



کمینه سازی وزن پیستون کمپرسورهای رفت و برگشتی نئومن ایزر با روش الگوریتم ژنتیک

کمال علینقی حسین آبادی¹، سعید گلابی^{2*}

1- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان

2- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان

* کاشان، صندوق پستی 87317-51167 kashanu.ac.ir, golabi-s@kashanu.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 7 اردیبهشت 1400

داوری اولیه: 31 اردیبهشت 1400

پذیرش: 21 تیر 1400

کلیدواژگان:

کمپرسور رفت و برگشتی،

پیستون

آلیاژهای آلومینیوم

بهینه سازی

الگوریتم ژنتیک

در قسمت بنزین سازی پالایشگاه اصفهان از کمپرسور مدل افقی دو طرف رفت و برگشتی شرکت نئومن ایزر¹ در سه مرحله تراکم استفاده می شود. از آنجا که استفاده از روغن در این نوع از کمپرسورها مجاز نمی باشد از کفشک پیستون² جهت جلوگیری از سایش بین پیستون و روکش سیلندر³ در محفظه تراکم استفاده می شود. سرعت سایش روکش سیلندر و کفشک پیستون و به دنبال آن رینگ های پیستون در سه مرحله یکسان نبوده و لذا زمان تعمیر و نگهداری آنها یکسان نمی باشد. در این مطالعه در نظر است با استفاده از الگوریتم ژنتیک⁴ جرم پیستون را با رعایت قیود طراحی اعم از حداقل ضخامت جداره پیستون و در محدوده بودن تنش های فون میسز به حداقل میزان ممکن کاهش داد تا در نهایت عمر کفشکها، روکش سیلندر، دسته پیستون⁵ و ... با کاهش وزن پیستون افزایش و به دنبال آن شدت سایش آنها کاهش یابد. یکی از دلایل سایش، وزن سنگین پیستون و ملحقات آن بوده که در این خصوص لازم است پیستون بهینه شده با کاهش جرم، تمامی معیارهای مکانیکی لازم مانند معیارهای استاتیکی، دینامیکی، خستگی و تغییرشکل های مجاز را برآورده نموده و در محدوده مجاز طراحی قرار گیرد. لذا در این تحقیق آلیاژ آلومینیوم 7075 مورد بررسی قرار گرفته و به کمک الگوریتم ژنتیک هندسه بهینه پیستون با کدنویسی در نرم افزار پایتون⁶ تعیین شده که موجب گردید وزن پیستون چدنی از 780 کیلوگرم به 271 کیلوگرم از جنس آلومینیوم و بعد از بهینه سازی تا 261 کیلوگرم کاهش یابد.

Minimizing piston mass of Neuman Esser reciprocating compressors using genetic algorithm

Kamal Alinaghi, Sa'id Golabi*

Mechanical Engineering, Kashan University, Kashan, Iran

* P.O.B. 8731751167 Kashan, Iran, golabi-s@kashanu.ac.ir

Article Information

Original Research Paper

Received: 27 April 2021

First Decision: 21 May 2021

Accepted: 12 June 2021

Keywords:

Reciprocating Compressor

Piston

Aluminum Alloys

Optimization

Genetic Algorithm

Abstract

Double action horizontal Neuman Esser reciprocating compressors are utilized during three steps of compressing hydrogen in gasoline production section of many refineries including Esfahan refinery. Since application of any lubricant during compression process are not permitted in these compressors, Teflon ridder rings are placed between piston and cylinders to act as a lubricant and prevent any direct contact between pistons and cylinders. The wearing rate of the ridder rings in these three stages are not equal and consequently the time for their maintenance is not the same. In this research it is intended to increase the life of riders by reducing the weight of pistons. After studying the effects of replacing the cast iron material of pistons by 7075 aluminum alloy, genetic algorithm is implemented to optimize the design of these pistons. Maximum von-Mises stress and minimum allowable thickness of various sections of piston are the constraints considered during optimization process and Abaqus finite element technique using Python script are utilized during optimization. Replacement of the material reduces the piston weight from 780 kg down to 271 kg and by optimizing the piston design, it was further reduced down to 261 kg which totally could considerably reduce the wearing rate of riders by reducing the total normal force on riders.

¹. NEUMAN & ESSER

². Ridder ring

³. Cylinder liners

⁴. Genetic Algorithm

⁵. Piston Rod

⁶. Python Software

Please cite this article using:

K. Alinaghi, S. Golabi, Minimizing piston mass of Neuman Esser reciprocating compressors using genetic algorithm, Iranian Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 8, No. 5, pp. 30-42, 2021 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

1- مقدمه

کمپرسورهای رفت و برگشتی به طور گسترده‌ای در صنعت برای اهداف مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. کمپرسورهای رفت و برگشتی نیومن ایزر [1] مورد نظر در این تحقیق، شامل سه مدل است و هر کدام از مدلها خصوصیات منحصر به فردی دارند. - مدل ۷ شکل: فضای مورد نیاز کمتر، بارهای تکیه‌گاهی ناچیز و طراحی سیستم با و بدون روغنکاری.

- مدل عمودی شکل: مناسب برای عملیات در شرایط خشک، مناسب برای فشرده سازی در مکان‌های دارای پیچ و خم و شرایط بسیار خاص که پیستون و میل پیستون در حال حرکت می‌باشند و طراحی سیستم با و بدون روغن کاری.

- مدل افقی شکل: نیروهای جرمی بالانس شده، شرایط ایده‌آل در حرکت، بارهای تکیه‌گاهی ناچیز، زمان تعمیرات کوتاه بخاطر دسترسی آسان و طراحی سیستم با روغنکاری و هم بدون روغنکاری.

از میان سه مدل ذکر شده در بالا مدل افقی شکل به علت کاربرد زیاد آن در پالایشگاه‌ها در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است، (شکل 1).



Fig. 1 Neuman Esser horizontal reciprocating compressor

شکل 1 کمپرسور رفت و برگشتی مدل افقی نئومن ایزر

هدف اصلی ایجاد تغییرات وزنی در ساختار پیستون بوده تا بدون ایجاد خللی در عملیات پالایش و سیستم عملکرد مکانیکی کمپرسور، طراحی پیستون را به نحوی انجام داد که بتوان شش عارضه اصلی ذیل را مرتفع نمود:

1- جلوگیری از سایش کفشک‌های متصل به پیستون که در اثر برخورد مداوم پیستون با سطح داخلی سیلندر کمپرسور بوجود می‌آید؛

2- جلوگیری از سایش سطح خارجی پیستون (در ادامه

سایش کامل کفشک‌های متصل به آن) که در تماس با سطح داخلی سیلندر می‌باشند؛

3- جلوگیری از تخریب مکرر مکانیکال سیل‌ها که محفظه اطراف دسته پیستون را بطور کامل پوشش داده و مانع از ورود و خروج گازهای متراکم شده می‌شوند؛

4- جلوگیری از سایش و به دنبال آن خمش دسته پیستون (در اثر وزن بالای پیستون متصل به آن) که منجر به سه عارضه ذکر شده در بالا می‌شود؛

5- جلوگیری از توقف عملیات کمپرسور (متراکم‌سازی گاز هیدروژن) و دمنواژ و مونتاژ تمامی قطعات در گیر در بازه های زمانی کوتاه که باعث پایین آمدن راندمان تولید می‌شود؛

6- افزایش طول عمر اجزای تشکیل دهنده سیلندر و پیستون در کمپرسور نیومن ایزر واحد بنزین سازی پالایشگاه اصفهان.

تمامی موارد ذکر شده در اثر وزن بالای پیستون متحرک (حرکت رفت و برگشتی) در داخل سیلندر کمپرسور بوده که با کاهش وزن آن می‌توان کمترین سایش را در پیستون و کفشک‌های متصل به آن شاهد بود. البته این کاهش وزن نمی‌بایست در عملکرد سیستم (متراکم‌سازی گاز هیدروژن) خلل ایجاد کند و باعث بوجود آمدن نیروهای ارتعاشی بیش از حد گردد.

