‌افزار برای توسعه امکانات جدید.
- قابلیت تهیه گزارش و خروجی‌های مختلف به صورت فیلم و عکس.
- توانایی تشخیص پارامترهای مختلف و بررسی میزان اهمیت هر کدام از آنها در رسیدن به جواب نهایی طراحی‌ها.
- امکان برقراری ارتباط با نرم‌افزارهای دیگر نظیر کتیا^۵، سالیدورکز^۶ و پرواینجینیر^۷.

۴- معرفی نرم‌افزار فلوئنت^۸

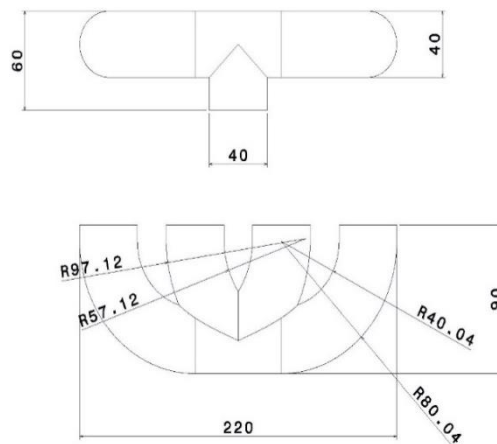
پیشرفت تکنولوژی در پردازنده‌ها و کامپیوترهای خانگی از یک طرف و استفاده گسترده از روش‌های عددی CFD در حل معادلات ریاضی مکانیک سیالات از سوی دیگر منجر به پیدایش نرم‌افزارهای متنوع در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی رفتار سیالات گردید [۵]. نرم‌افزار فلوئنت، یک نرم‌افزار کامپیوتری چند منظوره برای بررسی جریان سیال و انتقال حرارت می‌باشد. با توجه به محیط مناسب این نرم‌افزار از جهت حل مسائل با شرایط مرزی گوناگون [۶]، امروز بسیاری از مهندسين از این نرم‌افزار استفاده می‌نمایند.

۵- ابعاد و طراحی مانیفولد دود پژو ۲۰۶

ابعاد طراحی شده در نرم‌افزار کتیا برای مانیفولد دود خودروی پژو ۲۰۶ مطابق شکل زیر می‌باشد:



شکل ۱: نمای واقعی از مانیفولد دود پژو ۲۰۶



شکل ۲: ابعاد طراحی شده مانیفولد دود



شکل ۳: طراحی سه بعدی مانیفولد دود توسط نرم افزار کتیا

۶- جنس

جنس سیال استفاده شده برای تحلیل، دی اکسید کربن (CO_2) می باشد.

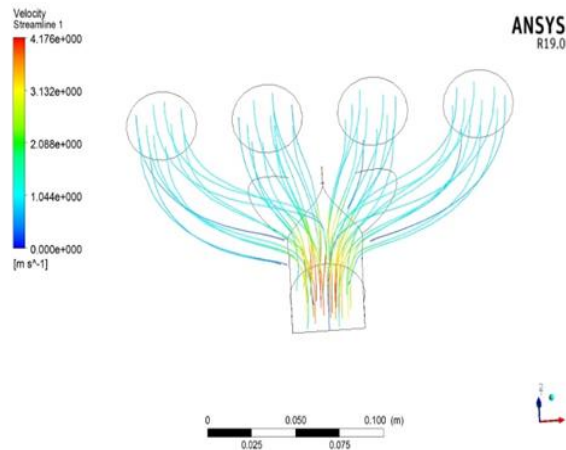
$1/78 \text{ Kg/m}^3$	چگالی
$1/37 * 10^{-5} \text{ Kg/m-s}$	ویسکوزیته

۷- شرایط مرزی

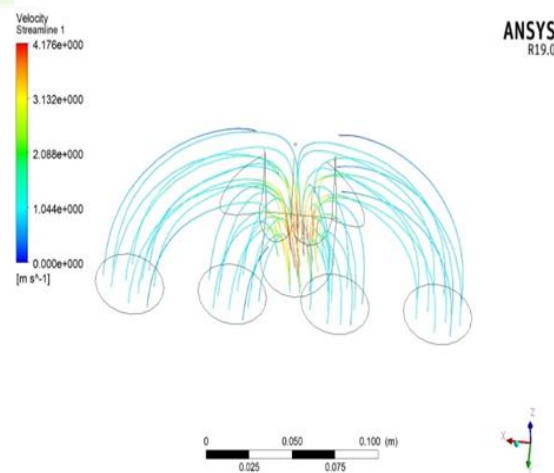
سرعت سیال را معادل 1 m/s در نظر گرفته ایم و از ورودی های مانیفولد به آن اعمال نمودیم و محل خروج دود از مانیفولد را به عنوان خروجی در نظر گرفتیم. از معادله انرژی صرف نظر گردیده در نتیجه دمای سیال را نادیده گرفته و همچنین معادله را تابع زمان در نظر گرفتیم و زمان تحلیل را ۱ ثانیه قرار داده ایم.

۸- بحث بر روی نتایج

با توجه به شرایط مرزی اعمال شده، جواب های بدست آمده از نرم افزار انسیس - ماژول تحلیلی فلونت برای مانیفولد دود خودروی ۲۰۶ مطابق اشکال زیر می باشد.

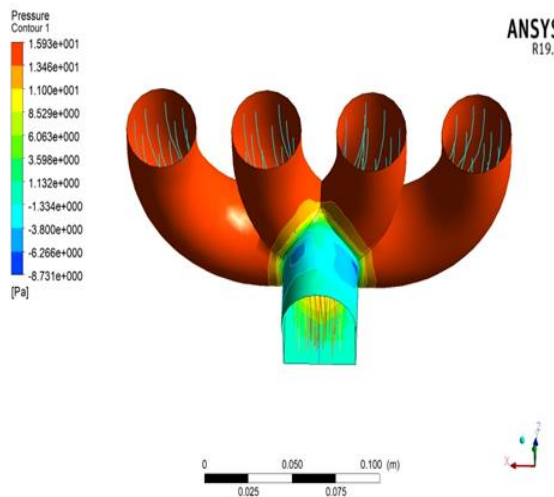


شکل ۴: سرعت سیال در مانیفولد دود از نمای پشت

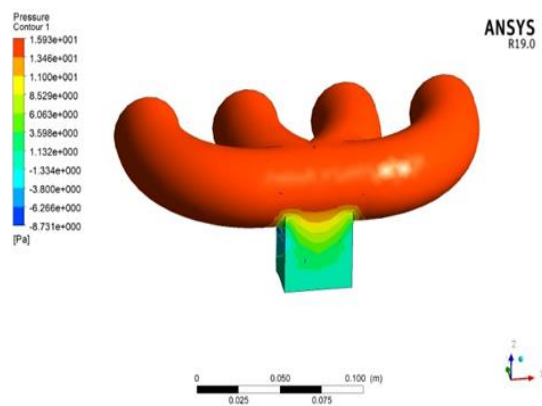


شکل ۵: سرعت سیال در مانیفولد دود از نمای روبرو

با توجه به جواب بدست آمده از نرم افزار انسیس - ماژول تحلیلی فلونت، سرعت سیال در داخل لوله های مانیفولد دود ثابت بوده و در نواحی خروجی، سرعت سیال خروجی به 4 m/s افزایش یافته است.



شکل ۶: فشار در مانیفولد دود از نمای روبرو

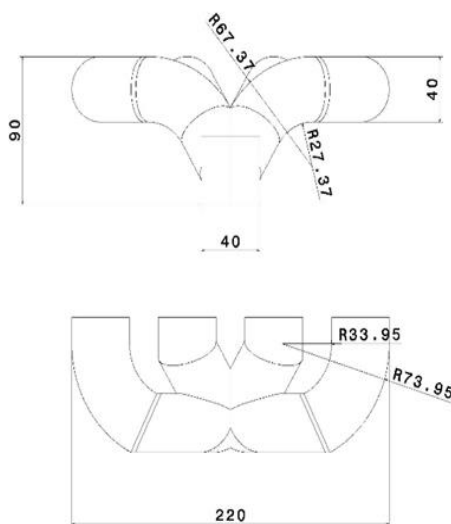


شکل ۷: فشار در مانیفولد دود از نمای پشت

با توجه به جواب بدست آمده، بیشترین میزان فشار وارده به دیواره مانیفولد از طرف سیال برابر 16 pa می‌باشد و در واقع بیشترین تماس سیال با دیواره، در ورودی می‌باشد و در نواحی خروجی سیال، فشار وارده بسیار کمتر بوده و می‌توان گفت سیال به دیواره‌ها برخورد زیادی داشته و باعث جلوگیری از خروج سیال می‌گردد.

۹- ابعاد و طراحی مانیفولد دود پژو ۲۰۶ جهت بهینه‌سازی

با توجه به حالت سیال در مانیفولد دود خودروی ۲۰۶، زوایا و ابعاد آن را جهت بهینه‌سازی تغییر داده‌ایم و ابعاد و طراحی آن مطابق شکل ذیل می‌باشد.



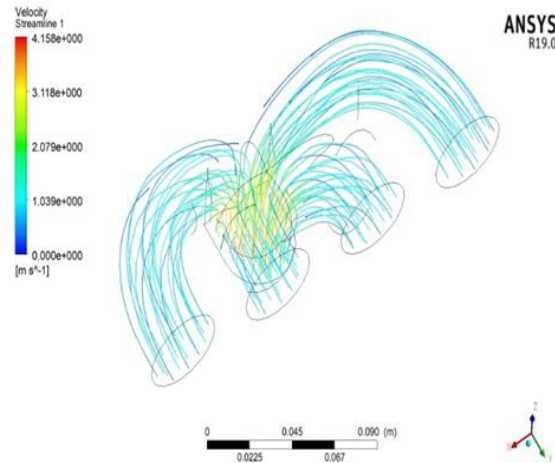
شکل ۸: ابعاد مانیفولد دود بهینه‌سازی شده



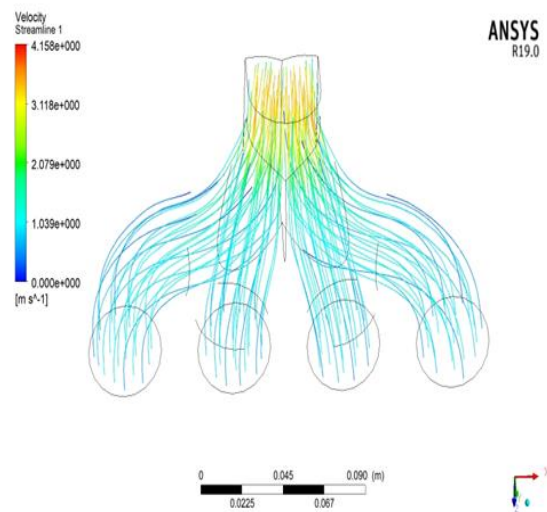
شکل ۹: طراحی سه بعدی مانیفولد دود بهینه‌سازی شده

با توجه به شکل فوق، خروجی هر کدام از لوله‌ها را به صورت جداگانه به خروجی متصل نموده و شعاع انحنای لوله‌ها را بیشتر کرده و لوله‌ها را در انتها به سوی پایین هدایت کرده تا سیال کمترین ارتباط را با لوله‌ها جهت خروج داشته باشد.

