

آنالیز جریان سه بعدی در پمپ گریز از مرکز OH1 50-160 با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی

چکیده

در کار حاضر تحلیل سه بعدی جریان در داخل پمپ گریز از مرکز OH1 50-160 انجام گرفته است. مدل عددی بر مبنای حل معادلات ناویر استوکس برای جریان های تراکم ناپذیر به وسیله معادلات میانگین رینولدز و مدل آشفتگی جریان با استفاده از مدل $K - \epsilon$ انجام می گیرند. نواحی حل از یک ناحیه ساکن و یک ناحیه دورانی عبوری از مابین پره ها تشکیل شده اند. و مدل دینامیک سیالات محاسباتی با استفاده از نرم افزار ANSYS FLUENT انجام می گیرد. منحنی مشخصه هد و دبی پمپ استخراج و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است در نتیجه می توان برای کلیه محصولات شرکت آریا سپهر کیهان قبل از نصب بر روی سیستم و تست پمپ از نتایج تحلیلی استفاده کرد که باعث صرفه جویی در زمان و هزینه می شود. همچنین کانتور های سرعت و فشار برای آگاهی از رفتار سیال در داخل پمپ نشان داده شده اند.

مقدمه

پمپ یک ماشین هیدرولیکی است که انرژی مکانیکی را به انرژی هیدرولیکی یا انرژی فشار تبدیل می کند. پمپ های گریز از مرکز نیز به صورت یک پمپ دینامیکی مدور یا پمپ فشار دینامیکی مشهور هستند. در این نوع پمپ سیال توسط یک پروانه که دارای تعدادی پره است در معرض یک محیط دورانی قرار می گیرد. همچنین مزیت این نوع پمپ ها هزینه اولیه پایین، بازده بالا، نصب و قابلیت دسترسی آسان و غیره نسبت به سایر پمپ هاست.

پمپ های گریز از مرکز به صورت وسیع برای انتقال سیالات در بخش های از جمله کشاورزی، صنایع نفت، آب و فاضلاب و غیره مورد استفاده قرار میگیرند و محدوده این پمپها از بار کامل تا نزدیک دبی صفر است. به منظور توسعه یک دستگاه قابل اعتماد برای این محدوده کارکرد، باید رفتار جریان در کل پمپ پیش بینی شود. این امر مستلزم آنالیز جریان بسیار پیچیده که دارای هندسه سه بعدی و جریان آشفتنه در حالت طبیعی است.

تجزیه و تحلیل جریان از طیف آزمایشگاه و تست بسیار زمان بر و پرهزینه است، به همین دلیل امروزه دینامیک سیالات محاسباتی به عنوان یک تکنیکی برای تجزیه و تحلیل جریان برای صرفه جویی در زمان و هزینه است. در سالهای اخیر استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی به عنوان یک تکنیکی برای تجزیه و تحلیل جریان در پمپ های گریز از مرکز در صنعت مورد استفاده قرار می گیرد. با استفاده از مدل دینامیک سیالات محاسباتی می توان کارایی سیستم و همچنین رفتار واقعی سیال را مشاهده کرد. در واقع می توان با این تکنیک علت و کارکرد ضعیف سیستم را یافت. بسیاری از محققین از دینامیک سیالات محاسباتی به عنوان شبیه سازی عددی پمپ های گریز از مرکز استفاده می کنند. پتال و راماکریشن آنالیز دینامیک سیالات محاسباتی برای پمپ مخلوط کن با سرعت مخصوص ۴۶ و در نقطه کار پمپ را انجام داده اند [1].

موقلی و همکاران در سال ۱۹۹۷ معادلات ناویر استوکس با مدل آشفتگی $k-\epsilon$ برای تحلیل دینامیکی سیال پمپ های فشار قوی را انجام داده اند [2].

