

اسم الحکم



موسسه آموزش عالی انرژی

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

مهندسی سیستم های انرژی - تکنولوژی انرژی

عنوان :

امکان سنجی استفاده از توربین هیدروکویل به عنوان
نیروگاههای برق آبی میکرو و شیر فشارشکن بر روی
خطوط انتقال آب و شبکه توزیع آب شهری شهر تهران

استاد راهنما:

دکتر یوسف یاسی

پژوهشگر:

سید فریبرز میرفلاح لیالستانی

زمستان ۱۳۹۷

تاریخ صورتجلسه گروه آموزشی	
شماره دانشجویی	
کد دفاع	
تاریخ صورتجلسه شورای پژوهشی	



این فرم باید توسط دانشجو تایید شده به تعداد خواسته شده، در روز دفاع تحویل داده شود.

صورتجلسه دفاع

با تأییدات خداوند متعال جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای			
در رشته:	تحت عنوان:		
با حضور استاد راهنما، استاد(ان) مشاور و هیأت داوران در مؤسسه آموزش عالی لرزی ساوه در تاریخ			
در این جلسه، پایان نامه: <input type="checkbox"/> با موفقیت مورد دفاع قرار گرفت <input type="checkbox"/> نیازمند اصلاحات است <input type="checkbox"/> مردود اعلام گردید.			
نامبرده نمره	با امتیاز	(بدون احتساب نمره مقاله)	دریافت نمود.

نام و نام خانوادگی استاد راهنما	محل امضاء
نام و نام خانوادگی استاد مشاور	محل امضاء
هیأت داوران:	
۱-	محل امضاء ۱
۲-	محل امضاء ۲
مدیر گروه یا رئیس تحصیلات تکمیلی واحد:	معاون پژوهشی و فناوری مؤسسه آموزش عالی لرزی ساوه
نام و نام خانوادگی	محل امضاء

***** (اطلاعات این قسمت حتماً توسط کارشناس پژوهشی تکمیل گردد) *****

نمره حاصل از ارزشیابی مقاله/ مقالات دانشجو برابر ضریب (از سقف ۲ نمره) محاسبه و نمره نهایی پایان نامه (مجموع نمره دفاع و مقاله) به عدد
 به حروف یا درجه به تصویب رسید / موارد اصلاحیه جهت اجرا به اطلاع دانشجو رسید
 تأیید کارشناس حوزه پژوهشی
 تأیید معاون پژوهشی و فناوری مؤسسه آموزش عالی لرزی ساوه

توجه: این فرم بهمن امضای مسئولین پذیرفته و مهر دانشگاه فاقد اعتبار است.



معاونت پژوهش و فناوری

به نام خدا

مشور اخلاق و پژوهش

بایاری از خداوند بجان و اعتماد به این که عالم محضر خداست و بهواره ناظر بر اعمال انسان و به منظور پاس داشت مقام بلند دانش و پژوهش و نظر به اهمیت جایگاه دانشگاه در اعتلای فرهنگ و تمدن بشری، مادنشجویان و اعضاء هیات علمی واحدهای دانشگاه آزاد اسلامی متعهد می گردیم اصول زیر را در انجام فعالیت های پژوهش مد نظر قرار داده و از آن تخطی نکنیم:

- ۱- اصل تحقیق جویی: تلاش در راستای پی جویی حقیقت و وفاداری به آن و دوری از هرگونه پنهان سازی حقیقت.
- ۲- اصل رعایت حقوق: التزام به رعایت کامل حقوق پژوهشگران و پژوهیگان (انسان، حیوان و نبات) و سایر صاحبان حق.
- ۳- اصل مالکیت مادی و معنوی: تعهد به رعایت کامل حقوق مادی و معنوی دانشگاه و کلیه بهکاران پژوهش.
- ۴- اصل منافع ملی: تعهد به رعایت مصالح ملی و در نظر داشتن پیشبرد و توسعه کشور در کلیه مراحل پژوهش.
- ۵- اصل رعایت انصاف و امانت: تعهد به اجتناب از هرگونه جانب داری غیر علمی و حفاظت از اموال، تجهیزات و منابع در اختیار.
- ۶- اصل رازداری: تعهد به صیانت از اسرار و اطلاعات محرمانه افراد، سازمان ها و کشور و کلیه افراد و نهادهای مرتبط با تحقیق.
- ۷- اصل احترام: تعهد به رعایت حریم ها و حرمت ها در انجام تحقیقات و رعایت جانب نقد و خودداری از هرگونه حرمت شکنی.
- ۸- اصل ترویج: تعهد به رواج دانش و اشاعه نتایج تحقیقات و امتثال آن به بهکاران علمی و دانشجویان به غیر از مواردی که منع قانونی دارد.
- ۹- اصل برانست: التزام به برانست جویی از هرگونه رفتار غیر حرفه ای و اعلام موضع نسبت به کسانی که حوزه علم و پژوهش را به شائبه های غیر علمی می آلاینند.



حوزه معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی

موسسه آموزش عالی انرژی

تعهدنامه اصالت پایان نامه

اینجانب دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته در رشته که در تاریخ از پایان نامه خود با عنوان

با کسب نمره و درجه دفاع نموده ام بدین وسیله اعتراف می کنم:

(۱) این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و ...) استفاده کرده ام، مطابق ضوابط موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست منابع ذکر و درج نموده ام.

(۲) این پایان نامه قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح، پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاه ها و مؤسسات آموزش عالی داخلی و خارجی ارائه نشده است.

ضمناً متعهد می شوم:

(۳) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هر گونه بهره برداری اعم از چاپ مقاله، کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان نامه را داشته باشم، از استاد محترم راهنما و گروه آموزشی مربوطه مجوزهای لازم را اخذ نمایم.

(۴) چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و موسسه آموزش عالی انرژی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام، هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی:

تاریخ و امضاء:

تقديم به:

پدر و مادر گرامی که در تمام مراحل زندگی حامی من بوده اند.

تشکر و قدردانی:

حمد و سپاس خدای را که توفیق کسب دانش و معرفت را به ما عطا فرمود. در اینجا برخود لازم می دانم از تمامی اساتید بزرگوار ، به ویژه اساتید دوره کارشناسی ارشد که در طول سالیان گذشته مرا در تحصیل علم و معرفت و فضائل اخلاقی یاری نموده اند تقدیر و تشکر می نمایم .

از استاد گرامی و بزرگوار جناب آقای دکتر یوسف یاسی که راهنمایی اینجانب را در انجام تحقیق ، پژوهش و نگارش این پایان نامه تقبل نموده اند تقدیر و تشکر و سپاسگزاری را دارم.

چکیده

امکان سنجی استفاده از توربین هیدروکوئل به عنوان نیروگاههای برق آبی میکرو و شیر

فشارشکن بر روی خطوط انتقال آب و شبکه توزیع آب شهری شهر تهران

مقدمه: هم زمان با بحران انرژی آینده در جهان، در کشورمان نیز مدیریت انرژی اهمیتی دو چندان یافته است. یکی از راه های برون رفت از بحران انرژی تولید انرژی برق پراکنده از منابع تجدیدپذیر است. میکرو نیروگاه های آبی یکی از راهکارهای تجدیدپذیر پراکنده در کشورمان هستند که با توجه به گستردگی محدوده پتانسیل های آبی از نظر هد در دسترس و دبی آب، نیازمند برنامه ریزی در جهت استحصال برق از این انرژی های لایزال است.

مواد و روش ها: مناطق شیب دار، مانند شهر تهران که دارای خطوط انتقال آب بسیار قوی نیز هستند، از جمله پتانسیل های قوی برای نصب میکرو توربین های آبی هستند. وجود اختلاف ارتفاع بین مخازن و شیب خطوط لوله، هد فشاری قوی را برای تولید برق فراهم آورده است. مسئله اصلی، هزینه های بالای ایجاد یک میکرو نیروگاه آبی با استفاده از توربین های آبی میکرو از جمله توربین پلتنون می باشد. یکی از راهکارهای کاهش هزینه تمام شده هر کیلووات میکرو نیروگاه آبی، استفاده از توربین هیدروکوئل است.

نتایج: با توجه به تحقیق در بررسی های انجام شده و شرایط خطوط انتقال آب در شهر تهران که به دلیل اختلاف سطح با افزایش فشار روبرو می شویم، به این نتیجه رسیدیم که با استفاده از توربین های هیدروکوئل می توان تولید انرژی الکتریسیته نمود و هم می توان از این توربین ها به عنوان شیر فشار شکن استفاده کرد. پس با طراحی مدلی از این نمونه در نرم افزار انسیس مودال و تحلیل آن با توجه به داده های مستند اعم از فشار استاندارد خطوط لوله بین شهری که بین ۴ تا ۲ بار است و شرایط مرزی که خودمان با توجه به استاندارد های توربین ها بدست آوردیم، نتایج تحلیل را در قالب کانتور، وکتور و نمودار های فشار، سرعت، سینتیک انرژی توربلانسی، ضرایب درگ و لیفت و در نهایت توان خروجی و امکان سنجی را ارائه کردیم.