ضمناً، جنس و شرایط مرزی جهت تحلیل مانیفولد دود بهینه‌سازی، مانند نمونه اصلی در نظر گرفته شد.

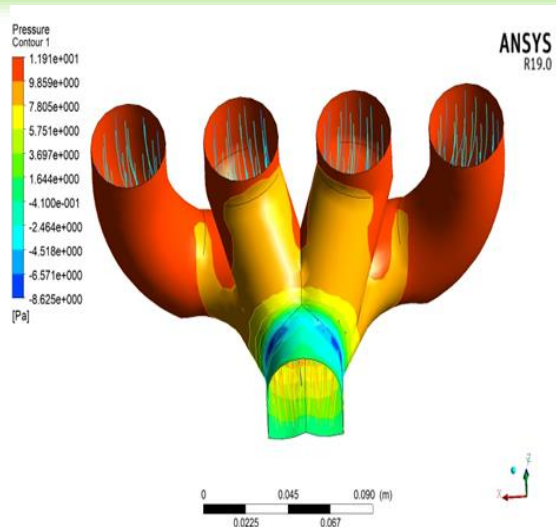


شکل ۱۰: سرعت سیال در مانیفولد دود بهینه‌سازی شده از نمای روبرو

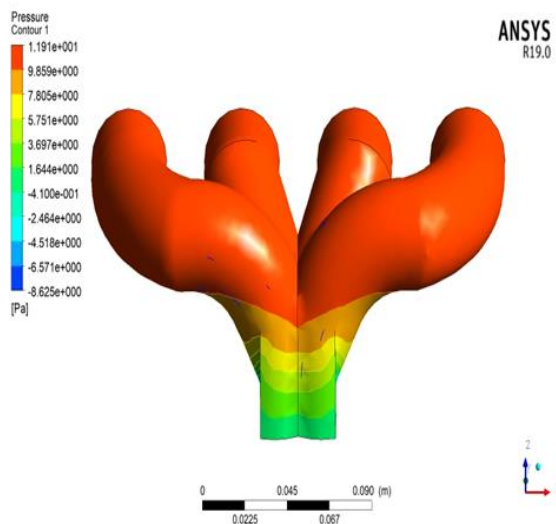


شکل ۱۱: سرعت سیال در مانیفولد دود بهینه‌سازی شده از نمای پایین

با توجه به جواب بدست آمده، سرعت سیال تغییری زیادی نکرده به دلیل آنکه سرعت سیال ورودی را ثابت در نظر گرفته‌ایم و زمان تحلیل را نیز یک ثانیه در نظر گرفتیم؛ اما می‌توان گفت در نمونه بهینه‌سازی شده سیال‌ها به صورت منظم در حال خروج از مانیفولد هستند.



شکل ۱۲: فشار در مانیفولد دود بهینه‌سازی شده از نمای پایین



شکل ۱۳: فشار در مانیفولد دود بهینه‌سازی شده از نمای پشت

با توجه به جواب‌های بدست آمده از نرم افزار انسیس – ماژول تحلیلی فلوئنت، می‌توان گفت مانیفولد دود پژو ۲۰۶ بهینه‌سازی شده در جلوگیری از تماس سیال به دیواره مانیفولد عملکرد بهتری نسبت به مانیفولد اصلی داشته و بیشترین فشار در دیواره مانیفولد برابر ۱۲ pa می‌باشد که در نواحی بالایی لوله‌ها می‌باشد.

۱۰- نتیجه گیری

و در انتها می‌توان گفت مانیفولد دود خودروی ۲۰۶ از طراحی تقریباً مناسبی بر خوردار می‌باشد ولی محل قرارگیری خروجی مانیفولد با توجه به ورودی مانیفولد در جای مناسبی نمی‌باشد. در طراحی بهینه انجام گرفته، مشکل خروجی را با جداسازی هر لوله و هدایت کردن آن‌ها به سوی پایین تا حدودی حل کرده‌ایم و جهت تماس کمتر سیال به جداره‌های مانیفولد، زوایای آن

را تغییر داده و همچنین تا حد الامکان از زوایای تند استفاده نشده است. با توجه به جواب بدست آمده از تحلیل، فشار سیال در جداره‌ها 4 pa از نمونه اصلی کمتر بوده و نشان دهنده موثر واقع بودن زوایا می‌باشد.

۱۱- پانویس‌ها

۱. Exhaust system
۲. Exhaust manifold
۳. Gas Exhaust Flow
۴. Ansys
۵. Catia
۶. Solidworks
۷. Proengineering

مراجع

[۱] R. Van Basshuysen, F. Schafer, *Internal Combustion Engine Handbook: Basics, Components, Systems, and Perspectives*, SAE International, USA, ۲۰۰۴.

[۲] محسن قاضی خانی، محمد ابراهیم فیض، پوریا نیکوئیان، بررسی آزمایشگاهی اثر کاهش فشار در مانیفولد دود با استفاده از فرایند بازگشت دود بر جرم باقیمانده سیلندر، ششمین کنفرانس سالانه دانشجویی مهندسی مکانیک، ایران، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، اسفند ۱۳۸۷.

[۳] مهدی خرازان، طراحی موتورهای پیستونی، انتشارات نما، مشهد، چاپ دوم، بهار ۱۳۹۵.

[۴] مجتبی حسنلو، سید غلامرضا میرحسینی، محمود صادق زاده، احمد باقری، آنالیز مودال و ارتعاشی استند تست موتور توربوشفت با استفاده از ANSYS، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی مکانیک جامدات، زمستان ۱۳۹۵.

[۵] نسرین ابراهیمی، علیرضا حسین نژاد وین، فرامرز سر حدی، فیروز فیروز کوهی مقدم، بررسی اثر زاویه‌ای دیفیوزر بر پارامترهای هیدرودینامیکی جریان آرام با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت، کنفرانس بین المللی یافته‌های نوین پژوهشی در مهندسی صنایع و مهندسی مکانیک، ۱۳۹۴.

[۶] حمید امرالهی بیوکی، مهدی محمودی کلیبر، تکنولوژی شاسی و بدنه، انتشارات ساد، چاپ اول، ۱۳۸۹.

تحلیل بارگذاری محوری بلبرینگ تماس زاویه ای با استفاده از سیمولیشن نرم افزار سالیدورک

میلاذ فراهانی علوی^۱، وحید مرادی^{۲*}، سعید مظلومی^۳، بهنام عبادی زاویه^۴

۱- گروه مهندسی خودرو، انزلی

۲- گروه مهندسی خودرو، انزلی

۳- گروه مهندسی خودرو، انزلی

۴- گروه مهندسی خودرو، انزلی

چکیده

مقدار بار وارد بر بلبرینگ یکی از پارامترهای مهم و تعیین کننده در انتخاب بلبرینگ ها است. همچنین بلبرینگ های بدون قفسه هم که به دلیل نداشتن قفسه تعداد ساچمه ها یا رول های بیشتری دارند از قابلیت آن بلبرینگ در حمل بار از بلبرینگ های دارای قفسه است. این بلبرینگ ها فقط بارهای محوری را تحمل می کنند. در این مقاله تحلیل بارگذاری محوری روی بلبرینگ تماس زاویه ای مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. رینگ های نصب شده بر روی شفت بلبرینگ واشرهای شفت نامیده می شوند و آن هایی که روی هوزینگ نصب می شوند، واشر هوزینگ نامیده می شوند. بلبرینگ های کف گرد در دو نوع یکطرفه که فقط بارهای محوری را می توانند در یک جهت تحمل کنند و نوع دوطرفه که بارهای محوری را در دو جهت تحمل می کنند همچنین عملکرد آن ها برای محورهای عمودی بهتر است. بلبرینگ های کف گرد یکطرفه دارای یک واشر شفت، یک واشر نشیمنگاه و مجموعه قفسه و ساچمه ها می باشند. این بلبرینگ ها تفکیک پذیر بوده و واشر ها را می توان مستقل از مجموعه ساچمه ها نصب کرد.

واژگان کلیدی: بلبرینگ، بار محوری، بارگذاری، تماس زاویه ای، شفت

۱- مقدمه

بیشتر پیشرفت های مهندسی بدون وجود بلبرینگ که اصطکاک را تا حد بسیار زیادی کاهش می دهند، امکان پذیر نمی باشد. با پیشرفت صنایع ماشین سازی اهمیت بلبرینگ آشکار گردیده شده است و اساس کلی که اکنون بلبرینگ بر اساس آن ساخته میشود از زمانهای قدیم باقی مانده و پیشگامان این صنعت در زمان امپراتوری روم بوده اند. اولین بلبرینگ مربوط به بلبرینگ است که از چوب ساخته شده بود و دارای ساچمه های برنزی بود و از نظر شکل کاملاً شبیه بلبرینگ های امروزی بود و در کشتی امپراتور روم بکار رفته شده است. بعد از آن لئوناردو داوینچی محاسباتی راجع به یاتاقان های غلطکی لغزشی انجام داد و از روی آن نمونه هایی ساخت. در اواخر قرن نوزدهم با توسعه صنعت دوچرخه سازی اولین تقاضا برای یاتاقان های بدون اصطکاک مطرح گردید و اولین کارخانه های ساچمه سازی در انگلستان و آلمان تاسیس شدند و در آمریکا نیز به نسبت خیلی کم بلبرینگ ساخته شد ولی تقاضا به آن حدی نبود که بتوان تولید کلی را شروع کرد. بعدها دانشمندی بنام "رابرت استریک" تحقیقات اساسی در مورد مهندسی بلبرینگ انجام داد و در همین زمان گسترش صنعت اتومبیل سازی تقاضا برای بلبرینگ را افزایش داد و در بین سالهای ۱۹۰۲ تا ۱۹۱۲ بیش از هفت نوع بلبرینگ ساخته شد.

