

مدلسازی پمپ هیدرولیک تراکتور مسی فرگوسن 285 با نرم افزار Fluent

محمد امین معصومی¹، محمد زارع²، دکتر هیوا گلپیرا³

1 - دانشجوی کارشناسی مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه کردستان

2 - دانشجوی کارشناسی مکانیک سیالات دانشگاه باهنر کرمان

3 - استادیار گروه مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه کردستان

aminepoxnet@yahoo.com

چکیده

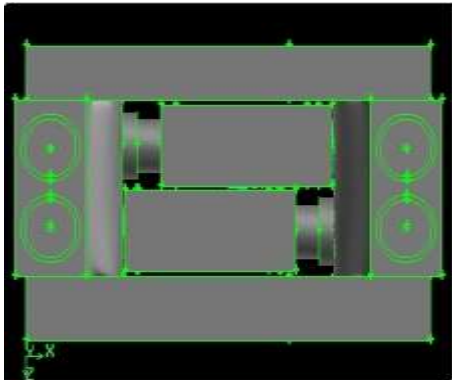
امروزه برای تعیین عوامل کاهش بازده و بهینه سازی سیستم های مکانیکی به دلایل متعددی از مدلسازی با نرم افزار استفاده می شود؛ سیستم های مکانیکی بسیاری از سیال استفاده می کنند که برای بهینه سازی آنها مدلسازی مناسب ترین روش می باشد، چراکه در سیستم های سیالاتی پیچیدگی حرکت سیال امکان استفاده از روش های محاسباتی بدون کامپیوتر را برای بررسی حرکت سیال، بسیار مشکل ساخته؛ از طرفی در بسیاری از این سیستم ها به دلیل بسته بودن فضای حرکت سیال امکان بررسی دقیق و کامل حرکت سیال وجود ندارد. سیستم هایی نیز وجود دارند که شرایط کاری خاص آنها (فشار و دمای بسیار بالا) استفاده از روش های تجربی را برای بهینه سازی آنها غیر ممکن کرده است. در روش های عددی با استفاده از نرم افزار با به حداقل رساندن هزینه های آزمایشگاهی اطلاعات دقیق و کاملی از چگونگی حرکت سیال به دست می آید. در این پژوهش پمپ هیدرولیک تراکتور مسی فرگوسن (MF285) با استفاده از نرم افزار Fluent مدلسازی شده است. این تراکتور در ایران بیشترین استفاده را داشته و از پمپ هیدرولیک آن در بسیاری از تراکتورهای شرکت مسی فرگوسن استفاده شده است. برای مدلسازی شکل پمپ در نرم افزار Gambit، رسم و شبکه بندی شد. نتایج به دست آمده نشان دهنده عدم تعادل پمپ می باشد. در سمتی که خروجی اصلی پمپ قرار دارد همیشه فشار سیال بیشتر از سمت دیگر است، که این امر باعث ایجاد نیروهای نامتعادل در پمپ می شود. مرتبط بودن ورودی و خروجی هر سیلندر با سیلندر کناری نیز باعث افزایش فشار در فرآیند مکش و کاهش فشار در دهش شده که باعث کاهش بازده پمپ می شود. از طرفی ارتباط ورودی اصلی با ورودی و خروجی سیلندرها و خروجی اصلی نیز به همین ترتیب، باعث افزایش فشار در ورودی به دلیل ارتباط با خروجی سیلندرها و کاهش فشار در خروجی به دلیل ارتباط با ورودی سیلندرها می شود.

کلمات کلیدی: پمپ هیدرولیک، مدلسازی، مسی فرگوسن، نرم افزار Fluent

مقدمه

امروزه در صنعت به مراتب از مدل سازی در موارد گوناگونی همچون پمپ ها، کمپرسورها، موتور انواع ماشین، حرکت ماشین های گوناگون مثل خود روها، هواپیماها و ... استفاده می شود. مدل سازی جریان سیال ماهیت حرکت سیال را مشخص می کند که از جمله فواید آن آشکار شدن مشکلات و ایرادات سیستم و امکان بهینه سازی قبل از ساخت و بعد از ساخت هر نوع دستگاه مکانیکی که با حرکت سیال همراه است، می باشد.

