دانشکده فنی مهندسی مکانیک

گروه مهندسی مکانیک

پیشنهاد طرح پژوهشی پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

عنوان فارسی

مطالعه عددی پدیده کاویتاسیون در یک توربین فرانسیس

عنوان انگلیسی

Numerical study on the cavitation phenomenon in a Francis turbine

فهرست مطالب:

صفحه

الف) چکیده..... 3
ب) بیان مسئله..... 3
ج) سئوالات تحقیق..... 3
د) فرضیات تحقیق..... 3
ه) بررسی منابع..... 4
و) مواد و روش ها (روش تحقیق)..... 6
ز) نتایج مورد انتظار..... 6
ح) معیار ارزیابی موفقیت..... 6
ط) برنامه زمانبندی شده انجام پایان نامه..... 7
ی) منابع و ماخذ..... 8
ک) واژه نامه..... 9

الف) چکیده

پدیده کاویتاسیون یکی از مهم ترین پدیده هایی است که امکان وقوع آن در پمپ ها و توربین ها وجود دارد. این پدیده یک پدیده نامطلوب و مضر برای توربین ها و پمپ ها می باشد کاویتاسیون در توربین ها و پمپ ها باعث خوردگی مواد، کاهش بازده توربوماشین، ایجاد سروصدا و ارتعاشات نامطلوب می شود. لذا در طراحی و بهره برداری از توربین ها و پمپ ها اجتناب از وقوع پدیده کاویتاسیون مورد نظر طراحان و مهندسان بهره بردار می باشد. وقوع این پدیده در توربین ها و پمپ ها به شکل های مختلف می تواند اتفاق بیفتد. در این پایان نامه وقوع پدیده کاویتاسیون در یک توربین فرانسیس مورد مطالعه قرار می گیرد. روش تحقیق به صورت عددی بوده و از یک نرم افزار معتبر دینامیک سیالات محاسباتی برای انجام این پژوهش استفاده خواهد شد.نتایج حاصل از این پژوهش می تواند مهندسان طراح و بهره بردار را در جلوگیری و اجتناب از این پدیده در توربین های فرانسیس یاری نماید.

کلمات کلیدی:

کاویتاسیون، توربین فرانسیس، معالعه عددی، توربوماشین، دینامیک سیالات محاسباتی

ب) بیان مسئله

وقوع پدیده کاویتاسیون در یک توربین فرانسیس و الگوهای مختلف این پدیده در این نوع از توربین ها موضوع مطالعه می باشد. پدیده کاویتاسیون در عملکرد یک توربین فرانسیس و بازده آن تاثیر بااهمیتی دارد. روش تحقیق در این پایان نامه به صورت عددی بوده و امکان وقوع پدیده کاویتاسیون و وقوع الگوهای متفاوت این پدیده که اشاره گردید در یک توربین فرانسیس تحت شرایط مختلف کارکرد توربین مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

ج) سئوالات تحقیق

1. تاثیر ارتفاع ریزش در وقوع پدیده کاویتاسون در یک توربین فرانسیس
2. تاثیر دبی توربین در امکان وقوع پدیده کاویتاسون
3. تاثیر دبی توربین در وقوع الگوهای مختلف پدیده کاویتاسیون
4. تاثیر پدیده کاویتاسیون در عملکرد و بازده توربین

د) فرضیات تحقیق

جریان سیال در یک توربین فرانسیس به صورت یک جریان تراکم ناپذیر، پایا و سه بعدی در نظر گرفته خواهد شد.