بلبرینگ یا یاتاقان توپی گونه ای از چرخنده و از خانواده یاتاقان ها هستند که کاربرد وسیعی در ابزارهای مختلف مانند دیسک های سخت رایانه، اسکیت ها، صنایع بزرگ، خودروها، موتورها و غیره دارند. در این مقاله بر روی بلبرینگ های تماس زاویه ای تحقیق و بررسی انجام گرفته است. عملکرد قطعات این نوع بلبرینگ در جهت استفاده در صنعت خودروسازی و دیسک های سخت رایانه ای تشریح شده و در مرحله بعد طرحی جهت بهره وری از این مدل بلبرینگ های خود تنظیم برای صنایع فاقد این نوع بلبرینگ آورده شده است. همچنین بر روی چگونگی نصب و قرار گیری این بلبرینگ تجزیه و تحلیل انجام گرفته و مزایای استفاده از این تکنولوژی نوین در صنعت خودروسازی تشریح شده است. [۱-۸] هوانگ و همکارانش [۴-۱] پیش بینی های عمر باقی مانده برای توپ بلبرینگ بر اساس نقشه های سازماندهی خود و روش های شبکه عصبی برگشتی را مورد بررسی قرار دادند. آنان در این آزمایش از روش های شبکه عصبی که یکی از اجزای کلیدی مورد نیاز عمر مفید یاتاقان و نقشه پیش بینی تنظیم یک شاخص تخریب مناسب، استفاده کرده است. نتایج تجربی حاصل از این آزمایش نشان می دهد که روش های پیشنهادی جدید به طور قابل توجهی بهتر از دیگر روش ها می باشند. هرنوت و همکارانش [۵-۸] محاسبه ماتریس سختی زاویه تماس بلبرینگ با استفاده از رویکرد تحلیلی را مورد بررسی قرار دادند. آنان در این محاسبه ی خود ماتریس سختی تحمل برای بلبرینگ ها را در پنج درجه آزادی بارهای گریز از مرکز، تماس غیر هرنزی، یاتاقان نورد، ژيروسکوپیک و ملاحظیات مختلف و پیچیده بررسی کردند نتایج تحلیل ماتریس سختی زاویه تماس بلبرینگ را نشان می دهد. تحلیل ماتریس سختی بسیار آسان تر از دیگر محاسبه ها می باشد.

۲- عملکرد بلبرینگ تماس زاویه ای

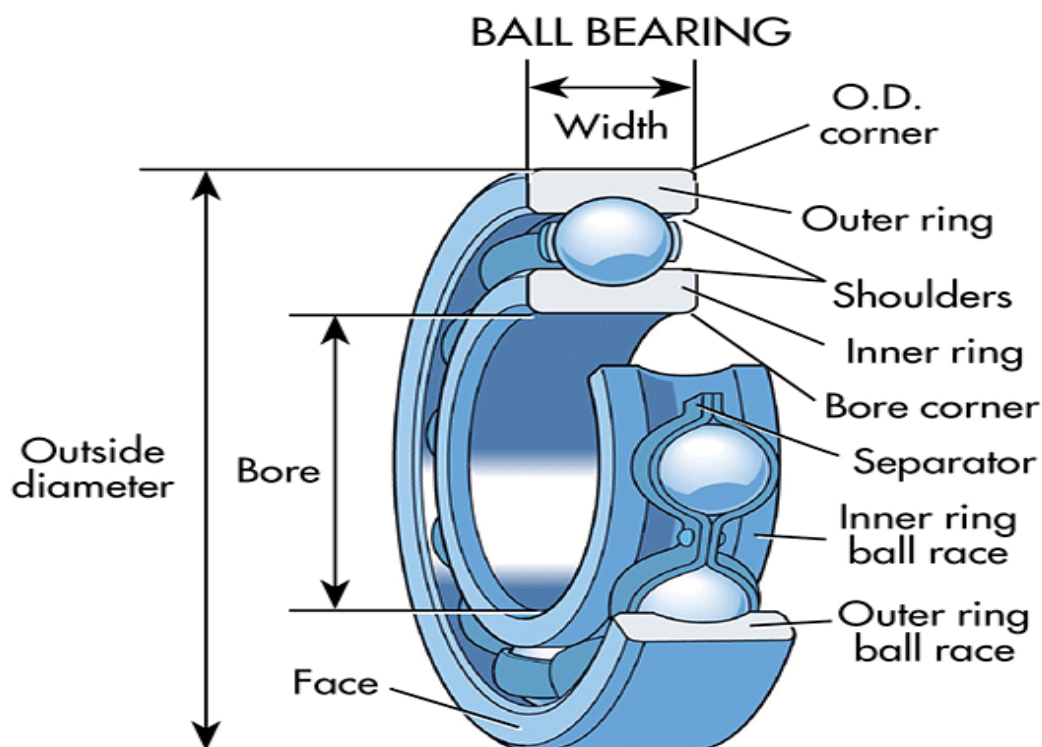
این نوع بلبرینگ ها علاوه بر تحمل بار شعاعی، بار محوری را در یک جهت می توانند تحمل کنند. در یک بلبرینگ بار از لایه خارجی به گوی ها اعمال می شود و از آنجا فشار به لایه داخلی منتقل می گردد. با توجه به کرووی گوی ها، نقطه تماس شان با لایه های درونی و بیرونی بسیار کوچک خواهد بود، در نتیجه می توانند بسیار نرم حرکت کنند؛ از سوی دیگر با توجه به کوچک بودن محل تماس، اگر فشار بیش از حدی به گوی ها وارد شود می تواند موجب تغییر شکل یا خرد شدن آن ها گردد، اعمال بار شعاعی بر بلبرینگ باعث ایجاد یک نیروی محوری نیز می شود که باید به طریقی مهار شود. به همین دلیل معمولاً این نوع بلبرینگ ها به صورت دوتایی بکار برده می شوند. بلبرینگ های تک ردیفه تماس زاویه ای معمولاً به دو صورت استاندارد تولید

می شوند. گروه اول بدون پسوند در جلوی شماره اصلی خود برای مواقعی استفاده می شوند که بلبرینگ به صورت تکی در موقعیت خود نصب می شود. گروه دوم با پسوند CB در مواردی است که بلبرینگ به صورت دوتایی نصب می شود. این گروه که عموماً اندازه های بزرگ بلبرینگ ها را شامل میشود به گونه ای جهت مصارف عمومی با یکدیگر مطابقت داده شده اند که بعد از نصب به لقی دلخواه از پیش تعیین شده رسیده و توزیع بار بر روی آنها به طور یکنواخت صورت گیرد در پسوند CB فوق الذکر، C نشان دهنده وجود لقی، B معرف مقدار آن می باشد. لقی های کمتر با CC و بالاتر با CA مشخص می شوند. وجود بار اولیه در بلبرینگ نیز با علامت GA, GB, GC مشخص می شود استفاده از دو بلبرینگ تماس زاویه ای در یک محل به خاطر موقعیت دهی محوری شافت از دو سمت و نیز در مواقعی است که استفاده از یک بلبرینگ برای مقدار بار اعمال شونده کافی نباشد.



شکل ۱: نمایی از بلبرینگ تماس زاویه ای برای استفاده در صنعت

با توجه به شکل ۱ بلبرینگ تماس زاویه ای دارای کنس یا حلقه های داخلی و بیرونی زاویه دار می باشند. یعنی دو کنس داخلی و خارجی امکان تحمل بارهای شعاعی و محوری ها نسبت به یکدیگر زاویه ای را می سازند که برای بلبرینگ امکان تحمل بارهای شعاعی و محوری همزمان را فراهم می آورد. هر مقدار که زاویه تماس بلبرینگ تماس زاویه ای بزرگتر باشد، قدرت تحمل بار محورب بیش تر خواهد بود.