کلید واژه: توربین هیدرو کوئل، نیروگاه برق آبی میکرو، میکرو توربین، خطوط انتقال آب شهری

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول : کلیات تحقیق	۱
مقدمه	۲
۱-۱- تاریخچه	۳
۲-۱- سد	۷
۳-۱- مزایا	۸
۱-۳-۱- ملاحظات اقتصادی	۸
۲-۳-۱- انتشار گازهای گلخانه‌ای	۸
۳-۳-۱- فعالیت‌های وابسته	۸
۴-۱- معایب	۹
۱-۴-۱- آسیب به محیط زیست	۹
۲-۴-۱- انتشار گازهای گلخانه‌ای	۱۰
۳-۴-۱- جابجایی جمعیت	۱۰
۴-۴-۱- شکست سد	۱۱
۵-۱- مقایسه‌ای با دیگر روش‌های تولید انرژی الکتریکی	۱۱
۶-۱- توضیح مسئله	۱۲
۷-۱- فرضیات	۱۳
۸-۱- اهداف	۱۳
۹-۱- روش پژوهش و مراحل انجام پایان‌نامه	۱۴
فصل دوم: مبانی نظری و پیشینه تحقیق	۱۶

۱۷	۱-۲- پیشینه تحقیقات
۱۹	۲-۲- مفاهیم اولیه
۱۹	۱-۲-۲- توربین
۲۰	۲-۲- پمپ
۲۱	۳-۲- هیدرولیک
۲۱	۴-۲- انرژی هیدرو الکتریک
۲۲	۵-۲- معادلات ناویر-استوکس
۲۲	۶-۲- جریان استوکس
۲۳	۷-۲- توربین هیدروکویل
۲۷	۸-۲- فشار
۲۷	۹-۲- جریان تراکم ناپذیر
۲۸	۱۰-۲- لایه مرزی
۲۸	۱۱-۲- جریان آشفته
۳۰	۱۲-۲- جریان آرام
۳۰	۱۳-۲- هد پمپ
۳۲	فصل سوم : روش تحقیق
۳۳	۱-۳- بیان مسئله
۳۴	۲-۳- روش انجام پژوهش
۳۵	۳-۳- معادلات حاکم
۳۵	۱-۳-۳- معادله پیوستگی
۳۶	۲-۳-۳- معادله مومنتوم

۳۸	..... ۳-۳-۳- جریان های تراکم پذیر
۳۹	..... ۴-۳-۳- جریان آرام
۴۰	..... ۵-۳-۳- جریان سیال در لوله
۴۲	..... ۴-۳- معرفی نرم افزار حلگر
۴۲	..... ۱-۴-۳- دینامیک سیالات محاسباتی
۴۴	..... ۲-۴-۳- نمای کلی حل مسائل به وسیله CFD
۴۵	..... ۳-۴-۳- تعیین اهداف مدل سازی با CFD
۴۵	..... ۴-۴-۳- مدل viscous-laminar
۴۶	..... ۵-۴-۳- مدل Rnormalized group (k - εRNG)
۴۶	..... ۶-۴-۳- شرایط مرزی
۴۸	..... ۷-۴-۳- حلگرهای انسیس فلوئنت
۴۹	..... ۸-۴-۳- روش های دورن یابی
۵۱	..... ۹-۴-۳- گرادیان ها
۵۱	..... ۵-۳- معرفی مدل
۵۳	..... ۶-۳- امکان سنجی
۵۳	..... ۱-۶-۳- امکان سنجی فیزیکی
۵۶	..... ۲-۶-۳- میزان تولید توان
۶۲	..... فصل چهارم : نتایج و بحث
۶۳	..... ۱-۴- طراحی و تحلیل
۶۴	..... ۲-۴- حل مسئله
۶۷	..... ۳-۴- توضیحات نتایج

٦٨	..... ١-٣-٤- تحلیل کانتور فشار
٧٠	..... ٢-٣-٤- تحلیل کانتور سرعت
٧١	..... ٣-٣-٤- تحلیل ضریب درگ
٧٣	..... ٤-٣-٤- تحلیل ضریب لیفت
٧٥	..... ٥-٣-٤- تحلیل وکتور سرعت
٧٧	..... ٦-٣-٤- تحلیل کانتور سیستیک انرژی توربلانسی
٧٨	..... ٧-٣-٤- تحلیل نمودار توان
٧٩	..... ٨-٣-٤- نتایج امکان سنجی
٩٠	..... فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات
٩١	..... ١-٥- نتیجه گیری
٩٤	..... ٢-٥- پیشنهادات
٩٥	..... مراجع

فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱ نمونه سد (۱۸).....	۶
شکل ۱-۲ سد (۵).....	۷
شکل ۱-۲ نمونه یک توربین (۱۶).....	۱۹
شکل ۲-۲ تصویری از توربین اسکروی ارشمیدوس (۲۶).....	۲۴
شکل ۳-۲ توربین هیدروکوئل (۶).....	۲۶
شکل ۲-۴ جریان آشفته (۲۲).....	۲۸
شکل ۱-۳ دیاگرام جریان منطقه ۱ تهران در سال ۹۳ - (۳۴).....	۳۴
شکل ۲-۳ پروفیل جریان در لوله.....	۴۰
شکل ۳-۳ مدل توربین در نرم افزار انسیس.....	۵۲
شکل ۳-۴ مدل مش بندی شده.....	۵۲
شکل ۳-۵ نصب لوله حاوی هیدروکوئل (۳۱).....	۵۴
شکل ۳-۶ اتصال توربین به ژنراتور توسط تسمه (۳۱).....	۵۵
شکل ۳-۷ اتصال توربین به ژنراتور توسط شفت (۳۱).....	۵۵
شکل ۴-۱ مدل طراحی شده با مقیاس نمای شپ.....	۶۴
شکل ۴-۲ مدل شبکه بندی شده.....	۶۴
شکل ۴-۳ تنظیمات اولیه راه انداز نرم افزار.....	۶۵

- شکل ۴-۴ تنظیم مدل حل ۶۶
- شکل ۴-۵ نمودار پردازش مدل تا از اولین حل تا کامل شدن حل ۶۷
- شکل ۴-۶ کانتور فشار کل با فشار ورودی ۴ بار ۶۸
- شکل ۴-۷ کانتور فشار کل با فشار ورودی ۳ بار ۶۹
- شکل ۴-۸ کانتور اندازه سرعت با فشار ورودی ۴ بار ۷۰
- شکل ۴-۹ کانتور اندازه سرعت در فشار ورودی ۳ بار ۷۰
- شکل ۴-۱۰ نمودار ضریب درگ با فشار ورودی ۴ بار ۷۱
- شکل ۴-۱۱ نمودار ضریب درگ با فشار ورودی ۳ بار ۷۲
- شکل ۴-۱۲ نمودار ضریب لیفت با فشار ورودی ۴ بار ۷۳
- شکل ۴-۱۳ نمودار ضریب لیفت با فشار ورودی ۳ بار ۷۴
- شکل ۴-۱۴ وکتور اندازه سرعت با فشار ورودی ۴ بار ۷۵
- شکل ۴-۱۵ وکتور اندازه سرعت با فشار ورودی ۳ بار ۷۶
- شکل ۴-۱۶ کانتور اندازه سرعت با فشار ورودی ۳ بار ۷۷
- شکل ۴-۱۷ نمودار توان بر حسب فشار با فشار ورودی نهایی ۴ بار ۷۸
- شکل ۴-۱۸ نمودار توان بر حسب فشار با فشار ورودی نهایی ۳ بار ۷۹
- شکل ۴-۱۹ ورود روابط و نحوه به دست آوردن خصوصیات ترمودینامیکی آب در محیط نرم افزار
- EES ۸۱

شکل ۴-۲۰ نمونه از نتایج به دست آمده برای ویژگی های ترمودینامیکی جریان آب در محیط نرم

افزار EES..... ۸۲

شکل ۴-۲۱ نتایج به دست آمده برای دبی جریان توسط دو رابطه، یکی بر اساس مقادیر فشار در

ورودی و دیگری بر اساس مقادیر فشار در خروجی توربین هیدروکوئیل ۸۴

شکل ۴-۲۲ نتایج به دست آمده میزان ظرفیت تولید توان توسط توربین های هیدروکوئیل برای نقاط