با توجه به تعداد بالای کمپرسورهای رفت و برگشتی نئومن ایزر و کارکرد حیاتی آنها (عملیات متراکم سازی گاز هیدروژن) در عملیات پالایش قسمت بنزین سازی، حساسیت ویژه ای نسبت به عملکرد آنها وجود دارد. با شرایط موجود که ناشی از وزن بالای پیستون متحرک جهت متراکم‌سازی گاز هیدروژن می‌باشد، بر اساس گزارش تعمیرات، بطور متوسط هر 2 ماه یکبار جهت جلوگیری از سایش بیش از حد پیستون و کفشک های متصل به آن که در نهایت می‌تواند باعث سایش سطح روکش سیلندر و خسارت هنگفتی به کمپرسور شود، کمپرسور از سیکل مربوطه خارج شده تا پیستون شکل 2 و کفشک های متصل به آن بطور کامل تعویض شوند. چنانچه عملیات تعویض بیش از 2 ماه بطول انجامد تمامی مکانیکال سیل‌ها نیز در اثر فشار بالای دسته پیستون ساییده و تخریب شده و می‌بایست آنها نیز تعویض شوند.

با توضیحات مختصری که در بالا داده شد، می‌توان نتیجه گرفت که اصلاح پیستون چه از بعد هندسی و چه از بعد چگالی و وزنی به چه میزان ضروری و حیاتی می‌باشد.

خاکستری با در نظر گرفتن تمامی شرایط عملیاتی به منظور کاهش وزن پیستون و عوارض ناشی از آن صورت گرفته است. در راستای کاهش مجدد وزن پیستون از طریق بهینه سازی های نوین (الگوریتم ژنتیک) به مانند پژوهش های پیشین صورت گرفته در این زمینه [4]، هندسه پیستون ساخته شده از آلیاژ آلومینیوم 7075-T6 [5، 6] را با رعایت قیود طراحی اعم از حداقل ضخامت جداره پیستون و در محدوده بودن تنش های فون میسر ناشی از آن به حداقل میزان ممکن کاهش داده شده، تا در نهایت عمر کفشکها، روکش سیلندر، دسته پیستون و... با کاهش وزن پیستون و شدت سایش آنها، افزایش یابد. بدیهی است تابع هدف بهینه سازی، جرم یا وزن کمینه پیستون می باشد.

در این خصوص لازم است که پیستون بهینه شده و با وزن کمینه، تمامی معیارهای مکانیکی لازم مانند معیارهای استاتیکی، دینامیکی، خستگی و تغییر شکل های مجاز را برآورده نموده و در محدوده مجاز طراحی قرار گیرد. در ادامه به کمک کد نویسی در نرم افزار متلب برای 5 متغیر طراحی در 50 حالت مختلف و اعمال قیود طراحی با اعمال ضرائب جریمه، الگوریتم ژنتیک [7] به طور کامل بکار گرفته شده است. در انتها برنامه ایجاد شده به زبان برنامه نویسی پایتون نوشته شده، و با وارد نمودن به نرم افزار اجزای محدود آباکوس جهت تحلیل استاتیکی و دینامیکی آن (با لحاظ نمودن بررسی قیود طراحی) نتایج نهایی حاصل می شود.

هر چند در خصوص کمپرسور مورد نظر در این پژوهش مطالعات زیادی منتشر نشده ولی پژوهش های مشابهی در راستای بهینه نمودن اجزای کمپرسورهای رفت و برگشتی دیگر به دلیل حساسیت عملکرد کل سیستم با لحاظ نمودن روش های ویژه ای اعم از کاهش ضخامت جداره پیستون و تحلیل تنش به کمک نرم افزارهای المان محدود [8]، بهینه نمودن پیستون کمپرسورهای احتراق داخلی که دارای تنش های حرارتی بالایی بوده با تغییر جنس و کاهش وزن پیستون و در نهایت استفاده از نرم افزارهای المان محدود [9]، تغییر جنس پیستون [10] و شاتون [11] کمپرسورهای رفت و برگشتی و کاهش جرم آن و نیز استفاده از الگوریتم ژنتیک به جهت بهینه سازی میل لنگ کمپرسور صورت گرفته است [12].

2- روش کار

2-1- مدل سازی کمپرسور

در مرحله اول پیستون دو تکه (شکل 4) و میل پیستون با



Fig. 2 Piston and piston rod

شکل 2 پیستون و میل پیستون

شایان ذکر است که پیستون از جنس چدن خاکستری بوده که با توجه به چگالی بالای چدن و به دنبال آن وزن بالای پیستون، تحقیقاتی در راستای تغییر جنس پیستون به متریال سبکتر جهت کاهش وزن صورت گرفته است. در ادامه با بررسی تمامی متریالی که قابلیت جایگزینی (با لحاظ نمودن دما و فشار کارکرد و نوع گاز متراکم شونده که هیدروژن می باشد) را داشته، آلیاژهای آلومینیوم 2024، 6061 و 7075 به عنوان بهترین گزینه انتخاب گردیده و در نهایت دو تکه پیستون و میل پیستون در نرم افزار آباکوس و انسیس شکل 3 مدل سازی شد که با در نظر گرفتن نتایج و اثرات تنش های استاتیکی، دینامیکی و خستگی بدست آمده بر روی پیستون تغییر جنس یافته، تمامی آلیاژهای آلومینیوم مذکور شرایط جایگزینی را (با وجود کاهش چشمگیر وزن پیستون) دارا می باشند. که در این میان، آلیاژ آلومینیوم 7075-T6 با در نظر گرفتن جمیع مقادیر بهترین گزینه جهت جایگزینی است.

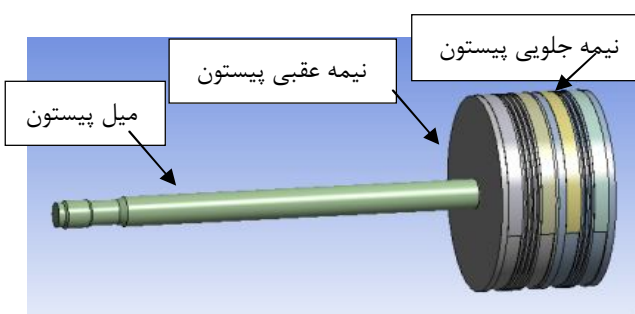


Fig. 3 Piston and piston rod modeled

شکل 3 پیستون و میل پیستون مدل شده

در این تحقیق مراحل مدل سازی پیستون و در ادامه چگونگی تحلیل استاتیکی، دینامیکی [2] و خستگی [3] آن به صورت جامع، جهت جایگزینی آلیاژ آلومینیوم 7075 بجای چدن

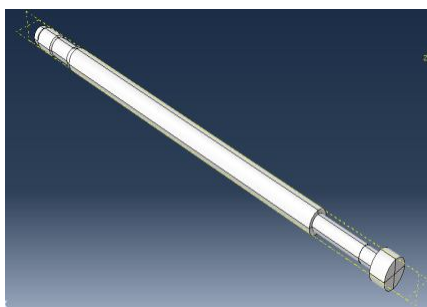


Fig. 5 Piston rod model

شکل 5 میل پیستون مدل سازی شده

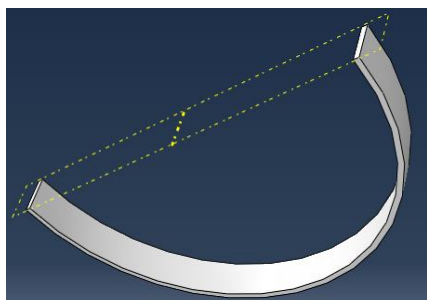


Fig. 6 Rider rings model

شکل 6 کفشک پیستون مدل سازی شده

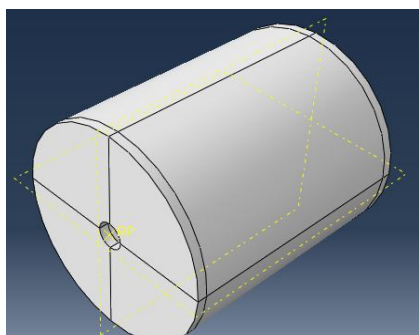


Fig. 7 Cylinder Model

شکل 7 سیلندر مدل سازی شده

2-3- بررسی پدیده شکست پیستون تغییر جنس یافته

در ادامه تحلیل های صورت گرفته، احتمال شکست نیز برای پیستون از جنس آلیاژ آلومینیوم 7075 در حالات مختلف مورد بررسی قرار گرفته که به شرح زیر می باشد:

1- تغییر شکل الاستیک که با در نظر گرفتن هندسه، سختی و همچنین خصوصیات مواد تشکیل دهنده پیستون در نرم افزارهای اباکوس و انسیس لحاظ شده و با توجه به نتایج حاصله تنش های بدست آمده در محدوده مجاز قرار گرفته و احتمال شکست وجود ندارد.