شکل ۲: شماتیک داخلی بلبرینگ تماس زاویه ای

۲-۱- بلبرینگ های تماس زاویه ای از نظر نوع و طرح

*بلبرینگ های تماس زاویه ای یک ردیفه

*بلبرینگ های تماس زاویه ای دو ردیفه

*بلبرینگ های تماس زاویه ای با چهارنقطه تماس

۲-۲- علل خرابی بلبرینگ

مقدار بار بیشتر از حد پیش بینی شده

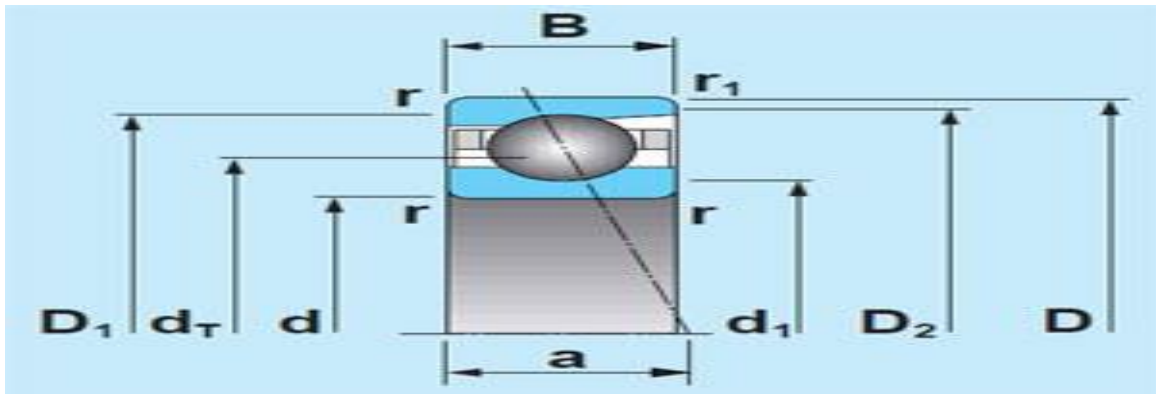
روانکاری ناقص یا نامناسب

استفاده نادرست

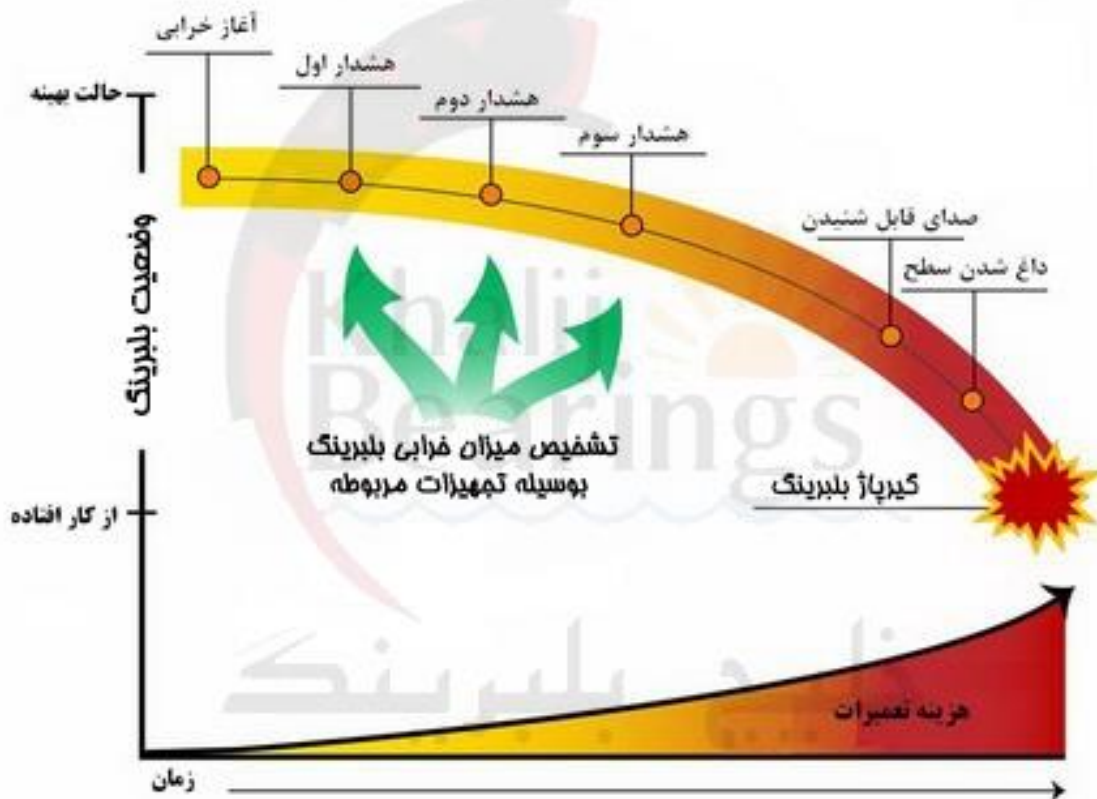
آب بندی غیر مؤثر

انطباق خیلی فشرده و در نتیجه لقی داخلی کمتر از حد لازم

جدول ۱: جداول انتخاب بلبرینگ ها

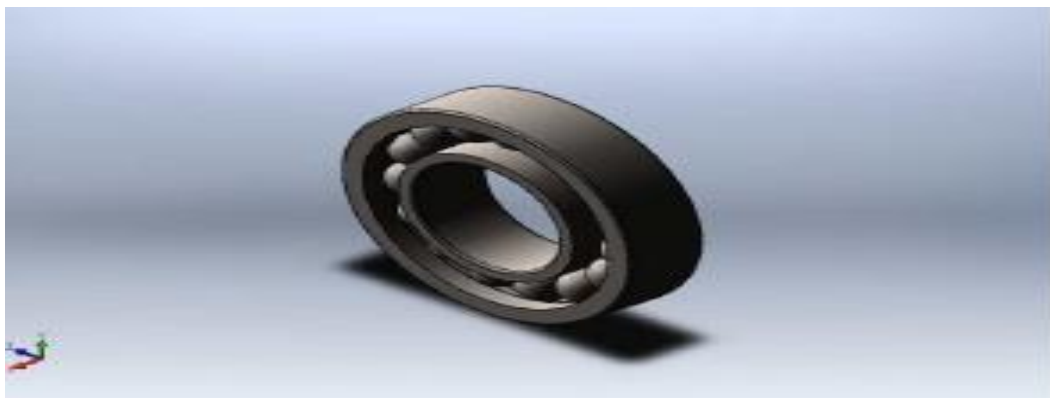


Basic Bearing	Primary dimensions					Limiting speeds		Load ratings		Abutment dimensions			Effective load centre a mm	Internal volume cm ³	PCD of lubrication jets d _T (DIN 628-6) mm	Mass Kg
	d	D	B	r min	r ₁ min	oil/air rev/min	grease rev/min	dynamic C _r	static C _{0r}	d ₁ min	D ₁ max	D ₂ max				
7903CTRSU 7903A5TRSU	17	30	7	0,3	0,15	71 400 59 300	44 200 36 800	5 000 4 750	2 940 2 800	19,5	27,5	28,8	6,6 9,0	0,9	21,8	0,016
7904CTRSU 7904A5TRSU	20	37	9	0,3	0,15	58 800 50 100	36 400 31 000	6 950 6 600	4 250 4 050	22,5	34,5	35,8	8,3 11,1	1,8	26,1	0,037
7905CTRSU 7905A5TRSU	25	42	9	0,3	0,15	50 700 44 400	31 400 27 500	7 850 7 450	5 400 5 150	27,5	39,5	40,8	9,0 12,3	2,0	31,1	0,042
7906CTRSU 7906A5TRSU	30	47	9	0,3	0,15	45 200 39 800	27 900 24 600	8 300 7 850	6 250 5 950	32,5	44,5	45,8	9,7 13,5	2,3	36,1	0,049
7907CTRSU 7907A5TRSU	35	55	10	0,6	0,3	39 900 35 200	24 700 21 800	12 100 11 400	9 150 8 700	40	50	52,5	11,0 15,5	3,6	42,6	0,074
7908CTRSU 7908A5TRSU	40	62	12	0,6	0,3	36 000 31 500	22 300 19 500	15 100 14 300	11 700 11 200	45	57	59,5	12,8 17,9	5,6	47,9	0,108
7909CTRSU 7909A5TRSU	45	68	12	0,6	0,3	32 400 28 400	20 000 17 600	16 000 15 100	13 400 12 700	50	63	65,5	13,6 19,2	6,2	53,4	0,128
7910CTRSU 7910A5TRSU	50	72	12	0,6	0,3	31 100 26 300	18 600 16 300	16 900 15 900	15 000 14 200	55	67	69,5	14,2 20,2	6,7	57,9	0,129
7911CTRSU 7911A5TRSU	55	80	13	1,0	0,6	26 900 23 600	16 600 14 600	19 100 18 100	17 700 16 800	61	74	75	15,5 22,2	8,5	64,0	0,179
7912CTRSU 7912A5TRSU	60	85	13	1,0	0,6	24 900 21 600	15 400 13 400	19 400 18 300	18 700 17 700	66	79	80	16,2 23,4	9,3	69,0	0,191
7913CTRSU 7913A5TRSU	65	90	13	1,0	0,6	23 000 20 000	14 200 12 400	20 200 19 100	20 500 19 400	71	84	85	16,9 24,6	9,9	74,0	0,205
7914CTRSU 7914A5TRSU	70	100	16	1,0	0,6	20 700 17 600	12 800 10 900	28 100 26 500	27 800 26 300	76	94	95	19,4 27,8	16,1	80,9	0,335
7915CTRSU 7915A5TRSU	75	105	16	1,0	0,6	19 300 16 300	11 900 10 100	28 600 26 900	29 300 27 700	81	99	100	20,1 29,0	17,1	85,5	0,354
7916CTRSU 7916A5TRSU	80	110	16	1,0	0,6	18 100 15 000	11 100 9 300	29 000 27 300	30 500 29 000	86	104	105	20,7 30,2	18,2	90,5	0,372
7917CTRSU 7917A5TRSU	85	120	18	1,1	0,6	16 500 13 900	10 200 8 800	39 000 36 500	40 500 38 500	92	113	115	22,7 32,9	24,7	98,8	0,533
7918CTRSU 7918A5TRSU	90	125	18	1,5	0,6	15 400 13 200	9 500 8 400	41 500 39 500	46 000 43 500	97	118	120	23,4 34,1	25,6	102,8	0,559
7919CTRSU 7919A5TRSU	95	130	18	1,5	0,6	14 400 12 700	9 000 8 200	42 500 40 000	48 000 45 500	102	123	125	24,1 35,2	26,9	107,7	0,584



شکل ۳: نمودار عمر بلبرینگ نسبت به زمان

با توجه به شکل ۳ هر بلبرینگی بنا بر عوامل محیطی و نوع کارایی طول عمر قابل حصولی دارد. البته تحقیقات نشان می دهد که بنا به دلایل مختلف، اکثر بلبرینگ ها به حداکثر طول عمر خود نمی رسند. عوامل مهمی در چرخه عمر بلبرینگ ها وجود دارند که با شناخت آنها می توان طول عمر بلبرینگ ها را افزایش داد. این عوامل عبارتند از: طریقه نصب، روان کاری، تراز، کنترل شرایط محیطی و در نهایت پیاده سازی بلبرینگ. با اعمال شرایط نگهداری درست و استفاده از ابزار مناسب، می توان طول عمر بلبرینگ را افزایش و در نتیجه هزینه تعمیر و نگهداری دستگاه ها را کاهش داد.



شکل ۴: نمایی از شکل مدل تحلیلی

Model Information



Model name: angular contact ball bearing_68_din
Current Configuration: PreviewCf

Solid Bodies			
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
BallsDetailed 	Solid Body	Mass: 0.00153006 kg Volume: 1.98709e-07 m ³ Density: 7700.01 kg/m ³ Weight: 0.0149946 N	C:\SOLIDWORKS Data\browsers\DIN\bearing s\ball bearings\angular contact ball bearing_68_din.sldprt Jul 31 05:30:42 2018

Solid Bodies			
نام اسناد و ارجاع	تحلیل شده به عنوان	خواص حجمی	مسیر سند / تاریخ اصلاح شده
 توپ جزئیات	بدن جامد	جرم: 0.00153006 kg جلد: 1.98709e-07 m ³ چگالی: 7700.01 kg/m ³ وزن: 0.0149946 N	C:\SOLIDWORKS Data\browsers\DIN\ bearing s\ball bearings\angular contact ball bearing_68_din.sldprt Jul 31 05:30:42 2018

جدول ۲: اطلاعات داده شده به مسئله توسط نرم افزار تجاری سالیدورک

Study Properties

Study name	Static 1
Analysis type	Static
Mesh type	Solid Mesh
Thermal Effect:	On
Thermal option	Include temperature loads
Zero strain temperature	298 Kelvin
Include fluid pressure effects from SOLIDWORKS Flow Simulation	Off
Solver type	FFEPlus
Inplane Effect:	Off
Soft Spring:	Off
Inertial Relief:	Off
Incompatible bonding options	Automatic
Large displacement	Off
Compute free body forces	On
Friction	Off
Use Adaptive Method:	Off
Result folder	SOLIDWORKS document (C:\SOLIDWORKS Data\brower\DII\bearings\ball bearings)

Units

Unit system:	SI (MKS)
Length/Displacement	mm
Temperature	Kelvin
Angular velocity	Rad/sec
Pressure/Stress	11/m ²