مختلف شبکه توزیع آب منطقه ۱ تهران..... ۸۵

شکل ۴-۲۳ مقایسه توان تولیدی با اختلاف فشار بین دو سر توربین هیدروکوئیل ۸۸

شکل ۴-۲۴ مقایسه همزمان توان تولیدی با فشار ورودی و اختلاف فشار بین دو سر توربین

هیدروکوئیل ۸۹

شکل ۵-۱ برشی از داخل توربین ۹۲

شکل ۵-۲ کاتور سرعت در جهت Z..... ۹۳

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۳ بخشی از داده های ارائه شده توسط شرکت آب وفاضلاب تهران برای شیرهای فشار شکن قرار گرفته در لوله های توزیع آب با قطر ۲۰۰ میلیمتر (۳۳).....	۵۸
جدول ۱-۴ داده های ارائه شده توسط شرکت آب وفاضلاب منطقه ۱ تهران برای شیرهای فشار شکن قرار گرفته در لوله های توزیع آب با قطر ۲۰۰ میلیمتر	۸۰
جدول ۲-۴ نتایج به دست آمده از نرم افزار EES برای ویژگی های ترمودینامیکی جریان آب در نقاط مختلف شبکه توزیع آب منطقه ۱ تهران	۸۲
جدول ۳-۴ نتایج به دست آمده از نرم افزار EES برای ویژگی های ترمودینامیکی جریان آب ۸۳	۸۳
در نقاط مختلف شبکه توزیع آب منطقه ۱ تهران (ادامه).....	۸۳
جدول ۴-۴ نتایج به دست آمده میزان ظرفیت تولید توان توسط توربین های هیدروکویل برای نقاط مختلف شهر تهران	۸۶

فصل اول :

کلیات تحقیق

مقدمه

نیروهای گرانشی مابین ماه و خورشید و زمین سبب بالا و پایین رفتن منظم آب اقیانوس‌ها در سراسر جهان گردیده که نتیجه آن امواج جزر و مدی می‌باشد. ماه نیرویی بیش از دو برابر نیرویی که خورشید بر امواج جزر و مد وارد می‌نماید اعمال می‌کند در نتیجه جزر و مد به وضوح تابعی است از گردش ماه به دور زمین ایجاد موج در روز و سیکل جزر در سطح هر جزئی از اقیانوس وجود دارد با وجود کم بودن دامنه ارتفاع موج جزر و مد در اقیانوس‌های آزاد به علت آشفتگی بالا دارای جابه جایی نسبتاً قابل توجهی می‌باشند. (۱)

پیش از در دسترس بودن توان الکتریکی تجاری انرژی آبی بیشتر برای آبیاری و بکار انداختن دستگاه‌های مختلف مانند آسیاب‌ها دستگاه‌های پارچه دستگاه‌های اره‌کشی گتتری کرین‌های اسکله و آسانسورهای خانگی مورد استفاده قرار می‌گرفت. دیگر کاربری این انرژی در دستگاه ترومپ برای فشرده کردن هوا با استفاده از ریختن آب است، که با این کار می‌شود انرژی آب را به مسافت‌های دورتر برای استفاده در دستگاه‌های دیگر انتقال داد. (۲)

در گذشته برای خرد کردن گندم و ذرت در آسیاب‌ها از آب جاری برای چرخاندن چرخ‌های چوبی آسیاب استفاده می‌کردند این نوع آسیاب را آسیاب آبی یا آسیاب غلات می‌گفتند. در سال ۱۰۸۶ کتاب چند جلدی Domesday نوشته شد در این کتاب فهرست کلیه املاک خانه‌ها فروشگاه‌ها و سایر موارد در انگلستان ارائه شده‌است. در این کتاب فهرست ۵۶۲۴ آسیاب آبی واقع در جنوب رودخانه ترنت (Trent) در انگلستان درج شده‌است. به عبارت دیگر به ازای هر ۴۰۰ نفر یک آسیاب وجود داشت. (۳)

گردش چرخ‌های آسیاب آبی یا از طریق آب‌های ریزشی (ریزش آب از بالا بر روی چرخ) یا آب‌های جاری (رودخانه) صورت می‌گیرد. امروزه از آب جاری نیز می‌توان برای تولید برق استفاده نمود. هیدرو به معنی آب است. بدین ترتیب هیدروالکتریک یعنی تولید برق از طریق

انرژی آب با استفاده از انرژی جنبشی آب جاری جهت تولید برق را نیروی هیدروالکتریک گویند. با ایجاد سد می توان جریان رودخانه را متوقف نمود. با ایجاد سد مخزنی از آب تشکیل می شود. اما سدهای حادثی بر روی رودخانه های بزرگتر باعث تشکیل مخزن نمی شود. جهت تولید برق در یک نیروگاه هیدروالکتریک آب رودخانه به داخل آن هدایت می شود. (۳)

نیروگاه های آبی بزرگترین تولیدکنندگان برق آبی میکرو در ایالات متحده هستند این نیروگاه ها ۱۰ درصد از کل برق مصرفی این کشور را تأمین می کنند. ساخت نیروگاه هایی از این نوع در ایالت هایی که دارای کوهستان های مرتفع و رودخانه های زیادی هستند ، می تواند منجر به افزایش تولید برق شود. به عنوان مثال در حدود ۱۵ درصد از کل برق تولیدی ایالت کالیفرنیا از نیروگاه های هیدروالکتریک تأمین می شود. اما بیشترین تولید برق آبی مربوط به ایالت واشینگتن است. ۳ سد از ۶ سد اصلی که بر روی رودخانه کلمبیا احداث شده اند عبارتند از گراند کولی (Grand coulee) چیف جوزف (Chief joseph) و جان دی (John Day) حدود ۸۷ درصد از کل برق تولیدی ایالت واشینگتن از نیروگاه های هیدروالکتریک تأمین می شود. مقداری از برق تولیدی این نیروگاه ها به ایالت های دیگر نیز ارسال می شود. (۴)

۱-۱- تاریخچه

بشر از دیر باز برای گذران زندگی بسهولت در پی این بوده تا با تبدیل انرژی ها و آسایش زندگی خویش را بالا برده و یکی از این انرژی ها که تقریباً میتوان گفت در دسترس ترین انرژی بوده و از دوران باستان تا به امروز با استفاده از انرژی حرکت آن زندگی بشر در مسیر رشد بوده ، انرژی آب است. زیرا این انرژی هم در دسترس بوده و هست و هم تبدیل آن هم نسبتاً کم هزینه تر است. در قرون وسطی و تا قرن ۱۹ این انرژی اصلی ترین منبع تولید توان برای آسیاب های گندم بوده است. در قرن ۱۹، چرخ های آبی جای خود را به موتورهای بخار دادند. اما توان آب امروزه هنوز نقش مهمی در تولید الکتریسیته در اکثر کشورها ایفا می کند. (۵)

انسانها سال‌ها پیش از میلاد مسیح نیز از جزر و مد و جریانات موج آب بهره می‌گرفتند. برای مثال از نوسانات دوره‌ای موج به خوبی آگاه بودند و می‌دانستند چه زمانی و کجا با جریانات آبی قوی مواجه خواهند شد. تأسیسات و بناهای کوچک هیدرودینامیکی متعددی نظیر سیستم‌های پمپاژ آب و آسیاب‌های بادی از قرون وسطی در سرتاسر جهان به جا مانده‌است. برخی از این ابزار و وسایل هنوز و در دوران اخیر نیز استفاده می‌شدند. برای مثال چرخ آبی بزرگ برای پمپاژ آب در هامبورگ آلمان تا قرن نوزدهم همچنان مورد استفاده بود .

(۵)

شهر لندن از چرخ آبی بزرگی استفاده می‌کرد که در سال ۱۵۸۰ میلادی بر روی پل لندن تعبیه شده بود و بمدت ۲۵۰ سال آب سالم برای شهر فراهم می‌نمود. لیکن با پیشرفت صنعتی بشر و جامعه، برق‌رسانی و الکتریکی کردن تمام جنبه‌های تمدن مدرن به توسعه مبدل‌های گوناگون جهت انتقال منابع انرژی پتانسیل به انرژی الکتریکی منجر شد. در این راستا مطالعات جدی به منظور طراحی نیروگاه‌های موجی در مقیاس صنعتی برای استفاده و بهره‌گیری از انرژی موج در قرن بیستم با رشد سریع دانش الکتریک در صنعت آغاز گردید (۲)

می‌توان به طور خلاصه تاریخچه انرژی آبی را این گونه بیان کرد:

۲۰۰۰ سال پیش: استفاده یونانی‌ها از چرخ‌های آبی به منظور تبدیل گندم به آرد

سال‌های ۱۸۰۰: دانشمندان انگلیسی، ویلیام نیکلسون و آنتونی کارلیسل، دریافتند که با اعمال جریان برق به آب، هیدروژن و اکسیژن تولید می‌شود که این کار بعدها به عنوان الکترولیز شناخته شد.