2- با توجه به فشار کاری، بارهای مکانیکی و تنش های حرارتی (دمای کارکرد با ایجاد سیستم خنک کاری حدود 50 درجه سانتی گراد)، پیستون تحلیلی در محدوده پلاستیک قرار نگرفته و عملاً تغییر شکل پلاستیک رخ نخواهد داد.

رعایت تمامی جزئیات (شکل 5) و اتصال آنها به یکدیگر، کفشک پیستون به صورت نیم دایره (شکل 6) با در نظر گرفتن شرایط کاری و اعمال ضریب اصطکاکی متناسب با مواد تشکیل دهنده آن با سطوح در تماس و سیلندر به صورت استوانه ساده (شکل 7) مدل سازی شده و برای تحلیل اجزای محدود از نرم افزار اباکوس استفاده شده است.

برای تحلیل اجزای محدود استاتیکی و دینامیکی کمپرسور با استفاده از نرم افزار اباکوس ابتدا مش مناسب انتخاب، سایز آن تعیین و پس از مش ریزی و لحاظ نمودن خصوصیات مواد، بارگذاری انجام شده است. ضریب اصطکاک کفشک پیستون که از جنس تفلون بوده با روکش سیلندر که از جنس چدن بوده و پیستون با در نظر گرفتن نتایج آزمایشگاهی برابر 0/05، مقادیر سرعت 3/3 متر بر ثانیه، و دمای کارکرد با توجه به خنک کاری محفظه کمپرسور نهایتاً برابر 130 درجه سانتی گراد در نظر گرفته شده است. فشار ورودی 6/7 بار و فشار خروجی 12/5 بار برای کمپرسور مرحله اول در یک کورس کامل منظور و در انتها تحلیل استاتیکی و دینامیکی انجام گردید. بارهای دینامیکی بصورت تحلیلی با توجه به جرم های در حال رفت و برگشت (پیستون، میل پیستون، کفشک پیستون) و بارهای اینرسی در سیلندر محاسبه می گردد. این بارها از طریق مدل اجزای محدود در نرم افزار اباکوس بکار رفته و شرایط مرزی با در نظر گرفتن تمامی بارهای وارده بر میل لنگ اعمال شده است.

2-2- تحلیل استاتیکی، دینامیکی و خستگی اجزاء محدود مدل

در راستای تحلیل خستگی به کمک نرم افزار انسیس، اجزای اصلی کمپرسور که تحت بارهای مکانیکی (فشاری و وزنی) بوده با در نظر گرفتن تمامی شرایط عملیاتی ذکر شده در تحلیل استاتیکی و دینامیکی قسمت قبل، مورد ارزیابی قرار گرفته است.

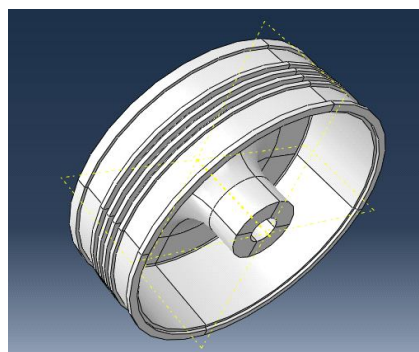


Fig. 4 Piston model

شکل 4 پیستون مدل سازی شده

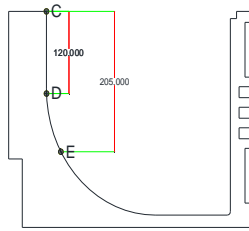


Fig. 9 Rear piston model and its variables

شکل 9 هندسه دو بعدی مقطع پیستون عقبی

بدیهی است که تعیین هر مقداری برای این نقاط منجر به طرح جدیدی از مقطع پیستون می‌گردد. سپس شکل ابتدایی پیستون به صورت سه بعدی به ازای یک دسته مختصات برای نقاط A تا E ایجاد شده (شکل‌های 10 و 11) و کلیه تحلیل‌ها برای مدل جدید در یک کورس انجام می‌گردد. قیدهای تنش و حداقل ضخامت کنترل و در صورت تایید سطح مقطع آن پیستون به ازای آن دسته مختصات محاسبه می‌گردد.

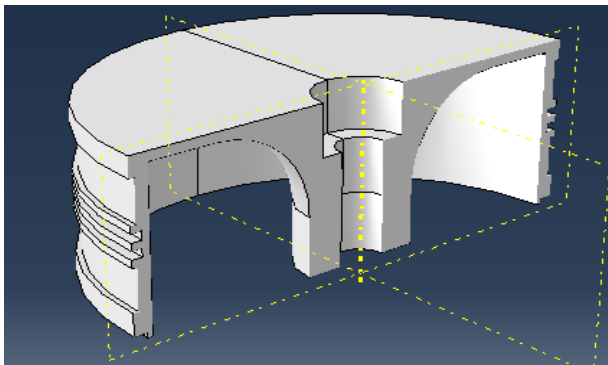


Fig. 10 Front piston cut view

شکل 10 هندسه برش خورده پیستون جلویی

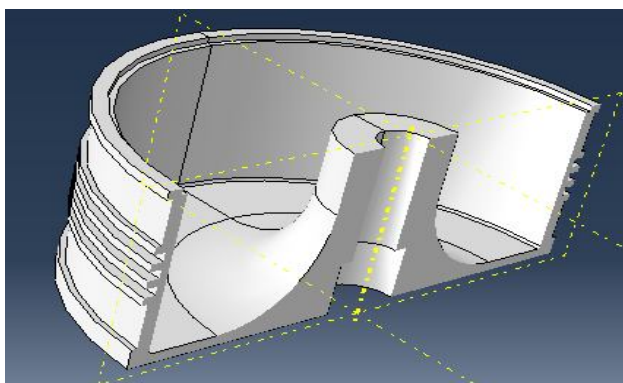


Fig. 11 Rear piston cut view

شکل 11 هندسه برش خورده پیستون عقبی

5-2- بهینه‌سازی از طریق الگوریتم ژنتیک

از میان الگوریتم‌های نوین بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک انتخاب و مراحل بهینه نمودن ابعاد داخلی پیستون کمپرسور مذکور از

3- همان‌طور که قبلاً ذکر شد دمای کاری در محدوده‌ای نمی‌باشد که پیستون از جنس آلیاژ آلومینیوم 7075 را دچار پدیده شکست ترد نماید.

4- شرایط عملیاتی چه از بعد زمانی و تنش‌های حرارتی به گونه‌ای نمی‌باشد که پدیده خزش و خستگی رخ دهد.

5- با توجه به اینکه ماده جایگزین برای پیستون به نسبت چدن خاکستری مقاومتر در برابر خوردگی بوده، از اینرو شکستی به دنبال خوردگی رخ نمی‌دهد.

6- انواع خوردگیها البته لازم است که در این جایگزینی مورد بررسی قرار گیرد که جداگانه در مورد آن بررسی شده و بحث در مورد آن خارج از حیطه این مقاله می‌باشد.

4-2- مدل‌سازی کمپرسور در راستای بهینه‌سازی

با توجه به اینکه پیستون مذکور توسط یک شرکت معتبر اروپایی ساخته شده و در صنایع مختلف بکار می‌رود، تغییر در هندسه پیستون می‌بایست با حساسیت ویژه‌ای و با در نظر گرفتن حداقل ضخامت که یکی از قیود عملیات بهینه‌سازی بوده انجام شده باشد. پس بدیهی است که اهمیت تحقیق در انتخاب تعداد و مکان نقاط قابل تغییر بوده و در ادامه آن برگزیدن محدوده تغییرات ضخامتی جداره پیستون است.

روشی که در این تحقیق برای تعیین مقطع بهینه پیستون در نظر گرفته شده بدین ترتیب است که مختصات پروفیل داخل مقطع پیستون به عنوان متغیرهای طراحی در نظر گرفته شده اند. بدین ترتیب در مرحله اول با استفاده از نرم‌افزار اباکوس دو نیمه جلویی و عقبی پیستون (شکل‌های 8 و 9) بصورت دو بعدی و پارامتریک مدل‌سازی شده‌اند و در ادامه نقاط A، B، C، D و E با لحاظ نمودن تمامی شرایط بالا در مکان‌هایی از پیستون که قابلیت تغییر ضخامت داشته، تعیین شده و در انتها بازه نقاط با رعایت حداقل ضخامت پیستون بالایی و پائینی مشخص گردیده است.