ه) بررسی منابع

کاویتاسیون پدیده ای نامطلوب در سیستم هیدرولیکی می باشد که در اکثر اوقات در قسمت مکش سیستم رخ می دهد . زمانی که کاویتاسیون رخ می دهد ، فشار در سیال به سطحی تا زیر فشار هوای آزاد کاهش می یابد و همین عامل باعث ایجاد حفره های توخالی در سیال می شود. زمانی که فشار افزایش می یابد ، این حفره های توخالی در پمپ باز می شود . ضمن باز شدن حفره ها ، فشار به فشار و دمای زیاد ، صدمات زیادی را به اجزاء هیدرولیکی وارد می کند. تخریبی که کاویتاسیون روی اجزای سیستم هیدرولیکی اعمال می کند به سوراخ شدگی کاویتاسیونی معروف است که شامل مواردی نظیر صدمه زدن به کارایی توربین مانند کاهش راندمان، ایجاد نوسانات هیدرولیکی و ارتعاشات شدید و کاهش عمر توربین ناشی از تعمیرات متعدد می شود.[1]

انواع کاویتاسیون در توربین های فرانسیس عبارت است از کاویتاسیون لبه حمله، حبابی، گردابی وون-کارمن، گردابی لوله تخلیه و کاویتاسیون گردابی بین تیغه ای. کاویتاسیون لبه حمله بیشتر در اجزای تیغه های رانر و به دلیل کار در هدی بیشتر از هد طراحی توربین و زمانی که زاویه بین جریان ورودی سرعت نسبی رانر بیش از مقدار مجاز منحرف می گردد اتفاق می افتد. این نوع کاویتاسیون از آنجا که باعث فرسایش شدید تیغه ها و افزایش نوسانات فشاری می شود بسیار خطرناک است. کاویتاسیون حبابی باعث ایجاد حباب های جداگانه ای می شود که در قسمت مکش روبروی تیغه رخ می دهد. در شرایطی که مقدار عدد کاویتاسیون کم است و توربین در شرایط بارگزاری بیش از حد یا جریان بیش از حد قرار می گیرد این حباب ها ظاهر می شوند که اگر در نزدیکی تیغه ها از بین بروند باعث فرسایش شدید آنها می شوند. کاویتاسیون گردابی وون-کارمن نیز ممکن است از انتهای تیغه اتفاق بیافتد، به لبه تیغه آسیب بزند و باعث ارتعاش و سروصدا شود. کاویتاسیون گردابی لوله تخلیه فقط در زیر مخروطی رانر و در مرکز لوله تخلیه رخ می دهد و در هر دو شرایط Over Load و Partial Load ممکن است اتفاق بیافتد. گردابی بین تیغه ای توسط جریان گردابه ای فرعی که در کانالهای بین تیغه ها قرار دارد ایجاد می شود. اگر در شرایط Partial Load ایجاد شود می تواند صدای بسیار زیادی تولید کند.[2]

در مطالعه Kamal, M.M. و همکاران سه مدل توربولانس $k\text{-}\varepsilon$، $k\text{-}\omega$ و SST را برای کمی سازی حساسیت مدل برای استخراج ویژگی های عملکرد توربین آبی فرانسیس در نظر گرفته شده است. سه شرایط عملیاتی مختلف مانند Part Load، BEP و Over Load برای ارزیابی عملکرد توربین انتخاب شده‌اند. مدل استاندارد $k\text{-}\varepsilon$ مقدار دقیق تری را از بازده هیدرولیکی در شرایط Part Load در مقایسه با سایر مدل های مورد مطالعه پیش بینی کرده است. برای سایر شرایط بارگذاری، مدل SST دقیق تر است. همچنین مدل SST حداکثر تغییرات سرعت را در رانر فرانسیس پیش‌بینی کرده است. علاوه بر این، مدل SST ماهیت واقعی جریان آب در خروجی رانر یعنی جریان آشفته را پیش‌بینی کرده است.[3]

در مطالعه Hidalgo, V. و همکاران توسعه یک روش برای شبیه سازی عددی میدان جریان حالت پایدار در توربین های فرانسیس با استفاده از نرم افزار منبع باز OpenFOAM با روش های AMI و MRF انجام شده است. یک شبکه ساختار یافته به دست آمده از مطالعات قبلی با برخی تغییرات برای حل وجود نقاط عدم تعادل در شبیه سازی استفاده شده است. شبیه سازی عددی با استفاده از الگوریتم SIMPLE همراه با دو مدل توربولانس مختلف انجام شده و تأیید شده است که نتایج به‌دست‌آمده، پدیده را با تقریب زیادی بازتولید کرده و بار خروجی را تنها با انحراف حدود 5.02 درصد در برابر داده‌های تجربی پیش‌بینی می‌کند.[4]