سال ۱۸۸۱: اولین نیروگاه آبی در آمریکا شروع به کار کرد. (۲)

امروزه: حدود ۲۰٪ از الکتریسیته دنیا از طریق توان آبی تولید می‌شود و حدود ۱۵۰ کشور پتانسیل استفاده از آن را دارا می‌باشند. (۲)

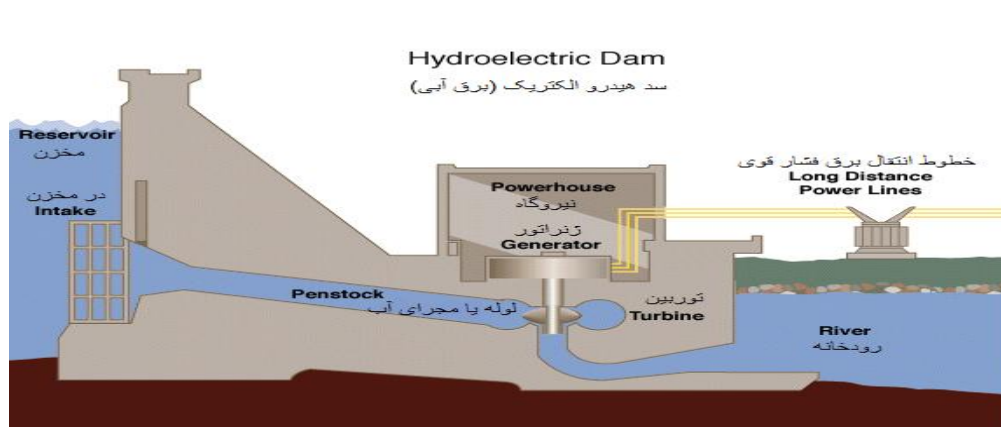
تقریباً میشود گفت جهش بزرگ استفاده از انرژی آب از اواسط سالهای ۱۷۰۰ زمانی که مهندس آب و نظامی فرانسوی برنارد فورست دیبلیدر کتاب معماری هیدرولیک را نوشت شروع شد. در سال ۱۸۸۰، برای یک تئاتر و نمایشگاه در Grand Rapids، میشیگان، ازیک

دینام که توسط یک توربین آب رانده شد، برای نورپردازی قوس مورد استفاده قرار گرفت (یک تکنیک که جرقه الکتریکی در هوا بین دو هدایت کننده نور را تولید می کند) و در سال ۱۸۸۱، یک دینام را برای آرد کردن گندم در نیویورک مورد استفاده قرار گرفت که این نیز از همان تکنیک قوس استفاده کرد. پیشرفت جریان متناوب، روشی که امروزه استفاده می شود، امکان انتقال برق از راه دور را فراهم کرد و در نخستین کارخانه برق ایالات متحده در یک نیروگاه برق آبی متناوب در نیروگاه رد لندس در کالیفرنیا در سال ۱۸۹۳ امکان پذیر کرد. سپس نیروگاه ردلندس با استفاده از چرخ آب پلتون توسط آب گرفته شده از خلیج میل در نزدیکی خلیج با یک ژنراتور در سه فاز سازگار به بهره برداری رسید. (۴)

بیشتر نیروگاه‌های برق-آبی انرژی مورد نیاز خود را از انرژی پتانسیل آب پشت یک سد تامین می‌کنند. در این حالت انرژی تولیدی از آب به حجم آب پشت سد و اختلاف ارتفاع بین منبع و محل خروج آب سد وابسته است. به این اختلاف ارتفاع، ارتفاع فشاری می‌گویند و آن را با H مخفف (Head) نمایش می‌دهند. در واقع میزان انرژی پتانسیل آب با ارتفاع فشاری آن متناسب است. برای افزایش فاصله یا ارتفاع فشاری، آب معمولاً برای رسیدن به توربین آبی فاصله زیادی را در یک لوله بزرگ طی می‌کند. (۱۸)

برخی نیروگاه‌های آبی که تعداد آنها زیاد هم نیست از انرژی جنبشی آب جاری استفاده می‌کنند. در این دسته از نیروگاه‌ها نیازی به احداث سد نیست. توربین این نیروگاه‌ها شبیه یک چرخ آبی عمل می‌کند. این نوع استفاده از انرژی شاخه نسبتاً جدیدی از علم جنبش مایعات است. (۱۸)

در واقع میزان انرژی پتانسیل آب با ارتفاع فشاری آن متناسب است. برای افزایش فاصله یا ارتفاع فشاری، آب معمولاً برای رسیدن به توربین آبی فاصله زیادی را در یک لوله بزرگ (penstock) طی می‌کند. (۱۸)



شکل ۱- نمونه سد (۱۸)

نیروگاه آب تلمبه‌ای، نوعی دیگر از نیروگاه آبی است. وظیفه یک نیروگاه آب تلمبه‌ای پشتیبانی شبکه الکتریکی در ساعات اوج مصرف (ساعات پیک) است. این نیروگاه تنها آب را در ساعات مختلف بین دو سطح جابجا می‌کند. در ساعاتی که تقاضا برای انرژی الکتریکی پایین است با پمپ کردن آب به یک منبع مرتفع انرژی الکتریکی را به انرژی پتانسیل گرانشی تبدیل می‌کند. در زمان اوج مصرف، آب دوباره از مخزن به سمت پایین جاری می‌شود و با چرخاندن توربین آبی موجب تولید برق و رفع نیاز شبکه می‌شود. این نیروگاه‌ها با ایجاد تعادل در ساعات مختلف موجب بهبود ضریب بار شبکه و کاهش هزینه‌های تولید انرژی الکتریکی می‌شوند. (۱۸)

از دیگر انواع نیروگاه‌های آبی می‌توان به نیروگاه‌های جزر و مدی اشاره کرد. همان‌طور، که از نام این نیروگاه‌های مشخص است این نیروگاه‌ها نیروی مورد نیاز خود را از اختلاف ارتفاع آب در بین شبانه روز تأمین می‌کنند. منابع در این دسته از نیروگاه‌ها نسبت به بقیه کاملاً قابل پیش‌بینی هستند. این نیروگاه‌ها همچنین می‌توانند در مواقع اوج مصرف به عنوان پشتیبان شبکه عمل کنند. (۱۹)

برخی نیروگاه‌های آبی که تعداد آن‌ها زیاد هم نیست از انرژی جنبشی آب جاری استفاده می‌کنند. در این دسته از نیروگاه‌ها نیازی به احداث سد نیست توربین این نیروگاه‌ها شبیه یک چرخ آبی عمل می‌کند. این نوع استفاده از انرژی شاخه نسبتاً جدیدی از علم جنبش مایعات است. (۱۹)

۱-۲-سد

سد دیواری محکم از سنگ و سیمان یا ساروج است که به منظور مهار کردن آب در عرض دره یا میان دو کوه ایجاد می‌شود. برعکس خاکریزها که برای جلوگیری از ورود آب رودخانه یا دریا به مناطق اطراف ساخته می‌شوند در سدها هدف از مهار کردن آب استفاده از آن است.