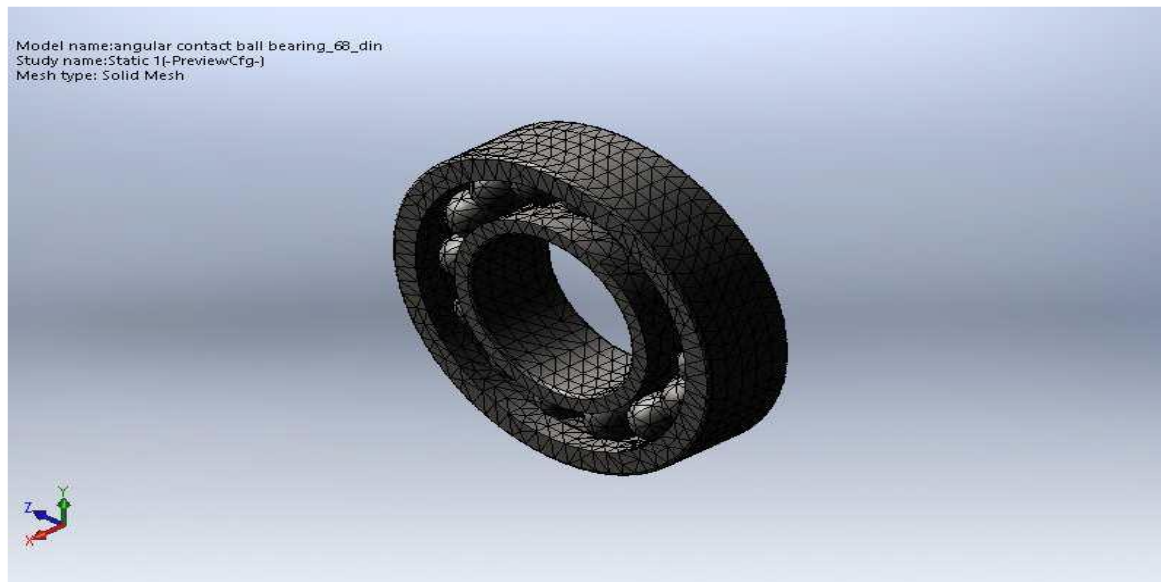
Study Propertie			
Study name	نام درس	Static 1	استاتیگ 1
Analysis type	نوع تجزیه و تحلیل	Static	استاتیگ
Mesh type	نوع مش	Solid Mesh	جامد مش
Thermal Effect:	اثر حرارتی:	On	فعال
Thermal option	گزینه حرارتی	Include temperature loads	شامل بارهای درجه حرارت
Zero strain temperature	دمای فشار صفر	298 Kelvin	293 کلوین
Include fluid pressure effects from SOLIDWORKS Flow Simulation	شامل اثرات فشار مایع از جریان شبیه سازی SOLIDWORKS	Off	غیرفعال
Solver type	نوع حل کننده	FFEPlus	FFEPlus
Inplane Effect:	اثر هواپیما	Off	غیرفعال
Soft Spring:	بهار نرم	Off	غیرفعال
Inertial Relief:	جبران سکون	Off	غیرفعال
Incompatible bonding options	گزینه های اتصال غیر سازگار	Automatic	خودکار
Large displacement	جابجایی زیاد	Off	غیرفعال
Compute free body forces	محاسبه نیروهای بدن آزاد	On	فعال
Friction	اصطکاک	Off	غیرفعال
Use Adaptive Method:	از روش سازگاری استفاده کنید	Off	غیرفعال
Result folder	پوشه نتیجه	SOLIDWORKS document (C:\SOLIDWORKS Data\brower\DIN\bearings\ball bearings)	سند SOLIDWORKS (C:\SOLIDWORKS Data\brower\DIN\bearings\ball bearings)

Units		واحدها
Unit system:	سیستم واحد	SI (MKS)
Length/Displacement	طول / جابجایی	mm
Temperature	درجه حرارت	Kelvin
Angular velocity	سرعت زاویه ای	Rad/sec
Pressure/Stress	فشار / استرین	N/m ²

۳- مدل تحلیلی

در این قسمت یک مدل تحلیلی برای تحلیل بارگذاری عمودی روی بلبرینگ به روش المان محدود ارائه شده است که بتواند رفتار سطح مقطع و تغییرات بلبرینگ در اثر اعمال بار محوری را پیش بینی نماید. مزیت مدل تحلیلی ارائه شده این است که در یک زمان محاسباتی بسیار کم تر نسبت به شبیه سازی اجزای محدود پیش بینی خوبی از هندسه و عملکرد بلبرینگ را مهیا می سازد. همچنین علاوه بر فهم بهتر نسبت به مکانیک شکل دهی نمونه، با مطالعه مدل تحلیلی فرآیند، درک بهتری برای

تفسیر نتایج بلبرینگ حاصل خواهد شد. شکل ۴ سیستم نرم افزاری در این مدل را نشان می دهد که جنس بلبرینگ از استیل آهن بوده و نوع تحلیل ایزوتروپیک الاستیک انعطاف پذیر خطی با ضریب پواسون ۰,۲۸ و مدول الاستیسیته 2.1×10^{11} و چگالی 7700 kg/m^3 برای تحلیل مذکور به کار برده شده است و فشار وارده بر روی بلبرینگ برای بارگذاری 11 m^2 می باشد.



شکل ۵: نمایی از قطعه شبکه بندی شده با استفاده از نرم افزار تجاری سالیدورک

با توجه به شکل ۵ قطعه مذکور با استفاده از نرم افزار تجاری سالیدورک قطعه را به هزاران قسمت تقسیم کرده تا آنالیز المانی بهتری انجام شود و میزان نیروهای وارده به هر قسمت از سطح بلبرینگ اعمال شود و روند حل مسئله بهتر انجام شود.

جدول ۲: داده های مسئله برای مش زنی توسط نرم افزار تجاری سالیدورک

Mesh information

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Include Mesh Auto Loops:	Off
Jacobian points	4 Points
Element Size	0.583843 mm
Tolerance	0.0291921 mm
Mesh Quality Plot	High

Mesh information - Details

Total Nodes	21954
Total Elements	12584
Maximum Aspect Ratio	142.5
% of elements with Aspect Ratio < 3	92
% of elements with Aspect Ratio > 10	0.0318
% of distorted elements(Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:05
Computer name:	MORTEZA

Mesh information			
Mesh type	نوع مش	Solid Mesh	جامد مش
Mesher Used:	مشرقی استفاده شده	Standard mesh	مش استاندارد
Automatic Transition:	انتقال اتوماتیک:	Off	غیرفعال
Include Mesh Auto Loops:	شامل حلقه های مش مش:	Off	غیرفعال
Jacobian points	نقاطی Jacobian	4 Points	4 امتیاز
Element Size	اندازه عنصر	0.583843 mm	
Tolerance	تحمل	0.0291921 mm	
Mesh Quality Plot	طرح کیفیت مش	High	خوب

Mesh information - Details		
Total Nodes	مجموع گره ها	21954
Total Elements	عناصر مجموع	12584
Maximum Aspect Ratio	حداکثر نسبت ابعاد	142.5
% of elements with Aspect Ratio < 3	درصد عناصر یا نسبت ابعاد > 3	92
% of elements with Aspect Ratio > 10	% از عناصر یا نسبت ابعاد < 10	0.0318
% of distorted elements (Jacobian)	% از عناصر تحریف شده (Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	زمان انجام مش (hh:mm:ss):	00:00:05
Computer name:	نام کامپیوتر:	MORTEZA

Resultant Forces

Reaction forces

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N	5.77673e-09	7.33256e-09	-1.59579e-08	1.84876e-08

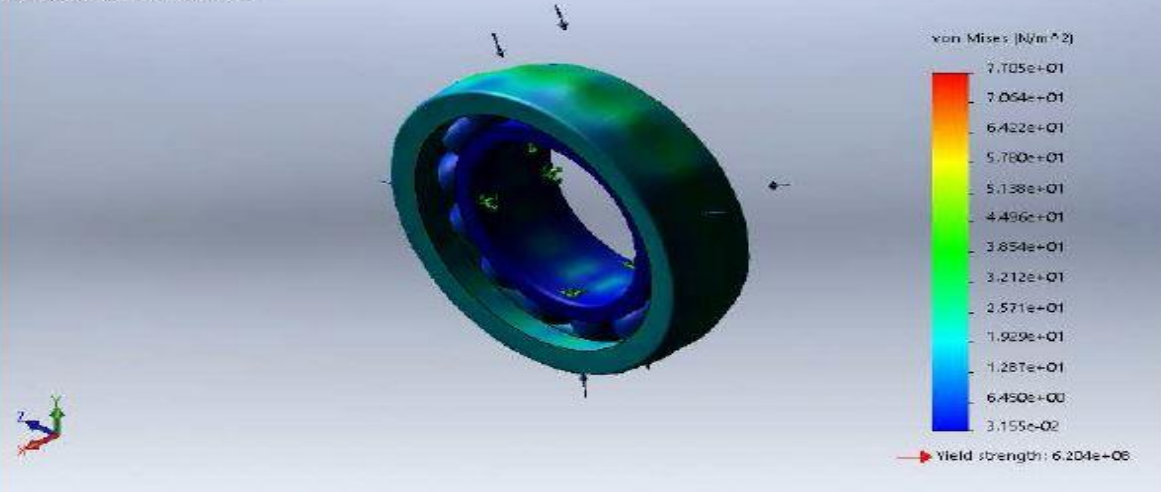
Reaction Moments

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N.m	0	0	0	0

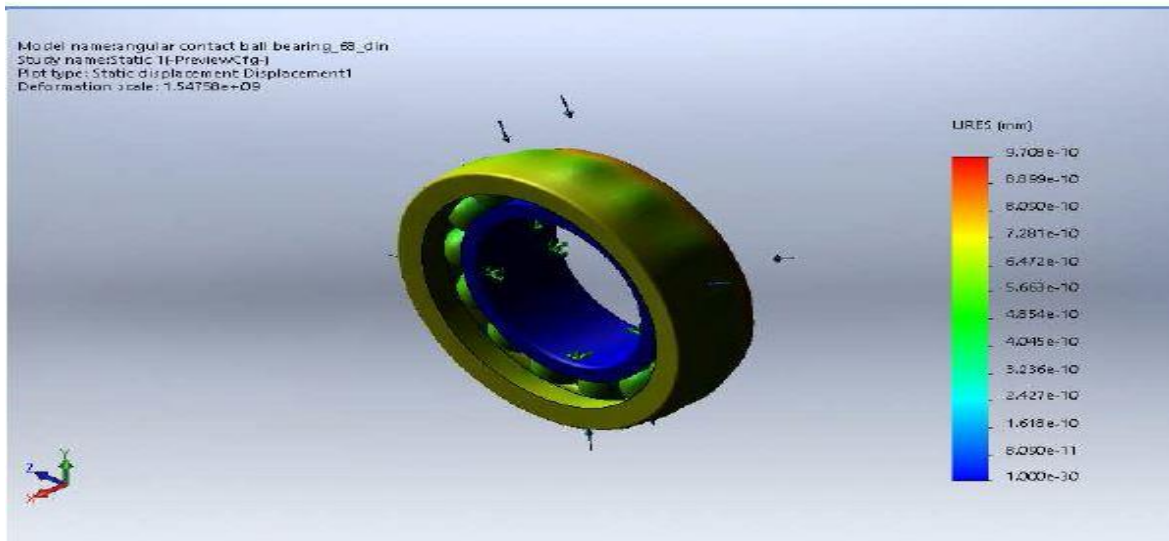
Study Results

Name	Type	Min	Max
Stress1	VON: von Mises Stress	3.155e-02 N/m ² Node: 9488	7.705e+01 N/m ² Node: 19226