در مطالعه Tiwari, G. و همکاران اثرات پدیده کاویتاسیون در رژیم‌های عملیاتی مختلف یک توربین اولیه فرانسیس با ظرفیت 3 مگاوات تجزیه و تحلیل گردیده است. تجزیه و تحلیل میدان جریان دقیق برای بارهای جزئی 60٪ و 80٪، بار کامل و عملیات اضافه بار 120٪ با و بدون کاویتاسیون انجام می شود. مطالعه تطبیقی بین مدل های مختلف آشفته نیز به منظور انتخاب مناسب ترین و سازگارترین مدل با مدل کاویتاسیون بر اساس معادله ریلی-پلست انجام شده است. هم چنین مراحل مختلف کاویتاسیون پروفیل در رانر و توسعه کاویتاسیون در لوله کشش برای شرایط عملیاتی مختلف به طور کامل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. برآورد هد مکش و ضریب کاویتاسیون توربین یکی از اهداف اصلی کار است. یک مطالعه انتقادی از تغییرات پارامترهای جریان مختلف برای موارد با و بدون کاویتاسیون نیز یکی از نکات مهم مقاله است.[5]

مقاله Zhang, H. and L. Zhang تحلیل عددی جریان آشفته همراه با کاویتاسیون را در یک توربین فرانسیس با هد بالا در عملیات Part Load ارائه می‌کند. حوزه محاسباتی شامل محفظه حلزونی، پره های راهنما، رانر و لوله رانش است که با یک سیستم مش سه بعدی کامل از اشکال چهاروجهی بدون ساختار گسسته شده است. روش حجم محدود برای حل معادلات حاکم بر مدل استفاده شده است. تمایل جریان کاویتاسیون در لوله رانر و مکش به خوبی با نتایج تجربی توربین مطابقت دارد.[6]

در مقاله Yao, Z. و همکاران مطالعاتی برای بهبود عملکرد کاویتاسیون یک توربین فرانسیس بدون تغییر نقطه بهترین بازده، دونده انجام شده است. در مرحله اول، قطر خروجی رانر به طور مناسب افزایش یافت تا سرعت جریان در منطقه خروجی رانر کاهش یابد. سپس برای جلوگیری از تغییر سرعت جریان در بهترین نقطه کارایی، با کاهش زوایای خروجی پره، شکل تیغه‌ها با دقت تنظیم شد. تعداد زیادی از رانرهای اصلاح شده با روش دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) مورد آزمایش قرار گرفتند. در نهایت مناسب ترین مورد انتخاب شد که قطر خروجی رانر 10 درصد بزرگتر، زاویه خروجی پره 3 درجه کوچکتر است. نتایج نشان داده اند که ضریب کاویتاسیون بحرانی رانر مدل در هر واحد سرعت چرخشی پس از بهینه‌سازی کاهش می‌یابد و این اثر در دبی نسبی بالا بسیار قابل‌توجه بود. علاوه بر این، با تجزیه و تحلیل میدان جریان داخلی، مشخص شده است که ناحیه فشار کم بر روی سطح فشار پره‌های توربین بهینه‌سازی شده کاهش یافته، جریان برگشتی و در لوله رانش کاهش یافته و ناحیه کاویتاسیون به وضوح کاهش یافته است.[7]

در مطالعه Wack, J. and S. Riedelbauch ، وقوع گردابه‌های بین پره‌ای کاویتاسیونی در شرایط Deep Part Load در یک توربین فرانسیس با استفاده از شبیه‌سازی جریان دو فازی بررسی شده است. شبیه‌سازی‌های عددی به مراحل زمانی کوچک و مش‌های ریز برای بازتولید ویژگی‌های جریان مورد نیاز و حل حداقل فشار در هسته گردابه نیاز دارند. علاوه بر این، بهبود شرایط مرزی خروجی مهم است، زیرا این نقطه عملیاتی با جریان برگشت شدید در یک کانال دیفیوزور در لوله رانش مواجه است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که گردابه‌های بین تیغه‌ای قابل بازتولید هستند.[8]