مدویتر و همکاران ۲۰۰۲ از روش دینامیک سیالات محاسباتی چند فازی برای تجزیه و تحلیل کارکرد پمپ گریز از مرکز تحت شرایط کاونتاسیون استفاده کرده اند. آنها از دو فازی هموژنیوس معادلات میانگین رینولدز استفاده کرده اند. که در آن حرکت ترکیبی و معادلات پیوستگی حجم همراه با کسر حجمی بخار حل شده است. [3]

زهو و همکاران در سال ۲۰۰۳ شبیه سازی عددی جریان داخلی را در تیپ های مختلف پمپ های گریز از مرکز (یک نوع دارای شش پره و دو نوع دیگر دارای چهار پره). کد تجاری ناویر استوکس سه بعدی در سی اف ایکس (cfx) با یک مدل کا اپسیلون (k-e) استاندارد استفاده می شود. آنها دریافتند که بازده پمپ های دارای پره های تیغه پیچی بهتر است از پمپ های دارای پره های تیغه مستقیم است [4]

با چارودیس و همکاران مطالعه پارامتریک پره های با قطر خارجی یکسان و زاویه خروجی متفاوت را انجام دادند. حل عددی در این کار به صورت حل معادلات ناویر استوکس سه بعدی و سیال تراکم ناپذیر با ایجاد مشبندی غیر ساختاری با استفاده از کد دینامیک سیالات محاسباتی انجام داده اند [5]

در کار حاضر تحلیل سیال در پمپ گریز از مرکز OH1 50-160 (یکی از محصولات شرکت آریا سپهر کیهان) با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی در نرم افزار انسیس فلونت (ANSYS FLUENT) انجام گرفته است. مشخصات برجسته پمپ 50-160 در جدول ذیل آمده است:

جدول ۱: مشخصه پمپ OH1 50-160

| | |
|-----------------------------------|------|
| هد در نقطه کار پمپ (m) | ۲۲ |
| دبی در نقطه کار پمپ (m^3/h) | ۱۵ |
| سرعت دورانی در نقطه کار پمپ (rpm) | ۲۹۰۰ |
| تعداد پره | ۶ |
| قطر خارجی پروانه (mm) | ۱۶۵ |
| قطر چشمی پروانه (mm) | ۸۵ |
| عرض پروانه (mm) | ۱۵ |

دینامیک سیالات محاسباتی:

جریان در پمپ محوری به صورت پایا، سه بعدی و آشفته در نظر گرفته می شود. معادلات به صورت بقای جرم، میانگین رینولدز- ناویر استوکس (RANS) و مدل آشفتگی k-e است فرض می شود که جریان تراکم ناپذیر است لذا قانون بقای جرم در مختصات کارتزین به صورت زیر است.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j)}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

در معادله فوق ρ چگالی، u_i سرعت میانگین و x_j مختصات مکان در جهت j است. استخراج معادلات میانگین رینولدز بر مبنای تجزیه زینولدز برای معادلات ناویر استوکس به کار برده می شود. و برای سیالات تراکم ناپذیر به صورت معادله زیر بیان می شود [6]:

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j u_i)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + A + F_i \quad (2)$$

در رابطه فوق A ترم پخش برای جریان های آرام و آشفته است که به صورت معادله زیر است:

$$A = \frac{\partial}{\partial x} \left[(\mu_m + \mu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (۳)$$

P فشار، F_i منابع اضافی ممنتوم است.

از آنجا که معادلات حرکت در یک چارجوب مرجع نسبی مرتبط با پره های دورانی، نیرو های کریولیس و نیروهای گریز از مرکز قرار دارد بنابراین ترم اضافی مومنوم به صورت زیر بیان می شود.

$$F_i = F_{i,co} + F_{i,ce} \quad (۴)$$

$$F_{i,co} = -2\varepsilon_{ijk}\omega_j u_k \quad (۵)$$

$$F_{i,ce} = -\omega_j \omega_i x_j + \omega_j \omega_j x_i \quad (۶)$$

که در معادلات فوق ω_i سرعت دورانی ε_{ijk} تانسور مرتبه سوم لوی-سیوستا است.

مدل آشفنگی:

برای حل معادلات ناویر استوکس و ترم های آشفنگی موجود در این معادله، نیاز به معادلات آشفنگی نیز است مدل های مختلفی برای حل ترم های آشفنگی در معادلات ناویر استوکس وجود دارد که در کار حاضر از مدل آشفنگی $k-e$ استفاده شده است. این مدل از دو معادله انتقالی برای پارامترهای آشفنگی k و e استفاده می کند. مدل بر مبنای انرژی جنبشی مخصوص k و نرخ پراکندگی نوسان آشفنگی e است. معادلات انتقالی این مدل به صورت معادلات زیر بیان می شوند.