شکل ۱-۲ سد (۵)

- سدها از نظر مشخصه‌های مختلف طبقه‌بندی می‌شوند این مشخصه‌ها معمولاً شامل :
- طول سد: از نظر طول سدهای با طول بیش از ۱۵ متر را سدهای بزرگ و سدهای با طول بیش از ۱۵۰ متر را سدهای بسیار بزرگ می‌نامند.
 - هدف از احداث سد: اهداف ساخت یک سد می‌توانند متفاوت باشند به طوری که بسیاری از سدها بیشتر از یک هدف را دنبال می‌کنند این اهداف می‌توانند شامل آبیاری یا تأمین آب مناطق شهری یا زمین‌های کشاورزی، تولید انرژی الکتریکی، ایجاد فضای تفریحی، کنترل سیل و... باشند.
 - ساختار سد: از نظر ساختار، با توجه به مصالح مصرف شده یا تکنولوژی ساخت سدها باهم متفاوت هستند. سدها از نظر مصالح مصرف شده می‌توانند چوبی، خاکی یا بتنی باشند. (۵)

۱-۳- مزایا

۱-۳-۱- ملاحظات اقتصادی

بیشترین مزیت استفاده از نیروگاه‌ها آبی عدم نیاز به استفاده از سوخت‌ها و در نتیجه حذف هزینه‌های مربوط به تأمین سوخت است. در واقع هزینه انرژی الکتریکی تولیدی در یک نیروگاه آبی تقریباً از تغییرات قیمت سوخت‌های فسیلی نظیر نفت، گاز طبیعی و زغال سنگ مصون است. همچنین عمر متوسط نیروگاه‌های آبی در مقایسه با نیروگاه‌های گرمایی بیشتر است، به طوری که عمر برخی از نیروگاه‌های آبی که هم‌اکنون در حال استفاده هستند به ۵۰ تا ۱۰۰ سال پیش بازمی‌گردد. هزینه کار این نیروگاه‌ها در حالی که به صورت خودکار کار کنند کم است و به جز در موارد اضطراری به پرسنل زیادی در نیروگاه نیاز نخواهد بود. (۹)

در موقعیت‌هایی که استفاده از سد چندین هدف را پوشش می‌دهد، ساخت یک نیروگاه آبی هزینه نسبتاً کمی را به هزینه‌های ساخت سد اضافه می‌کند. ایجاد یک نیروگاه همچنین می‌تواند هزینه‌های مربوط به ساخت سد را جبران کند. برای مثال درآمد ناشی از فروش انرژی الکتریکی در سد «Three Gorges» که بزرگ‌ترین سد جهان است با فروش انرژی الکتریکی تولیدی در سد در طول ۵ تا ۷ سال جبران شده است. (۹)

۱-۳-۲- انتشار گازهای گلخانه‌ای

در صورتی که سوختی در نیروگاه سوخته نشود، دی‌اکسید کربن (که یک گاز گلخانه‌ای است) نیز در نیروگاه تولید نخواهد شد. البته در مراحل احداث نیروگاه مقدار ناچیزی گاز دی‌اکسید کربن تولید می‌شود که در مقابل میزان دی‌اکسید البته در این نیروگاه‌ها بر اثر اجتماع آب پشت سد گازهایی متصاعد می‌شود که در پایین به آن‌ها اشاره شده است. (۹)

۱-۳-۳- فعالیت‌های وابسته

آب ذخیره شده در پشت یک سد در واقع می‌تواند بخشی از امکانات مربوط به ورزش‌های آبی باشد و به این ترتیب می‌تواند به جاذبه‌ای برای گردشگران تبدیل شود. در برخی از

کشورها از این آب برای پرورش موجودات آبی مانند ماهی ها استفاده می شود به این ترتیب که در برخی سدها محیط های خاصی برای پرورش موجودات آبی اختصاص یافته که همیشه از نظر داشتن آب پشتیبانی می شوند. (۹)

۱-۴- معایب

۱-۴-۱- آسیب به محیط زیست

پروژه های احداث سد معمولاً با تغییرات زیادی در اکوسیستم منطقه احداث سد همراه هستند. برای مثال تحقیقات نشان می دهد که سدهای ساخته شده در کرانه های اقیانوس اطلس و اقیانوس آرام در آمریکای شمالی از میزان ماهی های قزل آلا رودخانه ها به شدت کاسته است و این به دلیل جلوگیری سد از رسیدن ماهی ها به بالای رودخانه برای تخم گذاری است و این درحالی است که برای عبور این ماهی ها به بالای رودخانه محل های خاصی در سد در نظر گرفته شده است. همچنین ماهی های کوچک در طول مهاجرت از رودخانه به دریا در بین توربین ها آسیب می بینند که برای رفع این عیب نیز در قسمتی از سال ماهی ها را با قایق های کوچک به پایین رودخانه می برند. با تمام فعالیت هایی که برای ایجاد محیط مناسب برای ماهی ها انجام می شود بازهم با ساخت سد از میزان ماهی ها کاسته می شود. در کشورهایی مانند ایالات متحده بستن مسیر مهاجرت ماهی ها و دیگر موجودات آبی به وسیله سد ممنوع است و حتماً باید برای عبور آن ها تمهیداتی اندیشیده شود. به این ترتیب در برخی موارد سدها می توانند واقعاً برای ماهی ها آسیب رسان باشند که نمونه ای از آن ها سد مارموت (Marmot Dam) در ایالات متحده است که عملیات حذف آن در ۲۰ اکتبر ۲۰۰۷ به پایان رسید. پس از تخریب این سد رودخانه برای اولین بار پس از ۱۰۰ سال جریان آزاد خود را آغاز کرد. عملیات حذف این سد بزرگ ترین عملیات حذف سد در ایالات متحده بود. (۹)

ایجاد سدها معمولاً باعث به وجود آمدن تغییراتی در قسمت های پایینی رودخانه می شوند. آب خروجی از توربین ها معمولاً حامل مقدار کمتری از رسوبات است و این خود باعث پاک شدن بستر رودخانه و از بین رفتن حاشیه های رودخانه می شود. به دلیل اینکه توربین ها معمولاً به نوبت کار می کنند نوساناتی در جریان آب خروجی ایجاد می شود که شدت فرسایش بستر

رودخانه را افزایش می‌دهد. همچنین ظرفیت اکسیژن حل شده در آب به دلیل کار توربین‌ها کاهش می‌یابد چراکه آب خروجی توربین‌ها معمولاً گرم‌تر از آب ورودی آنهاست که این خود می‌تواند جان برخی گونه‌های حساس را به خطر بیندازد. برخی دیگر از سدها برای افزایش ارتفاع فشار مسیر رودخانه را منحرف کرده و باعث عبور آب از مناطق پر شیب‌تر می‌شوند و به این ترتیب مسیر قبلی رودخانه را خشک می‌کنند. برای مثال در رودخانه‌های تپاکو (Tekapo) و پوکاکی (Pukaki) از این روش استفاده شده که نه تنها موجب به خطر افتادن برخی گونه‌های موجودات آبی شده بلکه پرندگان مهاجر منطقه را نیز به شدت در خطر قرار داده است. (۹)

۱-۴-۲- انتشار گازهای گلخانه‌ای

آب جمع شده در پشت سد در مناطق گرمسیری می‌تواند مقدار قابل توجهی از گاز متان و گاز کربنیک را تولید کند. این گازها در اثر پوسیدگی قسمت‌های مختلف گیاهان و زباله‌هایی به وجود می‌آیند که از بالای رودخانه آمده‌اند و به وسیله باکتری‌های ناهوازی تجزیه می‌شوند. بیشتر گاز تولیدی در اثر پوسیدگی را گاز متان تشکیل می‌دهد که از نظر آثار گلخانه‌ای از دی‌اکسیدکربن خطرناک‌تر است. براساس گزارش کمیسیون جهانی سدها، در سدهایی که منبع آن‌ها نسبت به برق تولیدی آن‌ها کوچک است (کمتر از ۱۰۰ وات به ازای هر مترمربع از آب) و درخت‌های اطراف مسیر رودخانه پاکسازی نشده‌اند، میزان گاز گلخانه‌ای تولیدی از یک نیروگاه گرمایی با سوخت نفت بیشتر است. (۹)

۱-۴-۳- جابجایی جمعیت

از دیگر معایب ساخت سدها، جابجایی جمعیت ساکن در مناطق زیر آب رفته توسط آب پشت سد است. این مناطق ممکن است شامل مناطقی باشد که از نظر فرهنگی یا اعتقادی دارای ارزش بالایی هستند و بدین ترتیب دلبستگی زیادی بین مردم ساکن با منطقه و آن منطقه خاص وجود دارد و به این ترتیب با بالا آمدن آب این مکان‌های تاریخی یا فرهنگی از بین خواهند رفت. از جمله سدهایی که در مراحل ساخت با این قبیل مشکلات روبه‌رو شدند می‌توان به سد سه‌دره یا سد کلاید اشاره کرد. (۹)

۱-۴-۴- شکست سد

شکسته شدن سدها گرچه به ندرت اتفاق می‌افتد اما خطری جدی و خطرناک است. برای نمونه می‌توان به شکسته شدن سد بانکیاو (Banqiao) در جنوب چین اشاره کرد که موجب کشته شدن ۱۷۱۰۰۰ تن و بی‌خانمان شدن حدود نیم میلیون نفر شد. همچنین سدها می‌توانند هدف خوبی برای دشمن در طول جنگ یا اقدامات خرابکارانه تروریست‌ها باشند. سدهای کوچک در این حملات کمتر آسیب‌رسان هستند.