در مقاله Wu, Y برای مطالعه جریان کاویتاسیون در توربین‌های فرانسیس از شبیه‌سازی عددی و آزمون مدل استفاده شده است. مدل آشفتگی SST k- ω و مدل مخلوط برای شبیه‌سازی جریان کاویتاسیون در توربین فرانسیس استفاده شده است. یک ضریب کاویتاسیون بحرانی برابر محاسبه شده و جریان در توربین فرانسیس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج شبیه سازی تطابق منطقی با داده های تجربی را نشان می دهد. تایید می شود که این مدل کاویتاسیون و روش عددی روشی مفید برای مطالعه جریان کاویتاسیون دو فاز در توربین های فرانسیس است. در ضریب کاویتاسیون بحرانی برابر، اتلاف انرژی در توربین ممکن است به دلیل چرخش طناب گردابی در لوله رانش یا جداسازی جریان در رانر ایجاد شود. مطالعه خط ضریب کاویتاسیون بحرانی برابر می تواند یک راهنمایی اساسی برای عملکرد صنعت ارائه دهد.[9]

و) مواد و روش ها (روش تحقیق)

این مطالعه به صورت عددی انجام خواهد شد و از یک نرم افزار معتبر دینامیک سیالات محاسباتی که یک نرم افزار منبع باز است استفاده خواهد گردید.

ز) نتایج مورد انتظار

انتظار می رود نتایج حاصل از این تحقیق محققان و مهندسان را در زمینه طراحی و بهره برداری از توربین های فرانسیس در اجتناب هرچه بیشتر از وقوع پدیده کاویتاسیون در این نوع از توربین ها یاری نماید.

ح) معیار ارزیابی موفقیت تحقیق

مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق عددی با نتایج حاصل از تحقیقات تجربی و عددی معتبر منتشر شده می تواند معیار و محک خوبی برای ارزیابی موفقیت این تحقیق باشد.

ی) منابع و ماخذ:

1. نوربخش، سید احمد؛ 1393، پمپ و پمپاژ، انتشارات دانشگاه تهران، تهران

2. یاوری، پوریا؛ زندیه، مرتضی؛ بررسی پدیده کاویتاسیون در توربین های آبی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

3. Kamal, M.M., et al., *A numerical study on the performance characteristics of low head Francis turbine with different turbulence models.* Materials Today: Proceedings, 2022. 49: p. 349-353.
4. Hidalgo, V., et al., *Rotatory 3D structured mesh study using openFOAM to simulate the flow in francis turbine.* Materials Today: Proceedings, 2022. 49: p. 142-148.
5. Tiwari, G., et al., *Derivation of cavitation characteristics of a 3MW prototype Francis turbine through numerical hydrodynamic analysis.* Materials Today: Proceedings, 2020. 26: p. 1439-1448.
6. Zhang, H. and L. Zhang, *Numerical simulation of cavitating turbulent flow in a high head Francis turbine at part load operation with OpenFOAM.* Procedia Engineering, 2012. 31: p. 156-165.
7. Yao, Z., et al. *Numerical investigation of cavitation improvement for a francis turbine*. in *Journal of Physics: Conference Series*. 2015. IOP Publishing.
8. Wack, J. and S. Riedelbauch. *Numerical simulations of the cavitation phenomena in a Francis turbine at deep part load conditions*. in *Journal of Physics: Conference Series*. 2015. IOP Publishing.
9. Wu, Y., et al., *Numerical analysis of flow in a Francis turbine on an equal critical cavitation coefficient line.* Journal of Mechanical Science and Technology, 2013. 27(6): p. 1635-1641

ک)واژه نامه:

ردیف	معادل فارسی	لاتین
1	کاویتاسیون	Cavitation
2	توربین فرانسیس	Francis Turbine
3	توربوماشین	Turbomachinery
4	نرم افزار OpenFoam	OpenFoam Software
5	دینامیک سیالات محاسباتی	Computational Fluid Dynamics
6	محفظه حلزونی	Spiral Casing
7	پره های رانر	Runner Blades