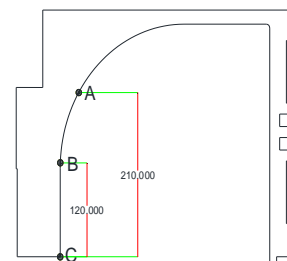


Fig. 8 Front piston model and its variables

شکل 8 هندسه دو بعدی مقطع پیستون جلویی

4- رسیدن به تعداد مشخصی از دفعات فراخوانی تابع هدف¹

با در نظر گرفتن شرایط خاص تحلیل صورت گرفته در این پژوهش شرط خاتمه رسیدن به حد قابل قبولی از جواب لحاظ شده است.

2-1-1-5-1- ایجاد یک جمعیت اولیه

پارامترهای طراحی عبارتند از مختصه x که 5 نقطه نشان داده شده در شکل های 4 و 5 می باشد. لذا بردار طراحی 5 مؤلفه دارد: $X_i = [X_{ai}, X_{bi}, X_{ci}, X_{di}, X_{ei}]$ که در آن i شماره بردار ابعاد منتخب می باشد. در هر مرحله مقدار عددی نسل اولیه بصورت کاملاً تصادفی از اعداد داخل رنج انتخاب شده و محاسبات در سیستم باینری انجام می شود. جمعیت اولیه نیز برابر 50 در نظر گرفته شده است.

2-1-1-5-2- تابع هدف و تعیین مسئله

با توجه به اینکه هدف به حداقل رساندن وزن پیستون بالایی و پائینی بوده، تابع هدف² یا همان تابع هزینه³ برابر با مینیمم جرم پیستون لحاظ گردیده و دفعات فراخوانی تابع هدف که برابر حاصل ضرب تعداد اعضای تولید شده جدید در تعداد تکرار بعلاوه تعداد جمعیت اصلی بوده، در ابتدا برابر صفر منظور شده و در ادامه افزایش می یابد. البته از آنجاکه وزن پیستون از حاصل ضرب حجم در وزن حجمی حاصل می گردد و وزن حجمی نیز عددی ثابت بوده، لذا تابع هدف می تواند حجم پیستون نیز باشد و از آنجاییکه حجم پیستون از دوران سطح مقطع آن حاصل می گردد می توان مساحت سطح مقطع پیستون که در شکل های 10 و 11 نشان داده شده به عنوان تابع هدف در نظر گرفت که با کمینه کردن آن وزن نیز کمینه می گردد. تعداد متغیر را نیز همان طور که قبلاً ذکر گردید برابر 5 در نظر گرفته و برای هر کدام محدوده تغییرات با رعایت محدودیت ها لحاظ شده است.

2-1-1-5-3- انتخاب نوع عملیات

انتخاب نوع عملیات در پیدا کردن نتایج بهتر و عدم گیر کردن در حداقلهای محلی بسیار مؤثر است. این عملیات شامل چرخه رولت ویل⁴، انتخاب تورنومنت⁵، جهش⁶، تولید مثل⁷ که شامل سه نوع تک نقطه⁸، دو نقطه¹ و یکنواخت بوده² و ... که در

جنس آلیاژ آلومینیوم 7075 با عملیات حرارت دهی T6 با اعمال تابع هدف، قیود طراحی و جرایم احتمالی صورت گرفته است. به جهت تسهیل در عملیات بهینه سازی یکی از ابتکارات این تحقیق برای پیدا کردن پروفیل داخل پیستونها مشخص کردن موقعیت y نقاط A تا E و تلاش در جهت پیدا کردن مختصات x است. بدین ترتیب به داشتن نقاط انتها و ابتدا لازم نیست که تعداد متغیرهای جستجو را زیاد کرده و پیچیدگی حل مسئله را افزایش دهیم. تغییر مختصات x منجر به تغییر ضخامت و پروفیل داخل پیستون می گردد و طبیعتاً از طرفی موجب تغییر سطح مقطع و حجم پیستون و از طرف دیگر باعث تغییر در میزان تنش های استاتیکی و دینامیکی و ضخامت می گردد. به همین علت برای جلوگیری از شکست پیستون لازم است که قیدهای تنش و ضخامت در نظر گرفته شده و میزان ماکزیمم تنش و مینیمم ضخامت در هر مرحله تحلیل اجزای محدود در یک کورس حرکت پیستون کنترل گردد و در صورت برآورده شدن این قیود محاسبه سطح مقطع پیستون انجام گردد.

2-1-5-2- مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک روش جستجو بوده و در محاسبات برای یافتن راه حلی در بهینه سازی استفاده می شود که مراحل اجرای آن در تحقیق پیش رو به صورت زیر می باشد:

- 1- ایجاد جمعیت تصادفی و ارزیابی آنها
- 2- انتخاب والدین و ترکیب آنها برای ایجاد جمعیت فرزندان
- 3- انتخاب اعضای جمعیت برای اعمال جهش و ایجاد جمعیت جهش یافتگان
- 4- ادغام جمعیت اصلی، فرزندان و جهش یافتگان و ایجاد جمعیت اصلی جدید
- 5- چنانچه شرایط خاتمه محقق نشده باشند، محاسبات از مرحله 2 تکرار می شود.

6- مرحله نهایی و پایان

با توجه به اینکه شرایط مرحله نهایی می بایست مشخص گردد، در ابتدا انواع شرایط خاتمه ذکر شده و در ادامه یکی از آن شرایط جهت تکمیل مرحله اجرا اعمال شده است:

- 1- رسیدن به حد قابل قبولی از جواب
- 2- سپری شدن زمان یا تکرار معین
- 3- سپری شدن زمان یا تکرار معین بدون مشاهده بهبود خاصی در نتیجه

¹ NFE

² Objective Function

³ Cost Function

⁴ Roulette wheel selection

⁵ Tournament selection

⁶ Mutation

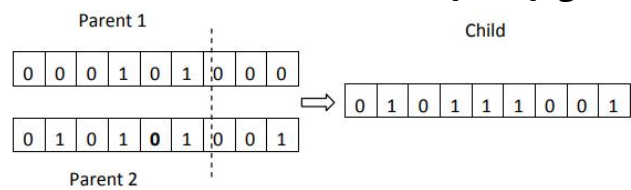
⁷ Crossover Operation

⁸ Single point

در اینجا از تمامی آنها استفاده شده است.

2-5-1-4- عملیات تولید مثل

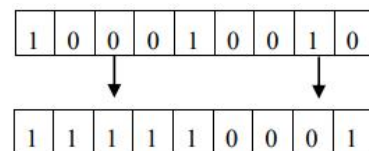
در این مرحله با استفاده از یک فرآیند تولید مثل شبیه سازی شده، نسل بعدی تولید شده است. این عملیات توسط والدین برای ایجاد فرزندان انجام شده که ژنتیک آنها از هر دو والدین تشکیل و ترکیبی از ویژگی راه حل های موجود برای ایجاد نتایج بهتر صورت گرفته است. به عنوان مثال، عناصر راه حل های موجود می تواند طبق حالت نشان داده شده در یک عملیات جابجایی ترکیب گردد.



با توجه به اینکه جابجایی شامل سه روش عملیاتی تک نقطه، دو نقطه و یکنواخت بوده، تمامی حالات را اجرا و ادغام نموده و نسبت استفاده از آنها با توجه به کیفیت پیاده سازی و جواب های حاصله به ترتیب برابر $0/1$ ، $0/2$ و $0/7$ در نظر گرفته شده است. بدیهی است مجموع آنها برابر یک بوده و در نهایت درصد جابجایی در مجموع برابر $0/8$ فرض شده است.

2-5-1-5- عملیات جهش

هنگامی که فرزندان در طی عملیات تولید مثل تولید می شوند، برای جلوگیری از امکان به دام افتادن در کمینه محلی، عملگر جهش برای هر فرزند اعمال گردیده است. هر ژن احتمال جهش مشخص شده ای را دارد. در ابتدا احتمال جهش را برابر $0/3$ و نیز نرخ تاثیر تنش را برابر $0/05$ قرار داده و در ادامه جهت ایجاد شرایط بهتر مقدار آن افزایش یا کاهش یافته است. و نیز محل رخداد جهش نیز به صورت اتفاقی در حالت مختلف تعیین گردیده است.