انتخاب محلی نامناسب برای احداث سد می‌تواند به فاجعه منجر شود، برای مثال می‌توان به سد واجنت (Vajont) در ایتالیا اشاره کرد که در سال ۱۹۶۳ موجب مرگ حدود ۲۰۰۰ نفر شد. (۹)

۱-۵- مقایسه‌ای با دیگر روش‌های تولید انرژی الکتریکی

نیروی برق‌آبی با ایجاد انرژی الکتریکی بدون سوزاندن سوخت‌ها از ایجاد آلوده‌کننده‌های متصاعد شده از سوختن سوخت‌های فسیلی مانند دی‌اکسید گوگرد، اسید نیتریک، منواکسید کربن، گرد غبار و سرب (موجود در زغال سنگ) جلوگیری می‌کند. همچنین هیدروالکتریسیته با از بین بردن ضرورت استفاده از سوخت‌هایی مانند زغال سنگ به‌طور غیرمستقیم خطرات ناشی از استخراج زغال سنگ را کاهش می‌دهد.

در مقایسه با نیروگاه هسته‌ای این نیروگاه‌ها زباله هسته‌ای تولید نمی‌کنند. همچنین خطرات مربوط به تماس با اورانیوم در معادن یا نشت مواد هسته‌ای را نیز ندارند و برعکس اورانیوم در این دسته از نیروگاه‌ها از انرژی‌های تجدیدپذیری استفاده می‌شود.

در مقایسه با مولدهای بادی، منابع انرژی در نیروگاه‌های آبی خیلی قابل پیش‌بینی‌تر هستند. همچنین این نیروگاه‌ها می‌توانند ضریب بار شبکه را بهبود دهند و در زمان نیاز شروع به تولید انرژی الکتریکی کرده و به این ترتیب موجب تعدیل شبکه در طول ساعات پیک شوند.

برعکس نیروگاه‌های گرمایی در نیروگاه‌های آبی زمان زیادی صرف مطالعات مربوط به سد می‌شود. معمولاً برای انجام دقیق محاسبات، داده‌های حدود ۵۰ سال از رفتارهای رودخانه

برای انتخاب بهترین مکان احداث سد و روش ساخت آن لازم است. برعکس نیروگاه‌هایی که از سوخت‌ها برای تأمین انرژی استفاده می‌کنند، مکان‌های مناسب برای احداث نیروگاه‌های آبی محدود هستند. همچنین بیشتر نیروگاه‌های آبی از مراکز تجمع جمعیت دور هستند و باید برای انتقال آن‌ها نیز هزینه‌ای صرف کرد. از دیگر ضعف‌های این نیروگاه وابستگی شدید به میزان آب ورودی است و از آنجایی که میزان آب پشت سد به بارش‌ها وابسته است و در صورتی که که میزان بارش برف و باران کاهش یابد میزان تولید انرژی الکتریکی نیز کاهش می‌یابد.

۱-۶- توضیح مسئله

هم زمان با بحران انرژی آینده در جهان، در کشورمان نیز مدیریت انرژی اهمیتی دو چندان یافته است. یکی از راه‌های برون رفت از بحران انرژی تولید انرژی برق پراکنده از منابع تجدیدپذیر است. میکرو نیروگاه‌های آبی یکی از منابع تجدیدپذیر پراکنده در کشورمان هستند که با توجه به گستردگی محدوده پتانسیل‌های آبی از نظر هد در دسترس و دبی آب، نیازمند برنامه ریزی در جهت استحصال برق از این انرژی‌های لایزال است. مناطق شیب دار، مانند شهر تهران که دارای خطوط انتقال آب بسیار قوی نیز هستند، از جمله پتانسیل‌های قوی برای نصب میکرو توربین‌های آبی هستند. وجود اختلاف ارتفاع بین مخازن و شیب خطوط لوله، هد فشاری قوی را برای تولید برق فراهم آورده است. این مطالعه باسنجش پارامترهای مربوط به میزان هد فشاری و دبی آب ورودی به شیرهای فشار شکن یا مخازن و موقعیت آنها مورد بررسی قرار گرفته است. مسئله اصلی، هزینه‌های بالای ایجاد یک میکرو نیروگاه آبی با استفاده از توربین‌های آبی میکرو از جمله توربین پلتون می باشد. یکی از راهکارهای کاهش هزینه تمام شده هر کیلووات میکرو نیروگاه آبی، استفاده از توربین‌های هیدرو کوپل است. با استفاده از توربین‌های هیدرو کوپل داخل خطوط انتقال آب شهری می توان علاوه بر استحصال برق از آن به عنوان فشار شکن جهت کاهش فشار خطوط انتقال آب پر فشار نیز استفاده نمود.

۱-۷- فرضیات

- توربین های هیدرو کوئل می توانند به خوبی به عنوان میکرونیروگاه برق آبی مورد استفاده قرار گیرند.
- از توربین های هیدرو کوئل می توان به عنوان شیرهای فشار شکن جهت کاهش فشار درون خطوط انتقال آب شهری مورد استفاده قرار داد و تولید انرژی الکتریکی نمود .

۱-۸- اهداف

اهداف کلی:

- استفاده از توربین هیدرو کوئل جهت بازیافت انرژی جنبشی خطوط انتقال آب شهر تهران جهت تولید انرژی الکتریکی رایگان.
 - استفاده از توربین هیدروکوئل به عنوان شیر فشار شکن و همچنین تبدیل انرژی جنبشی آب به انرژی الکتریکی.
 - تولید برق توسط نیروگاه های برق آبی پراکنده در تمامی سطح شهر تهران
- اهداف ویژه:

- کاهش هزینه تمام شده هر کیلووات میکرو نیروگاه آبی با استفاده از توربین هیدرو کوئل.
 - استفاده از توربین هیدرو کوئل به عنوان شیر فشار شکن جهت کاهش فشار خطوط انتقال آب شهری و تولید برق.
 - ساخت نیروگاه های پراکنده در سطح شهر تهران جهت استحصال انرژی برق .
- اهداف کاربردی:

مزایای احداث میکرو نیروگاه های برق آبی:

- عدم نیاز به سوخت های فسیلی
- عدم نیاز به ساخت سد های عظیم و کارآمد بودن با هد و فشار پایین

- عدم نیاز به سرمایه گذاری زیاد نسبت به توربین ها بزرگ و امکان جذب مشارکت عمومی و سرمایه های متوسط.
- حذف هزینه طراحی ، ساخت و آزمایش توربین های عظیم .
- قابلیت حمل و جابجایی و نصب آسان.
- دوره ی احداث کوتاه.
- بازگشت سریع سرمایه .
- حذف تلفات انتقال و کاهش تلفات توزیع برق .
- در اختیار داشتن منبع تامین انرژی با ضریب حفاظتی بالا (پدافند غیر عامل)
- عدم انتشار آلاینده های زیست محیطی .
- تجدید پذیر بودن منابع آبی و قابل شرب بودن آب مصرفی مشترکین آب.
- صرفه جویی در مصرف برق شبکه سراسری .
- منبع جدید کسب درآمد با فروش مازاد انرژی مصرفی .
- کاهش تراکم انتقال انرژی.
- پیک سایی.
- جلوگیری از افزایش ظرفیت شبکه.

۱-۹- روش پژوهش و مرحله انجام پایان نامه

- ۱- انجام مطالعات کتابخانه ای و استفاده از سایت های اینترنتی و مقالات جهت بررسی تحقیقات پیشین.
- ۲- همکاری با شرکت آب و فاضلاب استان تهران جهت بررسی میدانی و ساخت میکرو نیروگاه برق آبی.

۳- سنجش پارامترهای مربوط به میزان هد فشاری ودبی آب ورودی به شیرهای فشار شکن یا مخازن و موقعیت آنها.

۴- بررسی هزینه های طراحی ، ساخت و آزمایش میکرو توربین.

۵- بررسی هزینه های نصب و هزینه های نگهداری آن

۶- ارائه گزارش: پس از حصول نتایج رضایت بخش مرحله نگارش پایان نامه آغاز می گردد.

در این مطالعه کتابخانه ای و مطالعه مقالات مربوط به این بحث و پس از جمع آوری داده های میدانی از جمله پارامترهای مربوط به میزان هد فشاری ودبی آب ورودی به شیرهای فشار شکن ، مخازن و موقعیت آنها به بررسی هزینه ساخت اتاقچه های مخصوص جهت نصب توربین های هیدرو کویل در نیروگاههای پراکنده و همچنین مکان نصب مطابق با نتایج تحقیق پرداخته می شود.

فصل دوم:

مبانی نظری و پیشینه تحقیق

۲-۱- پیشینه تحقیقات

این پروژه دو رویکرد تحقیقاتی داشته یکی تجربی و دیگری شبیه سازی که البته از دیر باز چون بحث نیاز به انرژی قالب بوده و در دسترس ترین نیروی آب بوده پس از دیر باز این موضوع تحقیقات زیادی را در خود گنجانده است که ما با بررسی چند نمونه جدید و مشترک با این موضوع اشاراتی از جدیدترین دست آورد های این عرصه می کنیم و در انتها از این مقالات و کتب برای مقایسه دقت کار خود بهره میگیریم.