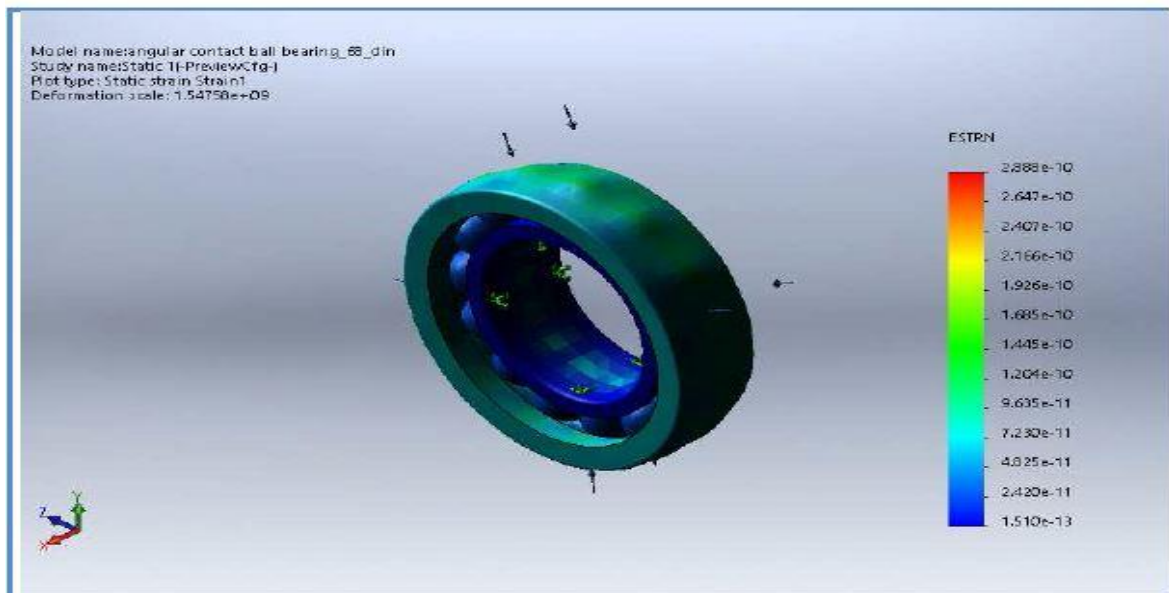
Model name: angular contact ball bearing_88_d.in
Study name: Static 1(PreviewCtrl)
Plot type: Static nodal stress Stress1
Deformation scale: 1.54758e+09



Name	Type	Min	Max
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0.000e+00 mm Node: 1105	9.708e-10 mm Node: 11644



Name	Type	Min	Max
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	1.510e-13 Element: 11031	2.888e-10 Element: 4997



شکل ۶: نمایی از نتیجه گیری در ۳ حالت اعمال بار بر روی سطح بلبرینگ

۴- نتیجه گیری

با پیشرفت صنایع ماشین سازی اهمیت بلبرینگ آشکار گردیده شده است و اساس کلی که اکنون بلبرینگ بر اساس آن ساخته میشود. بیشتر پیشرفت های مهندسی بدون وجود بلبرینگ که اصطکاک را تا حد بسیار زیادی کاهش می دهند، امکان پذیر نمی باشد. بلبرینگ کف گرد و بلبرینگ چهار نقطه تماس برای تحمل بارهای محوری خالص کم تا متوسط مناسب می باشند. بلبرینگ کف گرد یکطرفه فقط بار محوری در دو جهت نیاز به بلبرینگ کف گرد دوطرفه است. در این پژوهش بر روی تحلیل بار محوری وارد بر بلبرینگ تحقیق انجام گرفته است. نتایج حاصل از این تحقیق را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱. روش تحلیل بار محوری با استفاده از سیمولیشن حرارتی نرم افزار سالیدورک، روشی ساده و مناسب برای تحلیل حرارتی اجزای مختلف موتور است.

۲. در روش تحلیل بار محوری با استفاده از سیمولیشن تنش نرم افزار سالیدورک هر چه تعداد گره ها بیشتر باشد دقت محاسبات بالاتر بوده و همچنین زمان حل افزایش می یابد.

مراجع

[۱] H. Qiu, J. Lee, J. Lin, G. Yu, Robust performance degradation assessment methods for enhanced rolling element bearing prognostics, *Advanced Engineering Informatics* ۱۷ (۲۰۰۳) ۱۲۷-۱۴۰.

[۲] P.W. Tse, Y.H. Peng, R. Yam, Wavelet analysis and envelope detection for rolling element bearing fault diagnosis-their effectiveness and flexibilities, *Journal of Vibration and Acoustics-Transactions of the ASME* ۱۲۳ (۲۰۰۱) ۳۰۳-۳۱۰.

[۳] X. Lou, K.A. Loparo, Bearing fault diagnosis based on wavelet transform and fuzzy inference, *Mechanical Systems and Signal Processing* ۱۸ (۲۰۰۴) ۱۰۷۷-۱۰۹۰.

[۴] T. Williams, X. Ribadeneira, S. Billington, T. Kurfess, Rolling element bearing diagnostics in run-to-failure lifetime testing *Mechanical Systems and Signal Processing* ۱۵ (۲۰۰۱) ۹۷۹-۹۹۳.

[۵] International Standards Organization, ۱۹۹۱, International Standard ISO ۲۸۱/۱, "Rolling Bearings-Dynamic Load Ratings and Rating Life-Part ۱, Calculation methods."

[۶] Houpert, L., ۱۹۹۰, "Prediction of Bearing, Gear and Housing Performances," *Proceedings of the Rolling Bearing Practice Today Seminar*, I. Mech. E., London, February ۱۹۹۰.

[۷] Houpert, L., ۱۹۹۷, "A Uniform Analytical Approach for Ball and Roller Bearings Calculations," *ASME J. Tribol.*, ۱۱۹, pp. ۸۵۱-۸۵۸.

[۸] Palmgren, A., ۱۹۵۹, *Ball and Roller Bearing Engineering*, Burkbank.

آنالیز و تحلیل پیستون موتورهای بنزینی با استفاده از سیمولیشن حرارتی نرم افزار سالیدورک

سید جاوید اطهر^۱، میلاد فراهانی علوی^{۲*}، عرفان حسینخانی مجد^۳

۱- گروه مهندسی خودرو، انزلی

۲- گروه مهندسی مکانیک، همدان

۳- گروه مهندسی خودرو، انزلی

چکیده

پیستون یکی از قطعات مهمی در موتور است که عملکرد آن در موتور از اهمیت بالایی برخوردار است. در یک موتور احتراق داخلی بیشترین میزان حرارت در محفظه احتراق صورت می گیرد که احتراق حاصل از انفجار، بار و حرارت بالایی را به پیستون وارد میکند و نیروهای تراکمی و انبساطی را متحمل می شود. تحلیل حرارتی و محاسبه توزیع دما در پیستون برای کنترل تنش های حرارتی و تغییر شکل ها در محدوده مجاز، اهمیت دارد. در این مقاله تحلیل حرارتی و میزان اثر گذاری دما بر روی پیستون و تغییر شکل های انجام شده و همچنین نمودار و جداول حاصله با استفاده از نرم افزار سالیدورک ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: تحلیل حرارتی، پیستون، خودرو، سیمولیشن، سالیدورک

۱- مقدمه

درون محفظه احتراق می‌تواند پیستون قطعه استوانه‌شکلی است که در داخل سیلندر با اتصال داشتن به شاتون حرکت رفت و برگشتی داشته، و زمان‌های موتور را به وجود می‌آورد. یک پیستون از قسمت‌های مختلفی از جمله تاج پیستون، دامنه پیستون، شیار رینگ‌ها و سوراخ‌گزن‌پین تشکیل شده است. چند شیار در قسمت سر پیستون قرار دارد که محل نصب رینگ‌های آن است و فضای بالای پیستون را نسبت به محفظه‌ی کارتر آب‌بندی می‌کند. همچنین روی پیستون سوراخی برای قرار گرفتن گزن‌پین جهت اتصال به شاتون تعبیه شده است [۱]. در موتورهای احتراق داخلی بیشترین فشار بر روی پیستون وارد می‌شود (فشار گاز درون محفظه احتراق می‌تواند به حدود $180-200$ bar برسد) که سرعت خطی پیستون حدود 20 m/s و دمای کف پیستون تا حدود $400^{\circ}F$ می‌رسد و به عبارتی نیروی‌های تراکمی و انبساطی را متحمل می‌شود. جنس پیستون‌ها عمداً از آلومینیوم یا چدن ساخته می‌شود که پیستون‌های آلومینیومی به دلیل سبکی و انتقال حرارت و ارزان بودن بیشترین کاربرد را در صنعت خودرو سازی دارد که جهت ساخت پیستون از روش ریخته‌گری یا آهنگری استفاده می‌شود [۲]. در تحقیقی که بوسیله‌الدز، کاسانوا و رویرا انجام شده، تحلیل پیستون با استفاده از روش اجزا محدود صورت گرفته است. در این مطالعه به بررسی تفاوت‌های بین پیستون آلومینیومی و پیستون ساخته شده از مواد کربنی، در رابطه با میزان انبساط حرارتی و هدایت حرارتی آنها پرداخته شده است. برای مقید کردن پیستون، چند گره بر روی دامن پیستون، مقید شده است [۳].