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k + P_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (۷)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{C_{1\varepsilon} \varepsilon}{k} (P_k + (C_3 P_{\varepsilon b})) - \frac{C_{2\varepsilon} \rho \varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (۸)$$

که در معادلات فوق :

$$\mu_t = \frac{\rho C_\mu k^2}{\varepsilon} \quad (۹)$$

$$P_k = \mu_t S^2 \quad (۱۰)$$

$$P_b = \beta g_i \left(\frac{\mu_t}{\rho r_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (۱۱)$$

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (۱۲)$$

$$C_{1\varepsilon} = 1.44, C_{2\varepsilon} = 1.92, C_{3\varepsilon} = -0.33$$

$$C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3$$

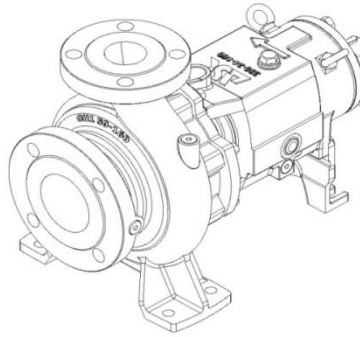
شبیه سازی عددی:

دینامیک سیالات محاسباتی به آنالیز سیستم هایی شامل جریان سیال، انتقال گرما و پدیده هایی مثل واکنش های شیمیایی می پردازد و باعث صرفه جویی در زمان و هزینه می شود. پارامترهای جریان در پمپ های گریز از مرکز به وسیله دو معادله قانون بقای جرم و قانون

بقای مومنتوم ارائه می شوند این قوانین بقا می تواند در ترم هایی از معادلات دیفرانسیل جزئی بیان شوند. دینامیک سیالات محاسباتی یک تکنیک عددی برای جایگزینی ترم های دیفرانسیل جزئی سیال به معادلات جبری به وسیله انفصال معادلات در راستای مکان و زمان است. نواحی محاسباتی شامل حلزونی مارپیچ و پروانه دارای ۶ عدد پره است. در کل پمپ را در حالت پایا برای ۷ دبی مختلف اجرا کرده و هد خروجی استخراج می شود. جریان سیال در پروانه به وسیله مرجع چرخنده و جریان در حلزونی به صورت مرجع ساکن محاسبه می شوند.

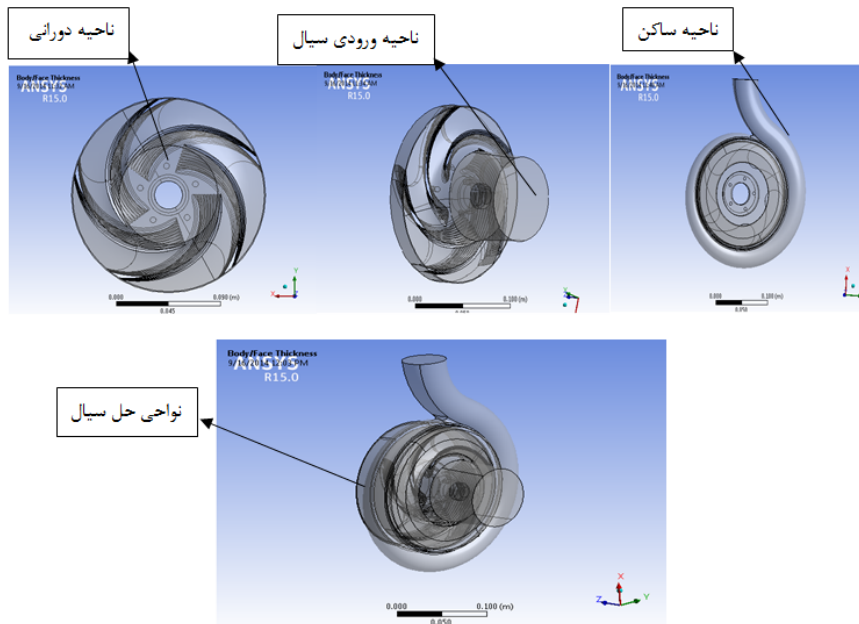
ایجاد هندسه:

در کلیه آنالیز دینامیک سیالات محاسباتی ایجاد هندسه و نواحی حل سیال یکی از مهمترین قسمت های آن جهت همگرایی بهتر است. در کار حاضر تحلیل سه بعدی پمپ *OH1 50-160* که یکی از محصولات شرکت آریا سپهر کیهان می باشد مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۱ شماتیکی از این نوع پمپ را نشان می دهد.