۱- جین وی لی و همکاران در مرکز تحقیقات آب و برق آب در بجینگ چین در سال ۲۰۱۷ مقاله ای با عنوان شبیه سازی عددی نیروی هیدرولیکی بر پروانه توربین پمپ برگشت پذیر در حالت تولید نیرو چاپ کردن که در این کار تجربی داده های مفید ی ارائه کردند.(۱۷)

۲- در آگوست ۲۰۱۷ موسسه روسی و ماسیمیلیانو رورنی در دانشگاه بولزانو ایتالیا با ارائه مدل هایی برای پیش بینی تحلیلی از ارزیابی عملکرد پمپ ها به عنوان توربین ها (PaT) مقاله ای چاپ کردند که یک کار ارزشمند تجربی بود(۱۵)

۳- ژیگان زو و همکاران در لابراتوار علوم آب و مهندسی دانشگاه سینگوا بجینگ چین با شبیه سازی و آزمایش بر روی جریان در پمپ توربین های مختلف ناپایداری های ناشی از آن را بررسی نمودند که نتایج را در قالب مقاله ای در اکتبر ۲۰۱۷ در مجله مهندسی به چاپ رسانیدند(۲۰)

۴- فرانچسکو پاگولیز و همکاران در دپارتمان عمران معماری و مهندسی محیط زیست دانشگاه ناپله ایتالیا با طراحی دو پمپ به عنوان توربین از روش تجربی برق تولید کردند و نتایج خود را در مجله انرژی های تجدید پذیر در سال ۲۰۱۶ به چاپ رساندند(۱۸)

۵- جیان وو و جورجیو پاوسی در یک پروژه مشترک چین و ایتالیا با بررسی ویژگی های ناپایداری جریان در قوز اول جریان بی ثبات در یک توربین پمپ نتایجی را ثبت کردند که در سال ۲۰۱۸ در یک مقاله مرجع عددی در جله انرژی های تجدید پذیر چاپ نمودند (۱۷)

۶- دنیل ناوارو و آگنوس مک نابولا در دپارتمان مهندسی محیط زیست دانشگاه دوبلین ایرلند با شبیه سازی یک مدل برای استخراج منحنی های مشخصی از پمپ ها به عنوان توربین تحقیقاتی انجام دادند تا بهترین نقطه بهره برداری را بیابند و این نتایج را بهینه سازی کردند و در مجله مدیریت انرژی در سال ۲۰۱۸ به چاپ رساندند (۲۳)

۷- یو هاوو و لی تا از دپارتمان انرژی دانشگاه لینگسو چین مقاله ای با عنوان فاصله بین نوک متقارن و نامتقارن کاویتاسیون و نیروی شعاعی بر عملکرد یک پمپ جریان مخلوط به عنوان توربین در حالت چاپ کردند که نتایج بسیار کاربردی حاصل گردید (۲۲)

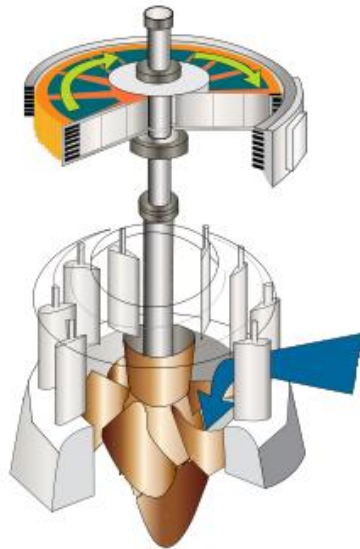
۸- در یک پروژه بزرگ در چند داشگاه معروف چین مقاله مرجعی به چاپ رسید که در آن مکانیسم نوسانات فرکانس کم دامنه در یک توربین پمپ در حالت پمپ مورد بررسی جامعی قرار گرفت و نتایج شبیه سازی آن در قالب مقاله ارائه گردید (۲۴)

۹- ایده اولیه طراحی توربین هیدرو کوئل، الهام گرفته از پمپ اسکروی ارشمیدوس است. هیدروکوئل یک توربین کوچک مناسب برای ارتفاع و جریان بسیار کم و با وزن و ابعاد کم، قابلیت حمل با دست و نسبت توان به حجم بالا، سهولت ساخت، قیمت مناسب و عدم نیاز به تاسیسات پیچیده و پر هزینه نصب، از جمله ویژگی های منحصر به فرد هیدرو کوئل است. (۲۸)

۱۰- استفاده از پمپ توربین ها و یا در واقع بکار گیری پمپ به عنوان توربین به صورت معکوس برای تولید توان الکتریکی سرآغاز پیدایش تحولات گسترده ای در امر تولید انرژی از آب در مقیاس کوچک بوده که از جمله این تحولات بکارگیری توربین های هیدروکوئل امروزی بوده است. (۲۹)

۲-۲- مفاهیم اولیه

۲-۲-۱- توربین



شکل ۱-۲ نمونه یک توربین (۱۶)

توربین یا چرخ پره موتوری چرخنده است که می‌تواند از یک سیال انرژی به دست آورد. ساده‌ترین توربین‌ها یک بخش چرخنده و تعدادی پره دارند که به بخش اصلی متصل شده‌اند. سیال به پره‌ها برخورد می‌کند و بدین ترتیب از انرژی ناشی از متحرک بودن آن استفاده می‌کند. به عنوان اولین توربین‌ها می‌توان آسیاب بادی و چرخاب را نام برد. توربین‌های گاز، بخار و آب معمولاً پوشش محافظی در اطراف پره‌هایشان دارند که سیال را کنترل می‌کنند. پوشش‌ها و پره‌ها می‌توانند اشکال هندسی مختلفی داشته باشند که هر کدام برای نوع سیال و بازده متفاوت است. کمپرسور یا پمپ دستگاهی مشابه توربین است ولی با عملکرد برعکس به طوری که این دستگاه انرژی را می‌گیرد و باعث حرکت یک سیال می‌شود. مراحل کار یک توربین کاملاً برعکس مراحل کار یک پمپ است. در پمپ انرژی الکتریسیته به انرژی مکانیکی تبدیل شده و باعث چرخیدن پره می‌شود. در توربین‌ها، چرخش پره‌ها انرژی جنبشی باد را به انرژی مکانیکی تبدیل کرده، سپس به الکتریسیته تبدیل می‌شود. باد به پره‌ها برخورد می‌کند و آن‌ها را می‌چرخاند. چرخش پره‌ها باعث چرخش محور اصلی می‌شود و این محور

به یک ژنراتور برق متصل است. چرخش این ژنراتور، برق متناوب تولید می‌کند. توان توربین (۱-۲) از معادله زیر محاسبه می‌شود. (۳۵)

$$P = \mu \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot \dot{q} \quad ۱-۲$$

که در آن η راندمان توربین، ρ چگالی آب، g شتاب ثقل، h ارتفاع نظیر فشار آب و \dot{q} دبی آب می‌باشد.

۲-۲- پمپ

پمپ یا تلمبه وسیله‌ای مکانیکی برای انتقال مایعات است که با افزایش فشار جریان آن، امکان جابجایی را به ارتفاعی بالاتر (با افزایش هد) یا حتی پایین دست (معمولاً حوضچه یا مخزن) فراهم می‌آورد. پمپ کاربردهای فراوان در صنعت و حتی در وسایل نقلیه دارد. مانند پمپ بنزین یا پمپ آب خودرو تا پمپ‌های بزرگ برای پر کردن حوضچه‌های تعمیر کشتی. تلمبه‌های رایج و قدیمی شامل تلمبه باد برای باد کردن چرخ دوچرخه، موتور سیکلت یا تایر خودرو و همچنین تلمبه‌های دستی که آب یا سوخت را از مخزنی (مانند چاه آب) با مخزنهای دیگر منتقل می‌کنند، می‌شود. به‌طور کلی پمپ به دستگاهی گفته می‌شود که انرژی مکانیکی را از یک منبع خارجی گرفته و به سیالی که از آن عبور می‌کند، انتقال دهد. در نتیجه، انرژی سیال پس از خروج از این دستگاه (پمپ) افزایش می‌یابد. در پمپ‌ها تغییرات انرژی سیال همواره به صورت تغییر فشار سیال مشاهده می‌گردد. از پمپ‌ها برای انتقال سیال به یک ارتفاع معین یا جابجایی آن در یک سیستم لوله‌کشی یا هیدرولیک استفاده می‌نمایند. به عبارت کلی تر، پمپ دستگاهی است که سیالات غیرقابل تراکم را از یک نقطه به نقطه‌ای دیگر جابجا می‌نماید. توان مصرفی پمپ از معادله (۲-۲) زیر محاسبه می‌شود (۳۵)

$$P = \rho \cdot g \cdot h \cdot \dot{q} / \mu \quad ۲-۲$$

۲-۳- هیدرولیک

هیدرولیک مبحثی است که به روش‌های کاربردی استفاده از سیالات تحت فشار می‌پردازد. سامانه‌های هیدرولیک که یکی از دو زیرمجموعه کلی سامانه‌های انرژی سیالات هستند (نوع دیگر پنوماتیک است)، برای انتقال انرژی استفاده می‌شوند. مزیت هیدرولیک نسبت به روش‌های انتقال انرژی مکانیکی و الکتریکی، قابلیت افزایش نیرو در حین انتقال و تغییر سریع جهت حرکت است؛ از آنجا که در هیدرولیک انتقال انرژی با کمک یک سیال هیدرولیک انجام می‌شود و سیالات به طور کلی قابلیت شکل‌پذیری دارند و می‌توان آن‌ها را از مسیرهای دلخواه عبور داد (۲۰)