جهت ساخت پیستون از طرح‌های مختلفی در موتورهای مختلف استفاده می‌شود که باتوجه به کارکرد موتور تعیین می‌شود. یکی از تحلیل‌های حائز اهمیت در حوزه مسائل جامدات، تحلیل بارهای حرارتی می‌باشد. تشخیص و تعیین مقدار بار و دما بستگی به جنس، اندازه، تعیین و توزیع دقیق محدوده دمایی در جسم است. بیشترین دمای هر نقطه از پیستون نباید از 66% دمای ذوب آلیاژ مربوطه بیشتر شود. این محدوده دمایی برای آلیاژ پیستون موتورهای امروزی حدود $640^{\circ}K$ است. تاج پیستون از جمله داغ‌ترین قطعه یک موتور احتراق داخلی است. به همین دلیل سیستم خنک‌کاری در درجه اول وظیفه دارد که دمای تاج پیستون را در حد مطلوب نگه دارد. زیرا اگر دمای تاج پیستون از حد بهینه خود بالاتر برود باعث افت کارایی و در نتیجه سوختگی پیستون خواهد شد. همچنین افت بیش از حد دمای پیستون باعث افزایش اتلاف حرارتی از آن می‌شود. بنابراین توصیه شده است که پیستون موتور احتراقی در محدوده بیشترین دمای کارکرد خود کار کند و نباید نرخ خنک‌کاری موتور طوری باشد که دمای پیستون را بیش از حد پایین آورد [۴،۵]. لذا جهت استحکام، انتقال حرارت بالا، خاصیت لغزشی، نقطه ذوب بالا، قابلیت حرارتی و قابلیت جذب روغن بیشتر، نوع پوشش پیستون‌ها را از جنس‌هایی همانند سرب، قلع، گرافیت، اکسید و... پوشش می‌دهند.

در این مقاله تحلیل حرارتی پیستون با دقت بالا و محاسبات دقیق با استفاده از سیمولیشن حرارتی نرم افزار سالیدورک در ناحیه رینگ‌ها و تاج پیستون مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. همچنین به تحلیل تنش و تعیین نقاط بحرانی پیستون پرداخته شده است. تنش‌های حرارتی و مکانیکی به طور مجزا محاسبه و نشان داده شده که تنش‌های حرارتی در کنار تنش‌های مکانیکی اهمیت بالاتری دارند.

۲- پیستون و کاربردهای آن

پیستون خودرو داخل سوراخ های ایجاد شده در داخل بلوک سیلندر (بوش سیلندر) ، بالا و پایین می رود و این حرکت طولی پیستون داخل سیلندر ، توسط شاتون به حرکت چرخشی تبدیل شده و به میل لنگ داده می شود. جهت افزایش قدرت و کشش خودرو از چندین سیلندر و پیستون در خودرو استفاده می کنند. به عنوان مثال، در دو مدل خودرو با اندازه پیستون های مشابه ، خودرویی که دارای پیستون بیشتری می باشد ، قدرت بیشتری خواهد داشت. بدیهی است که در بلوک سیلندر یک خودرو، به تعداد پیستون های آن بوش سیلندر تعبیه شده است. بنابراین هرچقدر تعداد پیستون های یک خودرو بیشتر شود ، حجم و اندازه بلوک سیلندر آن خودرو نیز افزایش پیدا می کند. به عبارتی اگر گفته شود خودرویی چهار سیلندر می باشد ، بلوک سیلندر آن ظرفیت قرارگیری چهار پیستون داخل آن را دارا می باشد [۶]. در هنگام حرکت پیستون، انبساط تا ۱۸۰۰۰ N (۴۰۰۰ lb) نیرو به طور ناگهانی به کف پیستون وارد می شود. هنگامی که خودرو افزایش سرعت داشته باشد، این حالت در هر سیلندر ۳۰ تا ۴۰ بار در ثانیه رخ می دهد. دمای کف پیستون به $2200^{\circ}C$ ($4000^{\circ}F$) یا بیشتر می رسد. پیستون از آلیاژ آلومینیوم ساخته می شود (آلیاژ آلومینیوم مخلوطی از آلومینیوم و فلز های دیگر است)، زیرا فلز سبکی است. وزن هر پیستون در حدود 0.450 kg (۱ lb) است. جهت کاهش وزن پیستون و همچنین جایی برای وزنه های تعادل میل لنگ، دامنه و یا قسمت پایین پیستون تراش داده می شود. قطر پیستون های موتور خودرو بین ۷۶-۱۲۲ mm (۳-۴ in) تغییر می کند. که این قطر و وزن در موتور های دیزل ممکن است تفاوت داشته باشد. لازم به ذکر است که همه پیستون ها باید هم وزن باشند تا موتور لرزش نشود.

شکاف افقی پیستون ها در زیر رینگ ها می باشد و به عنوان سد حرارتی ، از هدایت گرمای قسمت رینگ ها به بدنه پیستون که دارای حداقل بازی نسبت به سیلندر است، جلوگیری کند. پیستون های شکاف دار T شکل، دارای دو شیار افقی و عمودی هستند که شکاف افقی آنها نزدیک سر پیستون در زیر رینگ ها، و شکاف عمودی آنها در قسمت راهنمای پیستون قرار دارد. در طرف مقابل، فقط یک شکاف افقی ایجاد می شود. شیار عمودی ضمن ایجاد حالت ارتجاعی در بدنه پیستون در موقع انبساط قسمت راهنمای پیستون را محافظت می کند. شیار در مقابل انبساط زیاد عکس العمل نشان داده، بر بدنه پیستون، در قسمتی که محور های گژن پین قرار دارد، بار زیادی وارد نمی شود. بیشترین نیرو به دامنه فعال پیستون که در سطوح عمود بر تکیه گاه گژن پین است وارد می شود. اندازه شکاف عمودی پیستون، نشان دهنده مقدار ارتجاعی بودن آن است. حالت ارتجاعی بیش از اندازه پیستون باعث لرزش و تکان زیاد پیستون در سیلندر می شود و نیز آن را از حالت اصلی خود خارج می کند. در چنین حالتی نشتی گاز از کناره های پیستون، افزایش یافته و روغن سوزی موتور زیاد تر می شود. اگر شیار روی پیستون کاملاً عمود باشد ، در سیلندر خط ایجاد می شود، و در دیواره برآمدگی به وجود می آید ؛ لذا شیار را کمی مایل می سازند.

جنس پیستون ها از چدن یا آلومینیوم می باشد که پیستون های چدنی بدنه ای بزرگ تر و سنگین تر دارند و از آن ها در بعضی از خودرو های دیزلی پر قدرت استفاده می شود. در این نوع پیستون ها، ممکن است اتاق احتراق روی سر پیستون باشد. امروزه در خودرو های سواری و حتی موتور های دیزلی، از پیستون های آلومینیومی، به دلیل سبکی و انتقال حرارت بهتر استفاده می گردد، که به دو روش ریخته گری یا آهنگری ساخته می شوند. گرچه امروزه پیستون های آلومینیومی ریختگی رواج بیشتری دارند اما نوع آهنگری آن برای موتور های سنگین و پر قدرت استفاده می شود. پیستون ریختگی متخلخل است و برای دوران بیش از ۵۰۰۰ PRM مقاوم نیست. در حالی که پیستون ساخته شده به وسیله آهنگری بدنه ای فشرده و متراکم دارد و حدود ۷۰٪ مقاوم تر از نوع ریختگی آن است. این نوع پیستون ها، انتقال حرارت بهتری دارند. از معایب پیستون های آلومینیومی، انبساط زیاد بدنه ی آن است که طراحان مجبور می شوند برای جلوگیری از گریباز، پیستون را با لقی زیاد بسازند، مگر آن که با طرح هایی این انبساط را کاهش دهند. با اضافه کردن درصدی سیلیکون به آلومینیم (حدود ۰.۱۶٪) مقدار انبساط حرارتی به

نحو چشم گیری کاهش می یابد. بنابراین پیستون با لقی کمتری ساخته می شود. در مواقعی در راستای گژن بین قطر پیستون را کمتر در نظر می گیرند تا پیستون در حالت سرد کمی متمایل به بیضی شود تا این که در دماهای بالا پیستون حالت گرد به خود بگیرد. از طرف دیگر، پیستون سیلیکون دار ترد و شکننده اند و هنگام پرس کردن گژن بین خطر شکستن پیستون وجود دارد. قسمت سر پیستون که محل قرار گرفتن رینگ های آن است کاملاً دایره ای شکل است و در معرض حرارت بیشتری قرار دارد. به همین منظور قطر آن را حدود $0.7 - 0.5$ mm کوچک تر از قطر دامنه ی پیستون طراحی می کنند [۷].

۳- نتایج

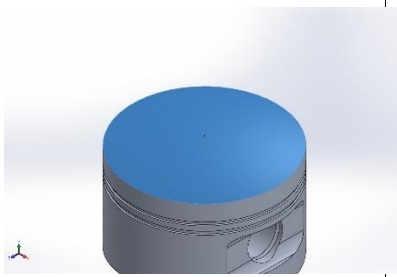
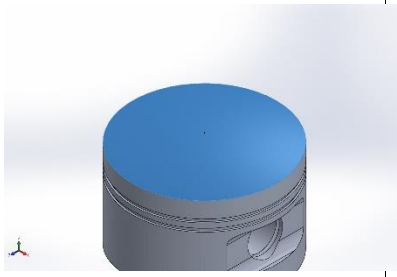
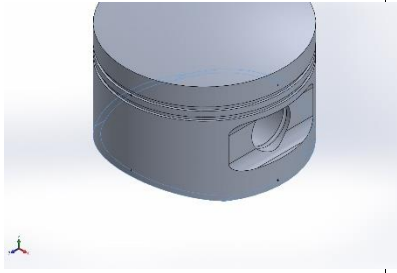
در جدول (۱) مشخصات بدنه، خواص و نوع شبکه بندی پیستون (مش بندی) نشان داده شده است.

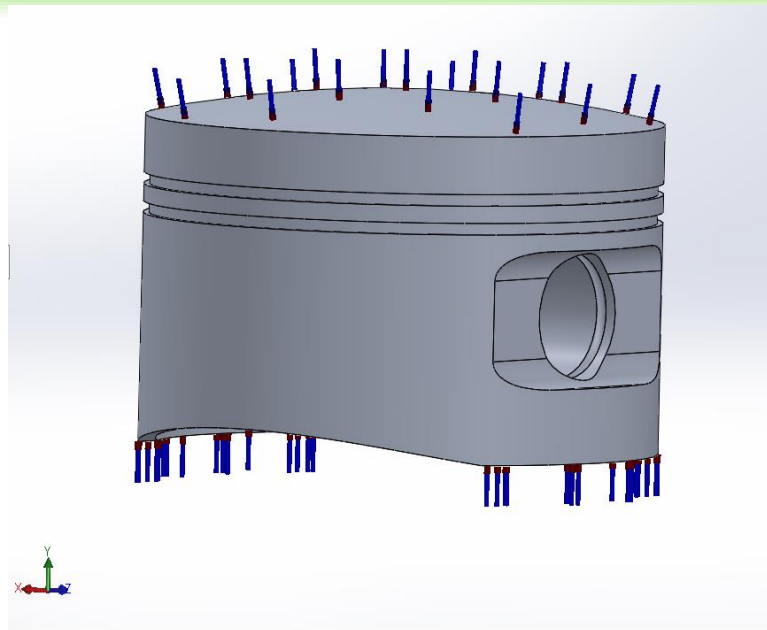
جدول (۱): مشخصات کلی پیستون مدل سازی شده

پیستون	
وزن:	۴,۴۸۸۵۱ N
چگالی:	2700 kg/m^3
حجم:	0.00169634 m^3
جرم:	۰,۴۵۸۰۱۱ kg
قطر:	۹۰ mm
ارتفاع دامنه:	۴۰ mm
نام مواد:	۱۰۶۰ Alloy
نوع مدل:	Linear Elastic Isotropic
ضریب حرارتی:	200 W/(m.K)
گرمای ویژه:	900 J/(kg.K)
جرم چگالی:	2700 kg/m^3
سایز المان:	۲,۷۶۸۵۶ mm
تلرانس:	۰,۱۳۸۴۲۸ mm
کیفیت مش:	High
تعداد کل گره ها:	۹۶۷۵۰
تعداد کل المان ها:	۶۳۳۶۳

در جدول (۲) شار حرارتی عبوری تاج پیستون نشان داده شده است و همانطور که ملاحظه می گردد دمای پیستون که از داغ ترین قسمت های موتور بوده، تغییرات دمایی بیشتری نسبت به سیلندر دارد؛ لذا خستگی حرارتی بیشتری در آن ایجاد می شود.