شکل ۹: شماتیک پمپ *OH1 50-160* [7]

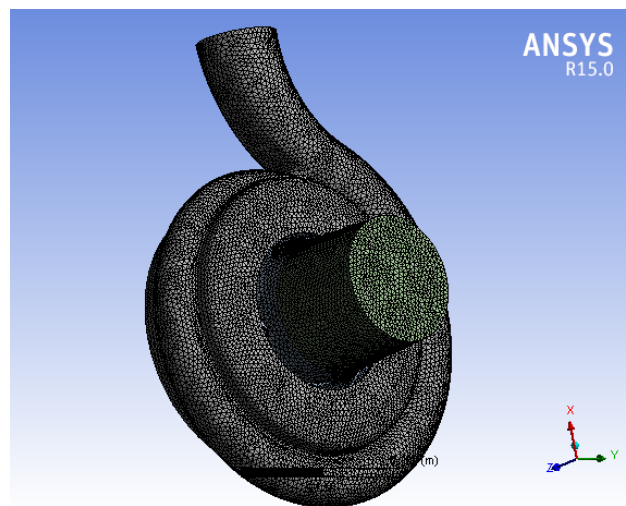
با استفاده از نرم افزار *CATIA* هندسه پمپ نواحی حل سیال به صورت کاملا دقیق برای آماده سازی در نرم افزار *ANSYS FLUENT* به صورت نشان داده شده در شکل ۲ مدل شده است.



شکل ۱۰: مدل ایجاد شده برای تحلیل

تولید مش:

مدل سه بعدی تولید مش توسط نرم افزار *ANSYS FLUENT* ایجاد شده است به دلیل اندازه و پیچیدگی هندسه پمپ دقت در توزیع المان های مش ضروری است. نوع مش بندی گره های غیر ساختاری، استفاده می شود. به منظور دقت در توزیع سرعت و فشار نزدیک دیواره یک ساختار بسیار ریز در نزدیکی دیواره های حلزونی و پره های پروانه در نظر گرفته می شود این کار باعث افزایش دقت می شود. تعداد المان ها در ناحیه پروانه ۱۵۷۴۱۸ و در ناحیه حلزونی ۳۴۰۳۰۵ و در ناحیه مکش ۱۱۳۱۳۲ می باشد که جمعاً ۶۱۰۸۵۵ می باشد. شکل ۳ مش بندی ایجاد شده در نرم افزار را نشان می دهد.



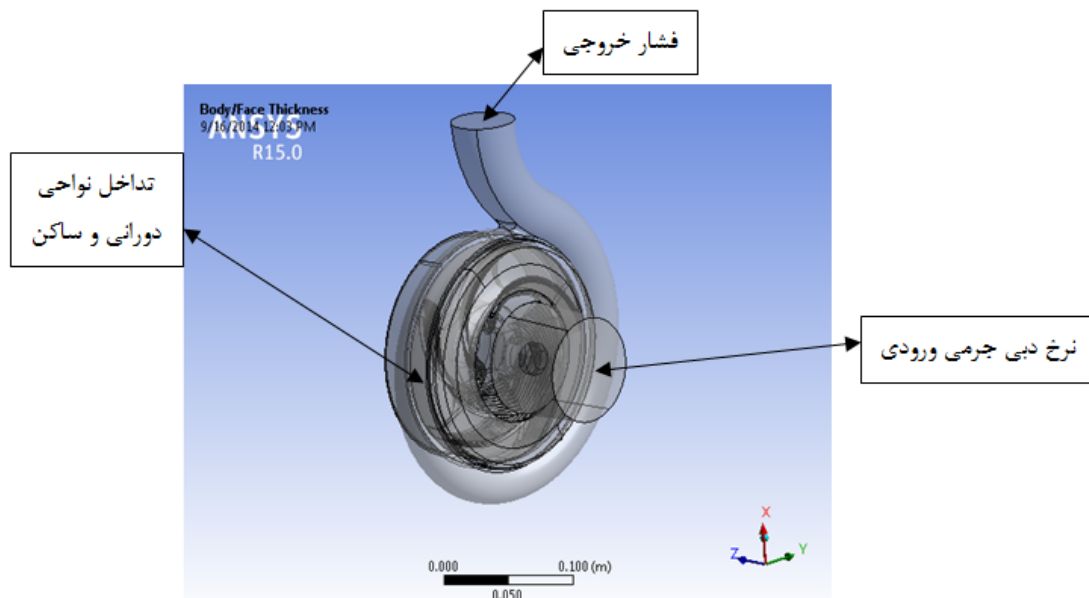
شکل ۱۱: مش ایجاد شده توسط نرم افزار

شرایط مرزی:

نرخ دبی جرمی به عنوان شرط مرزی ورودی بوده و به عنوان متغیر مسئله حاضر در نظر گرفته شده است. فشار محیط به عنوان شرط مرزی خروجی در نظر گرفته می شود. همچنین برای ارتباط نواحی دورانی و ثابت از شرط مرزی *Interface* استفاده شده است. شکل ۴ کلیات شرایط مرزی برای کار حاضر را نشان میدهد.

تکنیک حل:

برای تبدیل معادلات دیفرانسیل جزئی حاکم به معادلات جبری از تکنیک مبنای حجم کنترل استفاده شده است. سیال آب به صورت حالت پایا و تراکم ناپذیر و تک فاز در نظر گرفته شده است. زبری سطح اجزای کلیه نواحی را $0,00005$ متر در نظر گرفته شده است. شبیه سازی حالت پایا در شرایط طراحی و غیر طراحی از معادلات رینولدز میانگین ناویر استوکس استفاده شده است. برای کوپلینگ سرعت و فشار از طرح *SIMPLE* استفاده شده است. و در نهایت برای انفعال معادلات ممنتوم و آشفتگی از طرح *Upwind* مرتبه دوم استفاده شده است.



شکل ۱۲: شرایط مرزی حاکم بر مسئله

نتایج و بحث:

برای پیشگویی کارکرد پمپ گریز از مرکز دانستن نحوه انتقال انرژی در قسمت های مختلف پمپ امری ضروری است این پدیده را می توان از طریق مطالعه میدان جریان در داخل پمپ های گریز از مرکز درک کرد. هد و دبی از نظر اهمیت کاربرد در یک ردیف قرار دارند اگرچه فاکتورهای دیگری نیز مانند سیال پمپ شونده، چیدمان لوله ها و نوع محرکه اهمیت دارند، ولی نیاز اولیه پمپ ها تحویل مقدار صحیحی از سیال در هد موجود در سیستم می باشد. در کار حاضر پمپ را برای هفت دبی متفاوت اجرا کرده هد خروجی، بازده پمپ و توان پمپ

محاسبه شده و به صورت جداول و نمودار های ذیل ارائه شده است. لازم به ذکر است نتایج آزمایشگاهی از تست پمپ مورد مطالعه در آزمایشگاه شرکت آریا سپهر کیهان استخراج شده است.

هد-دبی

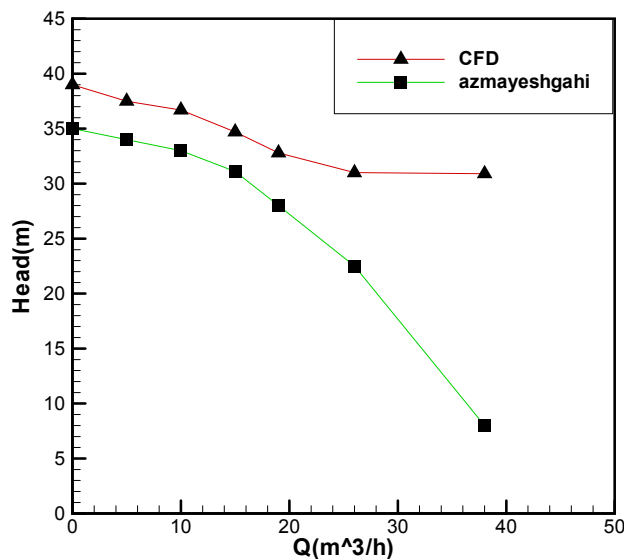
هد محاسبه شده با استفاده از معادله زیر به دست می آید:

$$total\ head = \frac{p}{\rho g} + \left(\frac{V^2}{2g}\right) + z \quad (13)$$

که در معادله فوق g شتاب جاذبه زمین و Z ارتفاع پمپ است

| دبی $\frac{m^3}{h}$ | صفر | ۵ | ۱۰ | ۱۵ | ۱۹ | ۲۵ | ۳۸ |
|-------------------------|-------|------|-------|-------|------|------|------|
| هد (m) نتایج تحلیل | ۳۹ | ۳۷,۵ | ۳۶,۷ | ۳۴,۷ | ۳۲,۸ | ۳۱ | ۳۰,۹ |
| هد (m) نتایج آزمایشگاهی | ۳۵ | ۳۴ | ۳۳ | ۳۱,۱ | ۲۸ | ۲۲,۵ | ۸ |
| در صد خطا | ۱۰,۲۵ | ۹,۳۳ | ۱۰,۰۸ | ۱۰,۳۷ | ۱۴,۶ | ۲۷,۴ | ۷۴ |

شکل زیر نمودار مقایسه هد و دبی با نتایج آزمایشگاهی و نرم افزار را نشان می دهد که مشاهده می شود می توان با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی نتایج آزمایشگاهی را با دقت خوبی پیشگویی کرد و در هزینه و زمان صرفه جویی کرد. این روش باعث می شود قبل از نصب پمپ در سیستم یک حالت کلی از منحنی های مشخصه پمپ را تصور کرد و این امر در طراحی تک تک اجزای پمپ بسیار مفید است و در حقیقت دست طراح را در تغییر پارامتر های طراحی باز می گذارد.

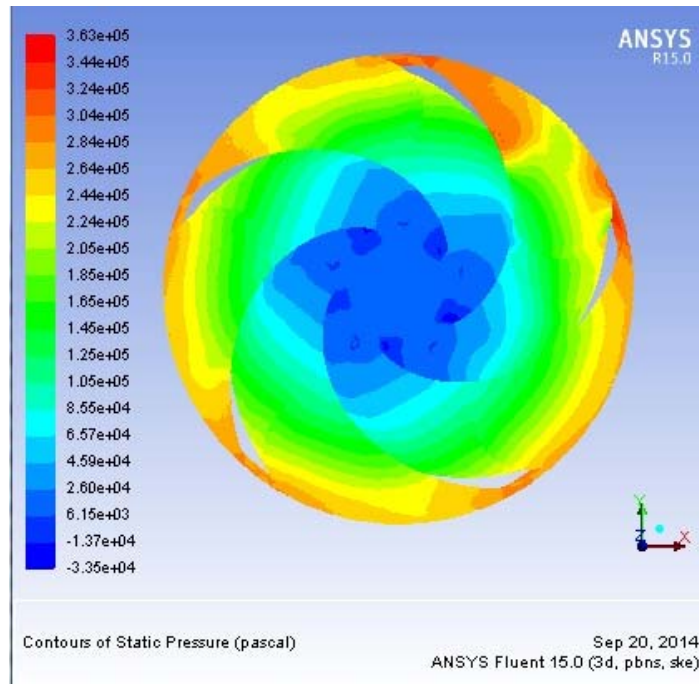


شکل ۱۳: مقایسه هد و دبی

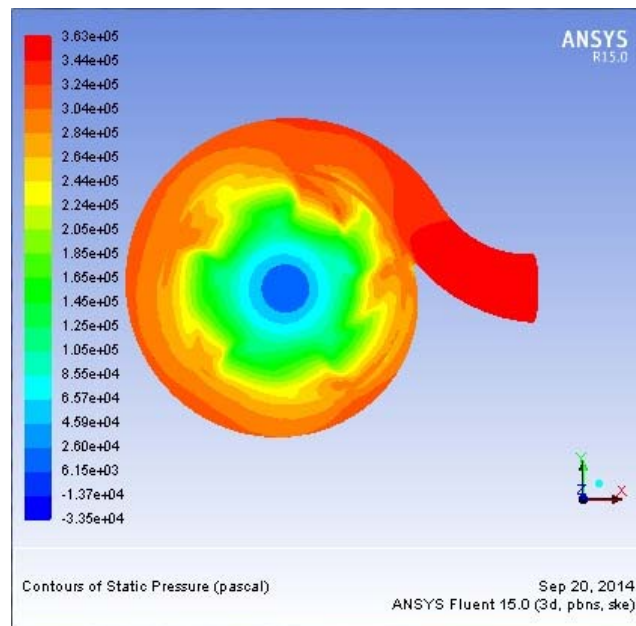
مطالعه کانتور های فشار استاتیک در فهم تبدیل انرژی انتقال یافته در قسمت های مختلف پمپ بسیار موثر است. همچنین می توان فهمید که فشار های منفی و پایین در کدام قسمت های پمپ اتفاق می افتد که در موضوع کاویتاسیون بسیار مهم است. شکل زیر یکی از کانتور های فشار را برای دبی ۱۵ نشان می دهد. به نظر می رسد که فشار در پروانه به صورت پیوسته افزایش می یابد به صورتی که پروانه انرژی مکانیکی تحمیلی را به انرژی فشاری تبدیل میکند.