در این پژوهش پمپ هیدرولیک تراکتور مسی فرگوسن 285 (MF285) با نرم افزار Fluent مدل سازی و برخی از مشکلات این پمپ بیان شده است. این پمپ از نوع پیستونی بوده و دارای چهار سیلندر می باشد که این سیلندرها به شکل ضربدری عمل کرده و در هر 180 درجه چرخش محور پمپ، 2 سیلندر در حال مکش و دو سیلندر در حال دهش هستند. در این پروژه، تغییرات فشار در قسمت های مختلف پمپ که باعث کاهش بازده پمپ شده، بررسی شده است.



شکل 2- نمای بالا از طرح رسم شده در Gambit

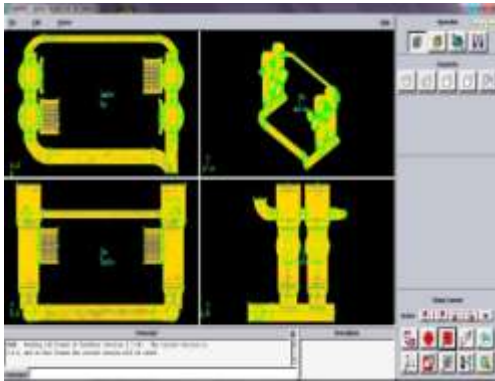


شکل 1- نمای واقعی پمپ هیدرولیک MF285

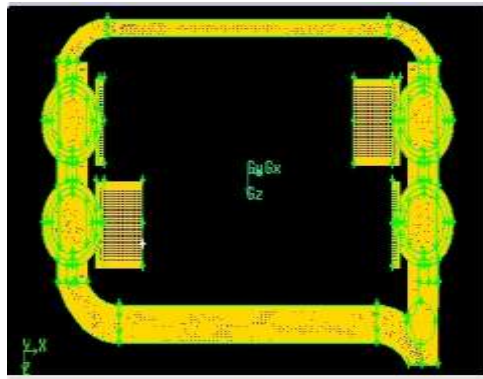
در بیان فواید این پروژه می توان به این نکته اشاره کرد که پمپ هیدرولیک بسیاری از تراکتورهای شرکت مسی فرگوسن از جمله تراکتورهای 255، 670، 690، 698، 699 و بسیاری دیگر از همین نوع بوده و در دیگر تراکتورهای این شرکت، تنها اندازه های پمپ آنها متفاوت می باشد. با مدل سازی و یافتن عوامل کاهش بازده در این پمپ، می توان نتایج این مقاله را به دیگر پمپ های این شرکت تعمیم داد.

مواد و روشها

در این پژوهش برای رسم شکل و شبکه بندی از نرم افزار Gambit 2.4 استفاده شد. شبکه ایجاد شده برای شکل پمپ دارای المان های شش وجهی (Tetra/hybrid) و از نوع مثلثی (TriGrid) می باشد. در Fluent برای مدل سازی سیلندر حتما باید از شبکه های سازمان یافته با المان های چهاروجهی (Hex) و از نوع مکعبی (Map) استفاده شود. در این پژوهش نیز برای شبکه بندی سیلندرها از شبکه های چهاروجهی از نوع مکعبی بهره گرفته شد. در این پژوهش شبکه از کیفیت نسبتاً خوبی برخوردار می باشد. در این شبکه 90/63 درصد از سلول های شبکه دارای Skewness بین صفر تا 0/5 می باشند و بقیه سلول ها نیز دارای Skewness 0/5 تا 0/7 هستند. از طرفی Aspect ratio در شبکه از یک تا چهار تغییر می کند که برای شبکه مناسب است. در این شبکه 1078741 سلول وجود دارد که 15200 سلول آن (1/41 درصد) مکعبی بوده و در بین این سلول های مکعبی 12920 سلول دارای Skewness صفر تا 0/5 داشته و تمامی آنها دارای aspect ratio بین یک تا چهار هستند. مابقی سلول ها (1063541 سلول) از نوع مثلثی هستند که 964767 سلول از آنها دارای Skewness بین صفر تا 0/5 می باشند و تمامی آنها دارای Aspect ratio بین یک تا چهار هستند.