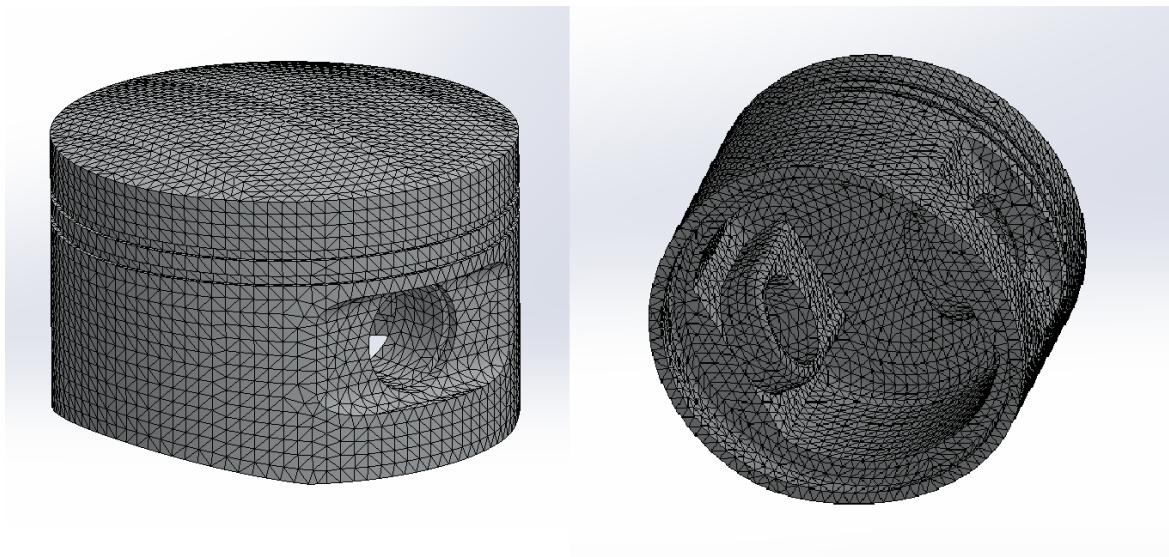
جدول (۲): مشخصات حرارتی پیستون مدل سازی شده

Load name	Load Image	Load Details
Temperature-۱		Entities: ۱ face(s) Temperature: ۴۴۰ Kelvin
Heat Power-۱		Entities: ۱ face(s) Heat Power Value: ۴۴۰ W
Temperature-۲		Entities: ۴ face(s) Temperature: ۴۰۰ Kelvin



شکل ۱- حالت بارگذاری دما بر روی کف و قسمت پایینی دامنه پیستون

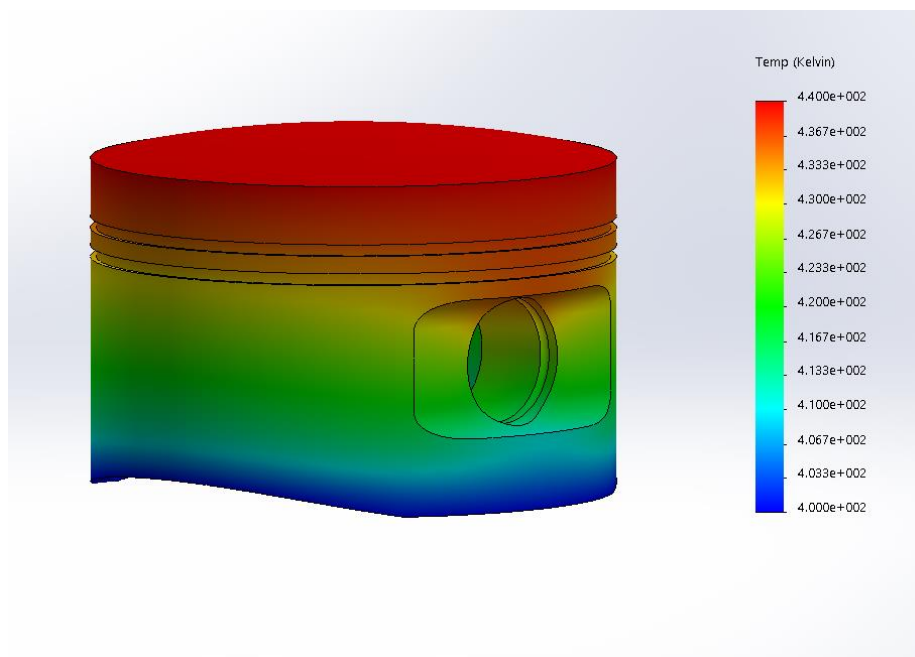
همانطور که در شکل (۱) مشاهده می شود نحوه بار گذاری بر روی تاج و دامنه پیستون بصورت بارگذاری گسترده اعمال گردیده است. نکته مهم دیگری که می توان اشاره نمود آن است که، نیروی وارده از طرف سیلندر اگرچه نسبت به نیروی های دیگر کوچک تر است، اما باعث ایجاد تنش زیادی در دامنه پیستون می گردد. این موضوع زمانی شدیدتر می شود که در اثر سایش، لقی مابین پیستون و لاینر بیشتر شده و باعث افزایش حرکت ثانویه پیستون می شود که موجب افزایش میزان بارهای تناوبی در ناحیه مشخص شده می گردد.



شکل ۲- حالت شبکه بندی شده (مش بندی) پیستون

برای جلوگیری از ایجاد خطای حرکت جسم صلب در نرم افزار سالیدورک باید پیستون مقید شود. همانگونه که در شکل (۲) ملاحظه می گردد، در انتخاب گره هایی که باید مقید شوند به دو عامل مهم باید توجه داشت؛ اول اینکه این گره ها باید تا حد

امکان از محل اعمال بارهای مکانیکی فاصله داشته باشد. دوم اینکه این گره ها باید در نقاطی انتخاب شوند که تغییر مکان آنها در حالت واقعی مسئله کم ترین باشد.



شکل ۳- نمای حرارتی پس از تحلیل پیستون مدلسازی شده

در شکل (۳) نمای حرارتی تحلیل پیستون یک موتور بنزینی مشاهده می شود که دما بصورت یکنواخت از کف گنبدی شکل پیستون تا کف دامنه پایینی امتداد پیدا کرده است. همچنین در این شکل بطور شماتیک تنش های ناشی از تغییر شکل های حرارتی در تاج پیستون مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. در زمان انجام احتراق و داغ شدن پیستون، در اثر وجود گرادیان دما و انبساط پیستون، تنش های فشاری در تاج پیستون بوجود می آیند و همچنین در زمان سرد شدن پیستون نیز (به ویژه در مرحله مکش) ناحیه تاج در برابر تنش های کششی قرار می گیرند.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش بر روی تحلیل پیستون تحقیق انجام گرفته است. نتایج حاصل از این تحقیق را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- ۱- روش تحلیل حرارتی با استفاده از سیمولیشن حرارتی نرم افزار سالدورک، روشی ساده و مناسب برای تحلیل حرارتی اجزای مختلف موتور است.
- ۲- خنک کاری پیستون از طریق برخورد جت روغن به زیر پیستون، مقدار زیادی از گرمای پیستون را انتقال میدهد.
- ۳- در روش تحلیل حرارتی با استفاده از سیمولیشن حرارتی نرم افزار سالدورک هر چه تعداد گره ها بیشتر باشد دقت محاسبات بالاتر بوده و همچنین زمان حل افزایش می یابد.

- ۴- تنش های حرارتی در ناحیه دامن پیستون که گرادیان دما کمتر است، کمترین مقدار را دارند. همچنین در ناحیه تاج پیستون و رینگ ها که گرادیان دما شدیدتر است، بیشترین میزان تنش رخ می دهد.
- ۵- برای تعیین تنش های حرارتی هیچ قیدی بر پیستون اعمال نشد، اما بازهم دیده می شود که میزان تنش های حرارتی نیز قابل توجه است، این تنش ها فقط ناشی از توزیع غیر یکنواخت دما در پیستون هستند. این موضوع اهمیت تنش های حرارتی و ضرورت تحلیل حرارتی دقیق پیستون برای طراحی بهینه تر را نشان می دهد.

مراجع

[۱] مرادی رضا، آبیاری بیدگلی اسدالله: مولد خودروهای سواری. چاپ اول. شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران، تهران، ص ۱۵۰-۱۴۹، ۱۳۹۵.

[۲] Silva. F.S., "Fatigue on Engine Pistons—A Compendium of Case Studies", Journal of Engineering Failure Analysis, No, ۱۳, pp. ۴۸۰- ۴۹۲, ۲۰۰۶.

[۳] M.Valdes, J. Casanova and A. Rovira, "Design of Carbon Pistons Using Transient Heat Transfer and Stress Analyses", SAE Paper, No. ۰۱-۳۲۱۷, ۲۰۰۱.

[۴] Mohammadi. A., Yaghoubi. M. and Rashidi. M., "Analysis of Local Convective Heat Transfer in a Spark Ignition Engine", Journal of Engineering Failure Analysis, No. ۱۳, pp. ۴۸۰-۴۹۲, ۲۰۰۶.

[۵] Hywood. J. B., "Internal Combustion Engine Fundamentals", Mc Grow-Hill, New York, ۱۹۸۸.

[۶] <http://hyunda.ir/car-technicality/engine/motive-parts/piston.html>

[۷] <http://www.denama.ir>