بردار سرعت:

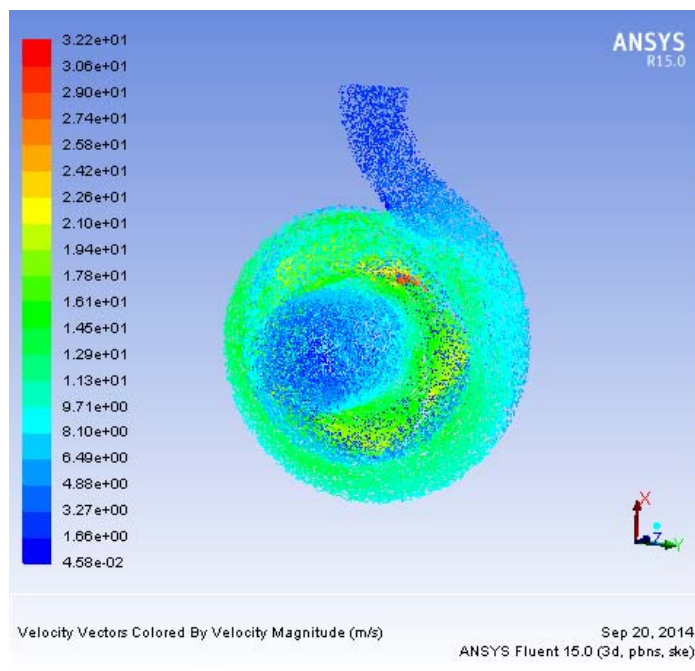
بردار سرعت در شکل ۸- نشان داده شده است بردار سرعت جهت جریان در قسمت های مختلف پمپ را نشان می دهد همچنین می توان نواحی جدایش جریان، اطلاعات جریان های گردابه ای و نواحی جریان های ثانویه را شناسایی کرد.



شکل ۱۴: کانتور فشار در پروانه



شکل ۱۵: کانتور فشار در پمپ



شکل ۱۶: بردار های سرعت

منابع:

- [1] Patel K. and Ramakrishnan N., CFD analysis of mixed flow pump.
- [2] Muggli F.A., Eisele K., Casey M.V., Gulich J., Schachenmann A., 1997. Flow analysis in a pump diffuser-part 2: validation and limitations of cfd for diffuser flows, Journal of Fluids Engineering 119 978-984.
- [3] Medvitz R.B., Kunz R.F., Boger D.A., Adam J.W., Yocum A.M., Pauley, L.L., 2002. Performance analysis of cavitating flow in centrifugal pumps using multiphase CFD. Journal of Fluid Engineering 124 377-383.
- [4] Zhou W., Zhao Z., Lee T. S., Winoto S.H., 2003. Investigation of flow through centrifugal pump impellers using computational fluid dynamics, International Journal of Rotating Machinery 9(1) 49-61.
- [5] Bacharoudis E.C., Filios A.E., Mentzos M.D., Margaritis D.P., 2008. Parametric study of a centrifugal pump impeller by varying the outlet blade angle, The Open Mechanical Engineering Journal 2 75-83.
- [6] Mohan L.H., Kanfoudi H., Zgolli R., 2012. , Numerical Analysis of the Flow Through in Centrifugal Pumps., International Journal of Thermal Technologies. , ISSN 2277 – 4114.

[7] شرکت آریا سپهر کیهان تولید کننده انواع پمپ های گریز از مرکز