شکل 4- سه نما و پرسپکتیو شبکه ایجاد شده در Gambit



شکل 3- نمای بالای شبکه ایجاد شده در Gambit

دبی سیال خروجی در شرایط کاری و با سرعت چرخش 640 دور در دقیقه برای شافت پمپ برابر با 15/2 لیتر بر دقیقه می باشد. در این سیستم از روغن SAE40 استفاده می شود که خواص این سیال به شرح زیر می باشد. چگالی 870 kg/m^3 ، ویسکوزیته سینماتیک 0.012093 kg/m-s . این ویسکوزیته برای دمای 100 درجه سانتیگراد کاربرد دارد.

قطر لوله ورودی و خروجی این پمپ 12/6 میلیمتر اندازه گیری شد.

$$A_{\text{Outlet}} = A_{\text{Inlet}} = \pi \times r^2$$

$$A = 124/6898 \text{ mm}^2$$

$$Q_{\text{Outlet}} = 15/2 \text{ lit/min}$$

$$Q_{\text{Outlet}} = 25/333 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{Outlet}} = V_{\text{Out}} \times A_{\text{Out}}$$

$$V_{\text{Out}} = \frac{Q_{\text{Out}}}{A_{\text{Out}}} = 2.03168 \text{ m/s}$$

برای محاسبه سرعت ورودی، کل پمپ را به شکل یک حجم کنترل در نظر می گیریم و چون خواص فیزیکی سیال در این حجم کنترل با گذشت زمان ثابت است می توان حرکت سیال در حجم کنترل را نسبت به زمان پایدار در نظر گرفت و از معادله ی ساده شده از معادله پیوستگی برای محاسبه سرعت استفاده کرد . به این صورت که خواهیم داشت:

$$Q_{\text{Out}} = Q_{\text{In}}$$

$$(AV)_{\text{Out}} = (AV)_{\text{In}}$$

$$A_{\text{Out}} = A_{\text{In}}$$

$$V_{\text{Out}} = V_{\text{In}} = 2.03168 \text{ m/s}$$

برای تشخیص محدوده رینولدز جریان، ورودی و خروجی به عنوان منطقه پرسرعت و بقیه جریان، به دلیل افزایش فشار، محدوده کم سرعت در نظر گرفته شد؛ به دلیل کم تاثیر بودن تغییر قطر در پمپ، تغییر عدد رینولدز

در پمپ را وابسته به سرعت فرض می کنیم. با این فرض، بالاترین عدد رینولدز در ورودی و خروجی دیده خواهد شد. در ورودی و خروجی به دلیل برابر بودن سرعت، قطر مجرا، چگالی و ویسکوزیته عدد رینولدز برابر خواهد بود که این مقدار برابر است با:

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu}$$

$$Re = \frac{870 \times 2.03168 \times 12.6 \times 10^{-3}}{1.2093 \times 10^{-2}} = 1841.66676$$

که در آن ρ چگالی، v سرعت سیال، d قطر مجرای عبوری و μ ویسکوزیته دینامیک سیال می باشد. با فرضی که بالاترین عدد رینولدز در ورودی و خروجی دیده می شود و دیدیم که در ورودی و خروجی جریان در محدوده جریان آرام قرار دارد، می توان نتیجه گرفت مسئله در محدوده جریان آرام قرار دارد. با این حساب مسئله به شکل جریان آرام حل شد. در Fluent معادله بقای جرم برای سیال به شکل زیر می باشد:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m$$

معادله بقای مومنتوم نیز به شکل زیر خواهد بود:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{V}) + \nabla \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F}$$

که ρ چگالی، v سرعت سیال، p فشار، S_m جرم خارجی اضافه شده و I تانسور واحد می باشد. حل مسئله با نرم افزار Fluent نیازمند وقت و کامپیوترهای پیشرفته می باشد. به ویژه در مسائل وابسته به زمان، فرآیند حل بسیار طولانی شده و از عهده سیستم های خانگی خارج است. در این پژوهش با امکانات محدودی که وجود داشت، از جمله بهره گیری از کامپیوتر خانگی، تنها موفق به حل مسئله تا 0/1 درجه حرکت محور پمپ شده ایم.