2-5-1-6- پیاده سازی

با توجه به اینکه ضخامت جداره داخلی پیستون که با کاهش آن عملیات بهینه سازی انجام می شود به صورت یکنواخت نبوده، و از طرفی، انتخاب متغیرها خارج از محدوده قابل قبول ضرورتی

ندارد لذا جهت تسریع در مراحل حل محدوده قابل قبول این متغیرها در جدول 1 نمایش داده شده است. ذکر این نکته ضروری است که به دنبال هر انتخابی برای متغیرها توسط الگوریتم ژنتیک حجم بسیار زیادی محاسبات انجام می شود که شامل مدل سازی، سه بعدی سازی، مش بندی، بارگذاری یک سیکل، محاسبه تنشها، کنترل تنشها و ... بطوری که این محاسبات به ازای هر بردار جوابی که در هر مرحله 50 عدد از آنها انتخاب می شود باید انجام شود. لذا لازم است که از تمامی ابزارها و روش هایی که می تواند حجم محاسبات را محدود کند استفاده نمود و تعیین بازه قابل قبول متغیرها یکی از مؤثرترین روشها برای محدود کردن محدوده انتخاب متغیرها و تسریع در رسیدن به پاسخ است.

لازم به ذکر است که میل پیستون از داخل پیستون اول یا عقبی رد شده و داخل پیستون دوم یا جلویی شده و با مهره آنها را به هم متصل می کند.

بدیهی است حداقل محدوده متغیرها برابر حداقل ضخامت مجاز بوده که یکی از قیود مسئله می باشد. در ادامه قید حداکثر تنش مجاز فون میسر ناشی از تغییرات ضخامت پیستون نیز به قیود قبلی اضافه شده است. با توجه به تنش تسلیم آلیاژ آلومینیم 7075 با عملیات حرارت دهی T6 و ضریب اطمینان طراحی، حداکثر تنش فون میسر مجاز نمی بایست از 312 مگاپاسکال تجاوز کند. دلیل انتخاب حد مجاز تنش فون میسر طراحی، ضریب اطمینان حاصله از تقسیم تنش تسلیم آلیاژ آلومینیم 7075 (که برابر با 469 مگاپاسکال می باشد) بر تنش فون میسر حاصله از طراحی بوده که این مقدار نمی بایست کمتر از عدد $1/5$ باشد.

جدول 1 محدوده تغییرات ضخامت دو تکه پیستون

Table 1 Range of variations of two piston thicknesses

نقاط	Var min	Var max	وضعیت
A	82	93/126	نیمه پیستون جلویی
B	57/5	65/65	نیمه پیستون جلویی
C	56	64	دو تکه پیستون
D	56/5	64/18	نیمه پیستون عقبی

برای اعمال قیود، تمامی آنها به یکی از سه حالت جمع شونده، ضرب شونده و ترکیبی به احتساب ضرائب جریمه به تابع هزینه برده شده و در نهایت مسئله به صورت بدون قید حل می شود. بدیهی است چنانچه جمعیت ایجاد شده قید را نقض نکند، پنالتی یا جریمه در نظر گرفته شده برابر صفر می گردد و

¹ Double point

² Uniform Crossover

است با تغییر هندسه پیستون ماکزیم تنش فون میسر نیز افزایش بسزایی یافته که در نهایت حالاتی قابل قبول بوده که تنش فون میسر حاصله در محدوده مجاز قرار گیرد.

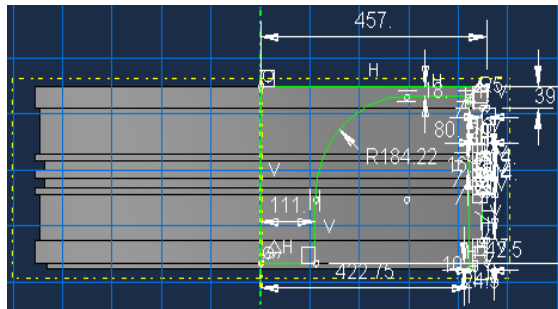


Fig. 12 Geometry of the front piston before the implementation of genetic algorithm

شکل 12 هندسه نیمه پیستون جلویی قبل از اجرای الگوریتم ژنتیک

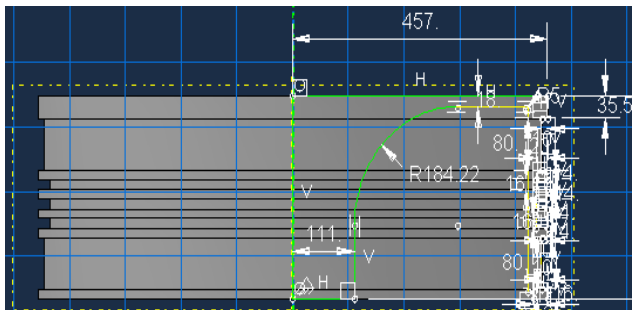


Fig. 13 Geometry of the rear piston before the implementation of genetic algorithm

شکل 13 هندسه نیمه پیستون عقبی قبل از اجرای الگوریتم ژنتیک

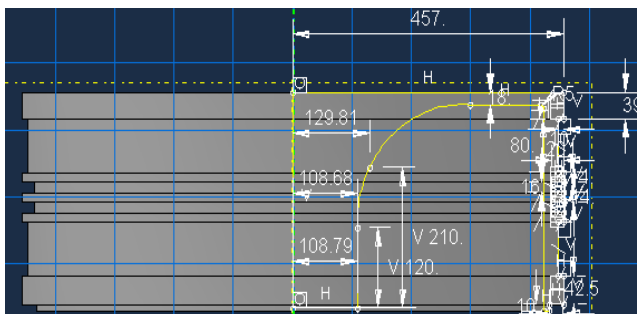


Fig. 14 Geometry of the front piston after the implementation of genetic algorithm

شکل 14 هندسه نیمه پیستون جلویی بعد از اجرای الگوریتم ژنتیک

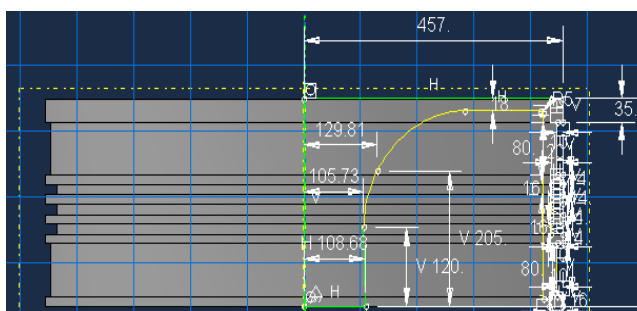


Fig. 15 Geometry of the rear piston after the implementation of genetic algorithm

شکل 15 هندسه نیمه پیستون عقبی بعد از اجرای الگوریتم ژنتیک

تابع هزینه بدون تغییر بوده ولی اگر قیدها نقض گردند تابع هزینه شامل جریمه خواهد شد.

در ادامه ماکزیمم تکرار را برابر 100 قرار داده که با توجه به نتایج حاصله قابلیت تغییر دارد. همان طور که مبرهن است تعداد متغیر برابر 5 بوده و اندازه آن به صورت ماتریسی بیان شده است. در بخش پارامترهای الگوریتم ژنتیک بنا که ضریب فشار انتخابی بوده صفر در نظر گرفته شده و از انتخابات تصادفی چرخ رولت بهره برده شده و در انتها اندازه تورنمنت برابر 3 لحاظ گردیده است. تمامی پارامترهای الگوریتم ژنتیک در جدول 2 ذکر شده است.

با توجه به اینکه کلیه این عملیات در نرم افزار اباکوس صرفاً با کدنویسی پارامترهای ذکر شده با استفاده از کدهای پایتون اجرا می گردد، باید تمامی شرایط بالا را به زبان برنامه نویسی پایتون نوشته و تا تحلیل بهینه سازی مدنظر انجام شود. بدیهی است که در هر مرحله اجرا 50 شکل مختلف از پیستون با استفاده از مقادیر انتخاب شده توسط الگوریتم ژنتیک با جنس آلیاژ آلومینیم 7075 با جرم و وزن های متفاوت ایجاد شده که برخی از این پیستون ها قیود طراحی (حداقل ضخامت پیستون و حداکثر تنش فون میسر) حاصله را ارضا نمی نماید.

شکل های 12 و 13 هندسه ایجاد شده پیستون در شرایط کنونی و قبل از پیاده سازی الگوریتم ژنتیک بوده که طبق نقشه های اصلی کمپرسور کشیده شده و شکل های 15 و 14 هندسه یکی از حالات (جمعیت ها) پیستون جلویی و عقبی با اعمال تمامی شرایط ذکر شده بعد از پیاده سازی الگوریتم ژنتیک است.

جدول 2 پارامترهای الگوریتم ژنتیک

Table 2 Genetic algorithm parameters

پارامترها	مقدار	توضیحات
n var	5	تعداد متغیرها
Max It	100	حداکثر میزان تکرار
n pop	50	میزان جمعیت
p c	0/8	درصد کراس اور
p m	0/3	درصد جهش
M u	0/05	نرخ جهش
beta	0	فشار انتخاب
T s	3	اندازه تورنمنت

همان طور که در تمامی شکل های 12 تا 15 مشخص می باشد، تغییر ضخامت جداره دو نیمه پیستون صرفاً در قسمت انحنای داخلی با رعایت حداقل ضخامت صورت گرفته، و به همین نسبت جرم و وزن پیستون کاهش یافته است. بدیهی

3- نتایج و بحث

3-1- نتایج حاصله از تحلیل استاتیکی به کمک نرم افزار اباکوس

با در نظر گرفتن بیشینه دمای عملکرد، خصوصیات مواد مذکور و اعمال نیروهای وزنی و فشاری در یک کورس کامل که دربرگیرنده حرکت پیستون از نقطه ابتدا سیلندر تا انتهای آن (حالت 1) و حرکت پیستون از نقطه انتها سیلندر تا ابتدای آن (حالت 2)، نقاط بحرانی مجموعه سیلندر، پیستون، میل پیستون و کفشک پیستون به همراه تنش های اصلی، فون میسر، ترسکا و ... بدست آمده است، (جدول 3).

جدول 3 تنش های فون میسر ناشی از تحلیل استاتیکی

Table 3 Von Mises stresses determined during static analysis

تنش	آلیاژ آلومینیوم 7075	چدن خاکستری
ماکزیمم تنش فون میسر در حالت اول (مگاپاسکال)	67/64	67/28
ماکزیمم تنش فون میسر در حالت دوم (مگاپاسکال)	69/64	70/42
ضریب اطمینان حالت اول	6/93	3/46
ضریب اطمینان حالت دوم	6/73	3/31

با توجه به اینکه تنش های فون میسر تمامی تنش های اصلی را دربر گرفته، مقایسه این تنش برای مواد فعلی و جایگزین پیستون بسیار منطقی و مستدل می باشد. با در نظر گرفتن نتایج حاصله تفاوت محسوسی در تحلیل استاتیکی مشاهده نشده ولی ضریب اطمینان طراحی آلیاژ آلومینیوم 7075 جایگزین پیستون در مقایسه با چدن خاکستری قابل توجه بوده و نیز می بایست در نظر داشت که میزان نقاط یا گره هایی که دارای تنش های فون میسر بالایی بوده در چدن خاکستری به مراتب بیشتر است.

3-2- نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی به کمک نرم افزار اباکوس

تمامی شرایط اعمال شده در تحلیل استاتیکی را به علاوه سرعت حرکت پیستون در کمپرسور که برابر 3/3 متر بر ثانیه بوده برای مواد مذکور لحاظ نموده و در نهایت نتایج تحلیل دینامیکی کمپرسور طبق جدول 4 بدست آمده است.

با در نظر گرفتن نتایج حاصله تفاوت محسوسی در تحلیل دینامیکی مواد مذکور (با توجه به پایین بودن مدول الاستیک آلیاژهای آلومینیوم به نسبت چدن خاکستری) مشاهده نشده ولی به مانند تحلیل استاتیکی، ضریب اطمینان طراحی آلیاژ آلومینیوم

7075 جایگزین پیستون در مقایسه با چدن خاکستری قابل توجه می باشد (به دلیل مقادیر بالای تنش تسلیم آلیاژهای آلومینیوم به نسبت چدن خاکستری). و نیز می بایست در نظر داشت که میزان نقاط یا گره هایی که دارای تنش های فون میسر بالایی بوده در چدن خاکستری به مراتب بیشتر می باشد.

جدول 4 تنش های فون میسر ناشی از تحلیل دینامیکی

Table 4 Von Mises stresses determined during dynamic analysis

تنش	آلیاژ آلومینیوم 7075	چدن خاکستری
ماکزیمم تنش فون میسر در حالت اول (مگاپاسکال)	194/3	175
ماکزیمم تنش فون میسر در حالت دوم (مگاپاسکال)	171/3	172
ضریب اطمینان حالت اول	2/41	1/33
ضریب اطمینان حالت دوم	2/74	1/35

3-3- نتایج حاصله از تحلیل خستگی به کمک نرم افزار انسیس

تمامی شرایط عملیاتی همچون ماکزیمم دمای کاری، فشار کاری، بار ناشی از وزن، خصوصیات و رفتارهای مواد مذکور برای تحلیل خستگی ایجاد گردیده تا نتایج تحلیل خستگی پیستون کمپرسور طبق جدول 5 بدست آید، (شکل 16).

جدول 5 نتایج تحلیل خستگی

Table 5 The results of fatigue

تحلیل	آلیاژ آلومینیوم 7075	چدن خاکستری
چرخه عمر (سیکل)	نامحدود	نامحدود
	10^9	10^9

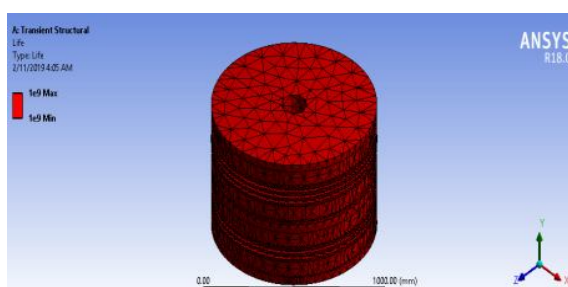


Fig. 16 Fatigue analysis

شکل 16 تحلیل خستگی

پیستون از جنس آلیاژ آلومینیوم 7075 جایگزینی با پیستون از جنس چدن خاکستری، تمامی تحلیل های استاتیکی، دینامیکی و خستگی را پاس نموده و در محدوده مجاز و قابل قبول قرار داشته و در نهایت همان طور که در شکل 17 نشان

برای متغیر D در شکل 21 و برای متغیر E در شکل 22 نشان داده شده است.

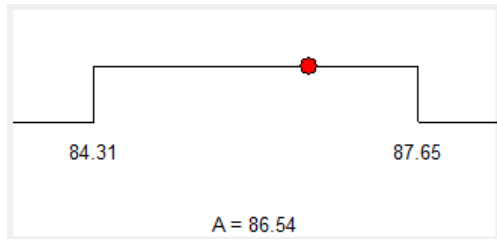


Fig. 18 The most appropriate point A in the range
شکل 18 مناسبترین نقطه A در محدود تعیین شده

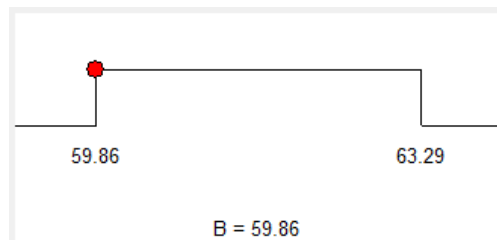


Fig. 19 The most appropriate point B in the range
شکل 19 مناسبترین نقطه B در محدود تعیین شده

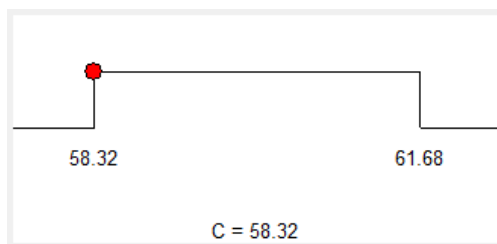


Fig. 20 The most appropriate point C in the range
شکل 20 مناسبترین نقطه C در محدود تعیین شده



Fig. 21 The most appropriate point D in the range
شکل 21 مناسبترین نقطه D در محدود تعیین شده

همان‌طور که در اشکال بالا مشخص است مطلوبترین حالت ممکن برای 5 متغیر در محدوده تعیین شده با توجه به قیود طراحی، حداقل محدوده در هر متغیر نبوده، پس مناسبترین جمعیت حاصله ممکن است کمترین وزن را در میان تمامی جمعیت‌ها نداشته باشد ولی از منظر جمیع مقادیر طبق شکل 23 با مطلوبیت 0/814 بهترین گزینه خواهد بود.