با این حال به دلایلی می توان با در نظر گرفتن کل پمپ به عنوان حجم کنترل، مسئله را به شکل مستقل از زمان حل کرد و حل مسئله در هر زاویه ای را به کل زوایا تعمیم داد که این دلایل عبارتند از:

1- متقارن بودن شکل

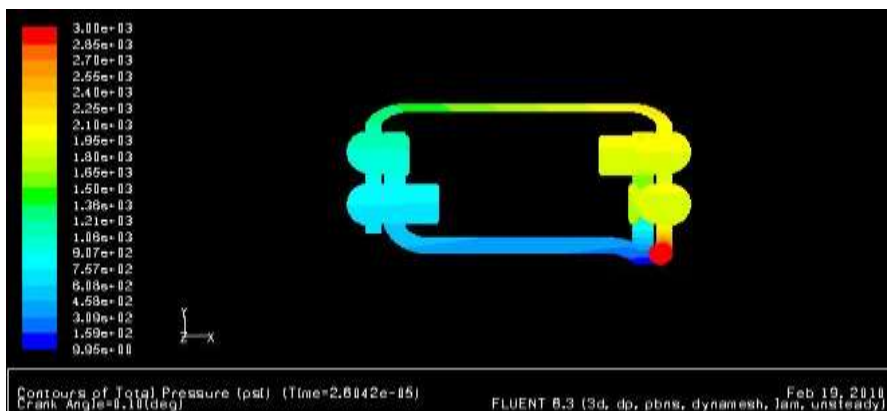
2- ثابت بودن خواص جریان در ورودی و ورودی

نتایج و بحث

به عنوان نمونه هایی از مدل سازی می توان به مدل سازی پمپ پیستون محوری اشاره کرد که توسط S.Kumar و همکاران [1]، انجام شده است. در این پژوهش به بررسی توزیع فشار، نشتی ها و تغییرات نیرو و تورک در شرایط تعریف شده پرداخته شده است. در سال 2008 R.Spence و J.Amaral-Teixeira [2]، پالس در پمپ سانتریفوژ را بررسی کردند. در سال 2010 B.Jafarzadeh و همکاران [3]، تعداد تیغه ها و زاویه مناسب تیغه ها را در پمپ سانتریفوژ به دست آوردند. Xiao-Dong Wang و Jing-Liang Dong [4]، در سال 2010 به مطالعه عددی عملکردهای پمپ خلاء Steam-Jet در شرایط کاری گوناگون پرداختند و به این نتیجه رسیدند که گردابه های مجزایی از سیال در نزدیک دیواره وجود دارند و زمانی که فشار بازگشتی از فشار بازگشتی بحرانی بزرگتر بود، سرعت سیال به صورت قابل مشاهده ای کاهش یافت. در سال 2006 K.K.Singh و همکاران [5]، مدل سازی CFD یک Pump-Mixer با هد تک فاز و کاراکترهای توان را انجام دادند؛ نتایج این پروژه بررسی دو

پارامتر ماکروسکوپی عملکرد یعنی مصرف توان و هد تولید شده توسط پروانه پمپ می باشد. A.Menendez و Blanco و J.M.Fenandez Orb [6] در سال 2011، یک پمپ پیستونی برای روغن کاری با جریان ناپایدار را با استفاده از شبکه دینامیک شبیه سازی کردند؛ آنها به این نتیجه رسیدند که سیالیت در مکان هایی که دارای نواحی با گرادیان سرعت بزرگ هستند، محدود شده است. در سال 2011، Ajmal Shah و همکاران [7] پمپ جت بخار را به صورت عددی و تجربی آنالیز کردند؛ در این مقاله نشان داده شد که نتایج عددی و تجربی بر هم منطبق هستند.

برای شرح عملکرد پمپ به چگونگی توزیع فشار در این پمپ می پردازیم. با توجه به شکل 5، در سمت چپ شکلی، فشار سیال کمتر از سمت راست می باشد که امری طبیعی است. چراکه خروجی سیلندر در حال دمش، سمت چپ شکل (سیلندر شماره 1)، از طریق مجرای ارتباطی نشان داده شده، به سمت راست پمپ انتقال یافته و در سمت راست با خروجی سیلندر در حال دمش، سمت راست شکل (سیلندر شماره 2)، ادغام و در نهایت از خروجی پمپ که در سمت راست قرار دارد، خارج می شود. در سمت راست پمپ به دلیل ترکیب دو خروجی، فشار سیال نسبت به سمت چپ افزایش می یابد که در شکل کاملاً مشهود است.