داده شده، حدود یک سوم کاهش وزن یافته که می‌توان در غالب یک مقاله مجزا و مرتبط ارائه گردد.

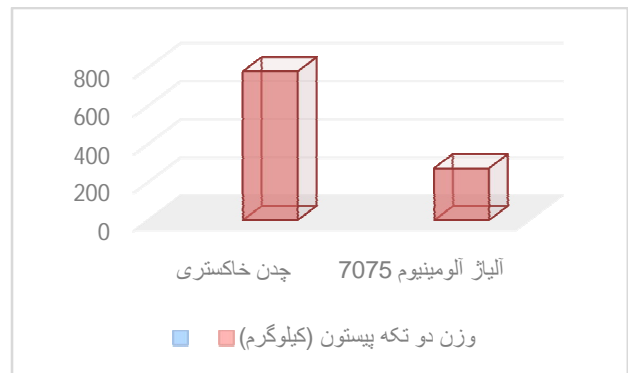


Fig. 17 Weight comparison
شکل 17 مقایسه وزن

3-4- نتایج حاصله از پیاده سازی الگوریتم ژنتیک

با اعمال تمامی پارامترهای الگوریتم ژنتیک ذکر شده در چرخه 1 تا 6 در مراحل اجرای پیاده سازی و در نظر گرفتن تابع هدف که حداقل جرم پیستون بوده و اعمال شرایط جریمه و ترکیب آن با تابع هدف و در نهایت اعمال قیود حداقل ضخامت و محدوده تنش مجاز فون میسر ناشی از تغییر هندسه، نتایج طبق جدول 6 حاصل شده است.

شایان ذکر است که تمامی مراحل تحلیل دینامیکی و خستگی برای همه جمعیت‌ها به مانند مراحل تحلیلی ذکر شده، بوده و پیستون بهینه شده از طریق پیاده سازی الگوریتم ژنتیک با جنس آلایژ آلومینیوم 7075 جایگزینی در اثر تغییر ابعاد و ضخامت با رعایت تمامی شرایط عملیاتی توسط نرم‌افزار اباکوس و انسیس مورد بررسی قرار گرفته است.

با توجه به قیود اعمالی از 50 جمعیت مورد نظر تنها تعداد 30 جمعیت شرایط لازمه را دارا بوده که به ترتیب اولویت (کمترین وزن پیستون جلویی و عقبی و محدود تنش فون میسر فیما بین 188 مگاپاسکال تا 312 مگاپاسکال) در عملیات اجرای الگوریتم ژنتیک ذکر شده است. لازم به ذکر است تمامی جمعیت‌های مجاز به همراه 5 نقطه تغییر یافته که همان تعداد متغیر مسئله بوده در محدوده در نظر گرفته شده به همراه میزان مطلوبیت آنها جهت مقایسه در این جدول لحاظ گردیده است.

مناسبترین جمعیت حاصله، شامل 5 متغیر یا نقطه بوده که بالاترین مطلوبیت جهت انتخاب، طراحی و ساخت را دارا می‌باشد. نقاط حاصله در محدوده مجاز برای متغیر A در شکل 18 و برای متغیر B در شکل 19 و برای متغیر C در شکل 20 و

جدول 6 نتایج الگوریتم ژنتیک

Table 6 Genetic algorithm results

شماره	A	B	C	E	F	تنش	وزن	مطلوبیت
1	86/54	59/86	58/32	61/95	82/81	305/093	261/618	0/814
2	86/42	59/86	58/51	61/95	82/81	297/766	261/65	0/809
3	86/68	59/86	58/32	61/61	82/81	311/871	261/654	0/809
4	86/64	59/86	58/62	61/87	82/83	311/998	261/678	0/805
5	84/65	59/86	58/35	61/95	82/81	213/439	261/685	0/804
6	85/56	60/02	58/32	61/92	82/81	244/75	261/71	0/800
7	86/77	59/86	58/32	60/88	82/81	311/211	261/734	0/796
8	86/48	59/86	59/16	61/95	82/81	302/973	261/745	0/794
9	84/61	59/86	58/32	61/35	82/81	211/524	261/748	0/794
10	84/48	59/86	58/32	61/60	82/81	208/269	261/759	0/792
11	84/31	59/86	58/61	61/88	82/81	205/368	261/795	0/786
12	84/83	60/10	58/49	61/95	82/81	219/446	261/795	0/786
13	86/21	59/86	59/84	61/95	82/81	286/557	261/888	0/771
14	86/75	59/86	59/09	60/35	82/81	311/986	261/894	0/770
15	86/56	59/86	60/69	61/89	82/81	312	261/96	0/760
16	86/49	59/86	60/67	61/95	82/81	306/366	261/967	0/759
17	85/24	59/86	58/70	60/06	82/81	230/467	261/974	0/758
18	84/31	60/95	58/33	61/95	82/81	236/745	261/979	0/757
19	87/04	59/86	58/41	58/73	82/84	309/205	261/998	0/754
20	86/46	59/86	60/72	61/34	82/81	306/141	262/053	0/745
21	86/55	59/86	60/25	60/52	82/81	309/897	262/058	0/744
22	86/68	59/86	58/32	58/73	83/05	287/055	262/083	0/740
23	87/39	60/46	58/72	60/04	82/81	312	262/177	0/725
24	84/31	59/86	58/70	58/73	82/81	210/978	262/189	0/724
25	86/65	59/86	60/08	58/73	82/81	311/988	262/226	0/718
26	84/31	60/17	59/80	61/95	82/81	211/385	262/292	0/707
27	84/50	59/86	59/58	58/73	82/81	226/875	262/456	0/681
28	87/65	61/14	60/32	61/95	82/81	306/685	262/587	0/660
29	86/84	60/40	61/68	59/60	82/81	312	262/68	0/646
30	87/04	60/60	61/68	59/32	82/81	312	262/81	0/625

چنانچه قیود طراحی لحاظ نگردد و جریمه ای جهت عدول از قیود نیز با تابع هدف ترکیب نشود، محدوده تنش حاصله در محدوده 188/4 مگاپاسکال و 472/3 مگاپاسکال می باشد. ولی با توجه به اینکه ماکزیمم تنش فون میسز معیار مناسبی جهت طراحی و تغییر جرم پیستون بوده، نمی بایست این مقدار از 312 مگاپاسکال تجاوز نماید. در مناسبترین پاسخ ماکزیمم تنش فون میسز حاصله مطابق شکل 24 برابر 305/093 مگاپاسکال می باشد.

در رابطه با وزن حاصل از تغییر هندسه پیستون نیز چنانچه قیود طراحی لحاظ نگردد، دامنه تغییرات وزن از 260/45

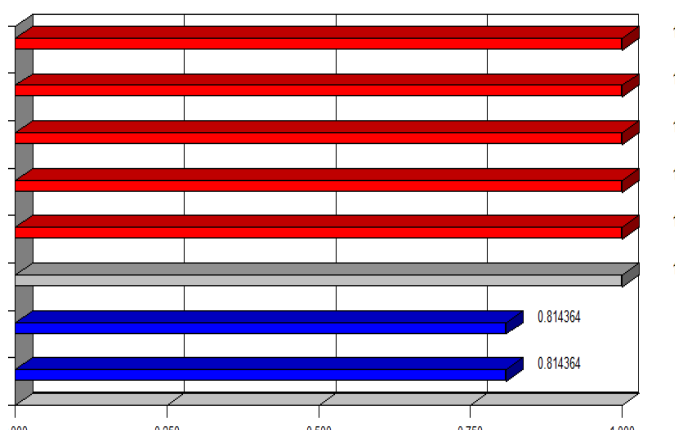


Fig. 23 The desirability of the best case

شکل 23 میزان مطلوبیت بهترین حالت

رعایت قیود حداقل ضخامت و محدوده تنش فون میسر مجاز، مقدار آن برای بهترین حالت به دست آمده برابر 261 کیلوگرم بوده و حدود 4% کاهش یافته که منطقی و قابل قبول می باشد، (شکل 26).

- با توجه به شرایط عملیاتی کمپرسور رفت و برگشتی مورد بررسی، با تغییر جنس پیستون از چدن به آلیاژ آلومینیوم 7075 و سپس بهینه سازی آن و کاهش 4% وزن پیستون بهینه شده می توان شاهد تاثیرات چشمگیری در نیروی عمود بر سطح کفشکها و کاهش سایش کفشکهای پیستون، سطح داخلی سیلندر، پکینگ ها و ... بود.

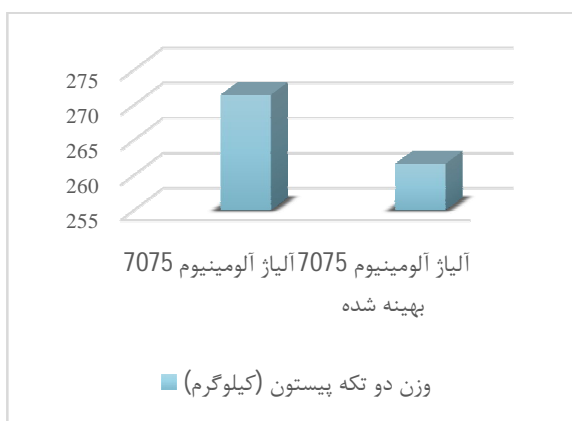


Fig. 26 Weight comparison

شکل 26 مقایسه وزن

- چنانچه وزن پیستون بیش از مقادیر به دست آمده با رعایت قید حداکثر تنش مجاز کاهش یابد تنش های فون میسر بحرانی حاصله از مقدار تنش تسلیم آلیاژ آلومینیوم 7075 تجاوز نموده و ضریب اطمینان طراحی به زیر عدد یک کاهش می یابد که غیرقابل قبول است و این امر نشانگر حساسیت ویژه در طراحی اولیه هندسه پیستون می باشد و در نهایت مهر تاییدی بر قیود در نظر گرفته شده طراحی است.

- در این تحقیق جزئیات کامل روشی برای بهینه سازی یک قطعه مکانیکی مانند پیستون ارائه گردیده که از این روش می توان جهت بهینه سازی بسیاری از قطعات مکانیکی با قید حداکثر میزان تنش و در نظر گرفتن محدودیت ابعادی استفاده نمود. روش تعریف مسئله بهینه سازی و متغیرهای طراحی، تعیین قیودها و تابع هدف یکی از مهمترین بخشهای طراحی در این تحقیق است.

5- سپاسگزاری

از شرکت پالایشگاه اصفهان به ویژه قسمت تحقیق و توسعه و

کیلوگرم الی 266/74 کیلوگرم بوده، که برای مطلوبترین جمعیت به دست آمده طبق شکل 25 برابر 261/618 کیلوگرم می باشد.

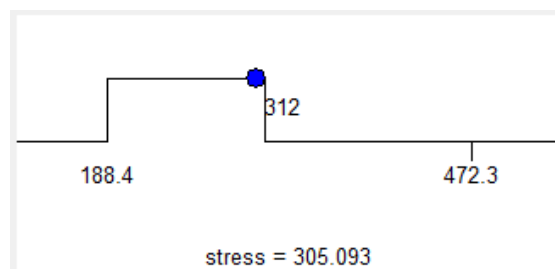


Fig. 24 Optimal allowable stress within the allowable range

شکل 24 تنش مجاز بهینه در محدوده مجاز

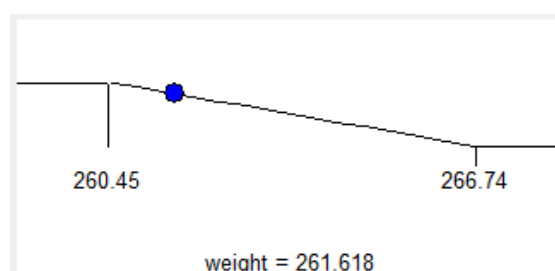


Fig. 25 Optimized permissible weight

شکل 25 وزن مجاز حالت بهینه شده

4- نتیجه گیری

با مطالعه و بررسی تمامی نتایج حاصله از تغییر وزن پیستون بالایی و پائینی نتایج ذیل به اختصار حاصل شده است :

- استفاده از آلیاژ آلومینیوم 7075 با عملیات حرارت دهی T6 بجای چدن خاکستری در پیستون کمپرسور به دلیل تنش تسلیم بالا، ضریب اطمینان بالاتر، چگالی پائین و به دنبال آن عدم سایش سطوح درگیر در داخل کمپرسور (کفشک پیستون و پیستون با روکش سیلندر و میل پیستون با مکانیکال سیل ها) قابل توجیه و معقولانه می باشد.

- با در نظر گرفتن بارهای مکانیکی و تنش های حرارتی که همگی در نرم افزار اباکوس و انسیس لحاظ شده، پیستون از جنس آلیاژ آلومینیوم 7075 دچار پدیده خزش و خستگی نشده و دارای عمر نامحدود می باشد.

- تمامی تحلیل های صورت گرفته در رابطه با پیستون از جنس آلیاژ آلومینیوم 7075 بیانگر آنست که هیچگونه شکستی در راستای تغییر جنس ایجاد شده محتمل نبوده و هرگز شکستی در پیستون جدید رخ نخواهد داد.

- وزن پیستون در شرایط فعلی بدون اعمال تغییرات جنس 780 کیلوگرم و بعد از تغییر آن تا 271 کیلوگرم کاهش می یابد. با کاهش ضخامت جداره داخلی پیستون در نقاط تعیین شده با

Genetic Algorithm and a Probabilistic Neural Network, University of Huddersfield, HD1 3DH, UK, IEEE, 2011.

- [8] Vaibhav V. Mukkawar, Abhishek D. Bangale, Nitin D. Bhusale, Ganesh M. Surve, *Design Analysis And Optimization of Piston Using CAE Tools*, International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering, April-2015.
- [9] Bapi Raju.V, Phanindra.Y.B.S (Department of Mechanical Engineering, V. R. Siddhartha Engineering College, India), *Optimization of Internal Combustion Engine Piston*, International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), June 2018.
- [10] Jatender Datta, Dr. Sahib Sartaj Singh (Research Scholar, PhD (Mechanical Engg.), Desh Bhagat University, Mandi Gobindgarh (India), *Comparison of carbon graphite piston with other materials by using finite element analysis method where temperature applied on the top of piston head*, International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), September 2017.
- [11] A. Atish Gawale, A. Shaikh and Vinay Patil, *Nonlinear Static Finite Element Analysis and Optimization of connecting rod*, World Journal of Science and Technology, Vol. 2(4), pp .01-04, 2012.
- [12] Jian Liu, Gaoyuan Yu, Yao Li, Hongmin Wang, and Wensheng Xiao Research Center for Marine Oil-Gas Equipment and Security Technology, *Multidisciplinary Design Optimization of Crankshaft Structure Based on Cooptimization and Multi-Island Genetic Algorithm*, China University of Petroleum (East China) 19 May 2016.

تعمیرات به جهت حمایت مالی و ایجاد زمینه و همکاری‌های لازم در راستای به ثمر رسیدن این تحقیق کاربردی و همچنین دانشگاه کاشان به منظور ایجاد امکان همکاری با صنعت و حمایت‌های لازم در راستای انجام این تحقیق نهایت قدردانی و سپاسگزاری می‌گردد.

6- مراجع

- [1] Via G.B. Grassi, *Neuman & Esser Italia S.r.l. COMPRESSOR APPLICATION CENTER*, 15 20157- MILANO, 2008.
- [2] Ajay Raj Singh, Dr. Pushpendra Kumar Sharma, *Design, Analysis and Optimization of Three Aluminium Piston Alloys Using FEA*. Journal of Engineering Research and Applications, 3, January 2014.
- [3] F.S. Silva, Department of Mechanical Engineering, University of Minho, Azure'm, *Fatigue on engine pistons -A compendium of case studies*. ELSEVIER, 14 December 2004.
- [4] O. V. Dushko, G. V. Voronkova, S. S. Rekunov, Springer International Publishing, *Optimization of Piston Compressor Geometric Size Using the Genetic Algorithm Method*, 2019.
- [5] R.E. Sanders, The Journal of The Minerals, *Technology Innovation in aluminium Products*, 53(2):21-25, 2001.
- [6] J. Li, Z.P. Zhang, C.W. Li, *Some useful approximations for wrought aluminum alloys based on monotonic tensile properties and hardness*. Mat.-wiss. u. Werkstofftech. 2018.
- [7] M. Ahmed, F. Gu, A. Ball, Diagnostic Engineering Research Group, *Feature Selection and Fault Classification of Reciprocating Compressors using a*