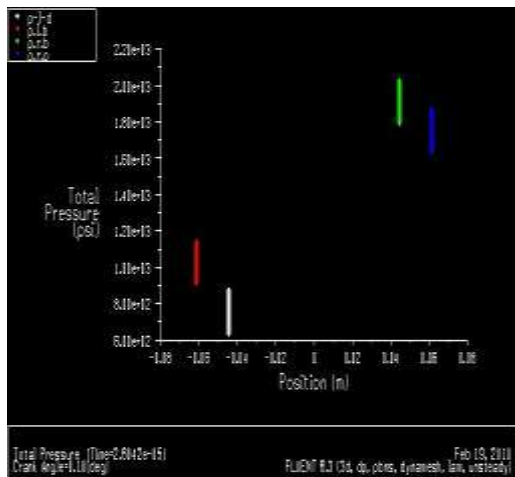


شکل 5- چگونگی توزیع فشار در پمپ

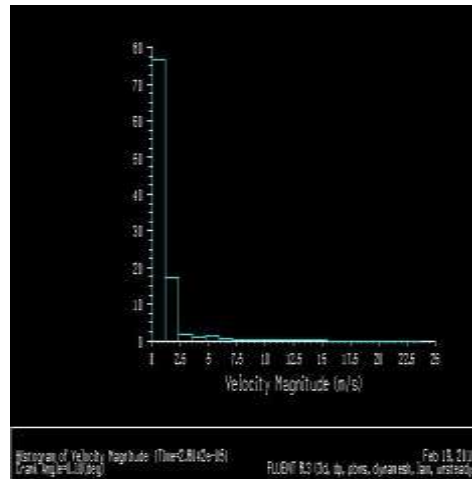
همچنین می توان به این نکته نیز اشاره کرد که در خروجی پمپ، مکش سیلندر کناری آن باعث افت فشار در سیال خروجی می شود که این موضوع نیز باعث کاهش بازده پمپ شده است.

از طرفی عدم تعادل توزیع فشار در پمپ، باعث ای جاد نیروهای نامتعادلی در پمپ می شود. برای روشن کردن این موضوع در شکل 6 فشار سیال در سر پیستون ها نشان داده شده است که عدم تعادل در سر پیستون ها را مشخص می کند. در شکل، همان سیلندر شماره 1، p-l-b سیلندر شماره 4، p-r-b سیلندر شماره 2 و p سیلندر شماره 3 می باشد.

در شکل 7 محدوده سرعت سیال در پمپ، با استفاده از آمارهای نرم افزار نشان داده شده است. این شکل نشان می دهد که 76/845٪ از سرعت المان های سیال در پمپ بین بازه صفر تا 1/1896 متر بر ثانیه بوده و 17/432٪ از سرعت المان ها در محدوده 1/1896 تا 2/3793 متر بر ثانیه می باشد. این جدول نشان می دهد که بخش اعظم سیال در محدوده جریان آرام قرار دارد. این امر نشان دهنده درستی مدل سازی می باشد، البته با مقدار ناچیزی خطا.



شکل 6- توزیع فشار در سر پیستونها



شکل 7- محدوده سرعت سیال در پمپ

منابع

- [1] S.Kumar, J.M.Bergada, J.Watton. Axial piston pump grooved slipper analysis by CFD simulation of three-dimensional NVS equation in cylindrical coordinates. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045793008001370>. Last access on: 28/6/2008
- [2] R.spence, J.Amaral-Teixeira. A CFD parametric study of geometrical variations on the pressure pulsations and performance characteristics of a centrifugal pump. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045793008002338>. Last access on: 6/12/2008
- [3] B.Jafarzade, A.Hajari, M.M.Alishahi, M.H.Akbari. The flow simulation of a low-specific-speed centrifugal pump. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X10002271>. Last access on: 31/5/2010
- [4] Xiao-Dong Wang, Jing-Liang Dong. Numerical study of the performances of steam-jet vacuum pump at different operation conditions. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0042207X10001193>. Last access on: 1/3/2010
- [5] K.K.Singh, S.M.Mahajani, K.T.Shenoy, A.W.Patwardhan, S.K.Ghosh. CFD modeling of pilot-scale pump-mixer: Single-phase head and power characteristics. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009250906006798>. Last access on: 7/11/2006
- [6] A.Menendez Blanco, J.M.fernandez Oro. Unsteady numerical simulation of an air-operated pump for lubricating greases using dynamic meshes. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045793011003860>. Last access on: 29/12/2011