۲-۴- انرژی هیدروالکتریک

انرژی هیدروالکتریک از آب به توربین آبی و به گردش در آوردن توربین و آلترناتور متصل به آن به دست می‌آید. مقدار برق به دست آمده به مقدار و ارتفاعی که آب سقوط می‌کند تا به توربین برسد، بستگی دارد. برای این منظور اقدام به ساختن سدهای مخزنی می‌کنند تا آب ذخیره شده در پشت آن برای تولید برق و کشاورزی و احیانا "آب شهری استفاده شود. انرژی هیدروالکتریک چون یک منبع تجدید شونده به حساب می‌آید و آلودگی محیط زیست را به همراه ندارد و به خصوص از آب آن می‌توان برای امور کشاورزی و شرب اهالی استفاده کرد، بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. در کشورهای آسیایی و آفریقایی ظرفیت انرژی هیدروالکتریک از همه جا بیشتر است، ولی متأسفانه کمتر از جاهای دیگر مورد بهره‌برداری قرار گرفته است به طور کلی کشورهای صنعتی جهان حدود ۲ درصد و کشورهای درحال توسعه حدود یک درصد از برق آبی جهان را تولید می‌کنند. با این همه تا کنون تنها از ۱۸ درصد پتانسیل قابل بهره‌برداری برق آبی جهان استفاده شده است. پیش‌بینی می‌شود در دو دهه اول قرن بیست و یکم میزان رشد تولید الکتریسیته از منابع آبی ۲۵ درصد در سال باشد. با این وصف انرژی برق آبی هم چنان بزرگترین منبع انرژی تجدیدپذیر باقی خواهد ماند و تنها عوامل اقتصادی و زیست محیطی می‌توانند پتانسیل واقعی این منبع را محدود کنند. دو سوم

منابع برق آبی در کشور چین قرار دارد. طرح‌های برق آبی ممکن است خسارات زیست محیطی به همراه داشته باشد. مثلاً "ساخت جاده برای دسترسی به نیروگاه نصب پایه‌های انتقال نیروی برق و سرانجام ساخت سازه خود سد ممکن است زیستگاه طبیعی را مورد تخریب قرار دهد. انحراف مسیر رودخانه هنگام ساختن سد ممکن است صدماتی از قبیل مرگ و میر ماهی به وجود آورد. به طور کلی در مورد نیروگاه‌های آبی کوچک صدمات زیست محیطی در مقایسه با منافع آنها و تولید الکتریسیته قابل توجه نیستند. (۲۴)

۲-۵- معادلات ناویر-استوکس

دستگاه غیر خطی معادلات ناویر-استوکس (۲-۳) مدل ریاضی حاکم بر حرکات، جریانات، و دینامیک سیالات (اعم از مایعات یا گازها) را تشکیل می‌دهد. در دستگاه مرجع لخت (دستگاهی است که در آن قانون اول و دوم نیوتون معتبر هستند، یعنی دستگاه مختصاتی که دارای شتاب نیست. اگر دستگاه در حال چرخش حتی با سرعت ثابت باشد شتاب‌دار محسوب می‌شود) معادله ناویر-استوکس در کلی‌ترین حالت به شکل زیر است: (۳۵)

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \nabla v \right) = -\nabla p + \nabla \cdot T + f \quad ۳-۲$$

۲-۶- جریان استوکس

جریان استوکس (به پاس قدردانی از زحمات جورج گابریل استوکس) که نام‌های جریان خزشی یا حرکت با عدد رینولدز پایین نیز به آن اطلاق می‌شود، گونه‌ای از جریان سیال است که در آن نیروهای ادواکسیون اینرسی در قیاس با نیروهای ناشی از لزجت مقادیر کوچک‌تری دارند؛ به بیانی دیگر، عدد رینولدز در این گونه جریان‌ها کوچک‌تر از یک خواهد بود. محتمل‌ترین وضعیت برای رخ دادن این رژیم جریانی، کم بودن اندازه‌ی سرعت جریان برای سیالی با لزجت بالاست. هم‌چنین در شرایطی که طول مشخصه سیستم بسیار کوچک می‌شود نیز رژیم جریانی به سوی وضعیت استوکسی متمایل خواهد شد. چنین رژیم جریانی نخستین

بار به منظور تشریح نظریه روان کاری (روغن کاری) به کار رفت. از جمله پدیده های طبیعی که چنین رژیم جریانی در آن ها غالب است می توان حرکت میکروارگانیسم ها و اسپرم ها و جریان گدازه های آتشفشانی اشاره کرد. در صنعت نیز حرکت سیالات رنگی و پلیمری، جریان سیالات درون یاتاقان ها، تجهیزات میکروالکترومکانیکی و میکروفلوئیک ها معمولاً توسط جریان استوکسی قابل تشریح و بررسی است.

معادله حرکت جریان استوکسی که معادلات استوکس نیز نامیده می شوند، شکل خطی سازی شده معادلات ناویر-استوکس هستند که می توان آن ها را به کمک روش های مختلف شناخته شده برای معادلات دیفرانسیل خطی حل کرد. تابع گرین اولیه جریان استوکس که استوکس لت نامیده می شود به کمک یک نیروی نقطه ای قرار گرفته در جریان استوکس به دست می آید. با مشتق گیری از تابع گرین جریان استوکس سایر حل های اساسی این جریان به دست می آیند. معادله حرکت جریان استوکسی را می توان با خطی سازی معادلات ناویر-استوکس در حالت پایا به دست آورد. نیروهای اینرسی در مقایسه با نیروهای لزجت ناچیز فرض می شوند و در نتیجه عبارات مربوط به اینرسی از معادله بالانس ممتوم حذف (۲-۴) و به شکل ساده زیر تقلیل می یابد:

$$\nabla \cdot \mathbf{P} + \mathbf{f} = 0$$

۴-۲

در این معادله بالا \mathbf{P} تنسور تنش کوشی است که تنش های لزجی و فشاری را دربر می گیرد \mathbf{f} نیز نشانگر هرگونه نیروی حجمی (نیروهای غیرتماسی ناشی از میدان هایی نظیر ثقل، الکتریسیته و مغناطیس) است (۳۵).

۷-۲- توربین هیدروکویل

ایده اولیه طراحی توربین هیدرو کویل، الهام گرفته از پمپ اسکروی ارشمیدوس است. هیدروکویل یک توربین کوچک مناسب برای ارتفاع و جریان بسیار کم و با وزن و ابعاد کم، قابلیت حمل با دست و نسبت توان به حجم بالا، سهولت ساخت، قیمت مناسب و عدم نیاز به تاسیسات پیچیده و پر هزینه نصب، از جمله ویژگی های منحصر به فرد هیدرو کویل

است (۲۸). استفاده از پمپ توربین ها و یا درواقع بکار گیری پمپ به عنوان توربین به صورت معکوس برای تولید توان الکتریکی سرآغاز پیدایش تحولات گسترده ای در امر تولید انرژی از آب در مقیاس کوچک بوده که از جمله این تحولات بکارگیری توربین های هیدروکوئل امروزی بوده است (۲۹).



شکل ۲-۲ تصویری از توربین اسکروی ارشمیدوس (۲۶)

توربین هیدروکوئل شامل سه بخش اصلی زیر است:

الف- پوشش محافظ جانبی:

لوله ای با قطر مشخص است که از مواد شفاف پلاستیکی، استیل ضدزنگ یا آلومینیوم های آلیاژی ساخته می شود.

ب- بلبرینگ های نگهدارنده:

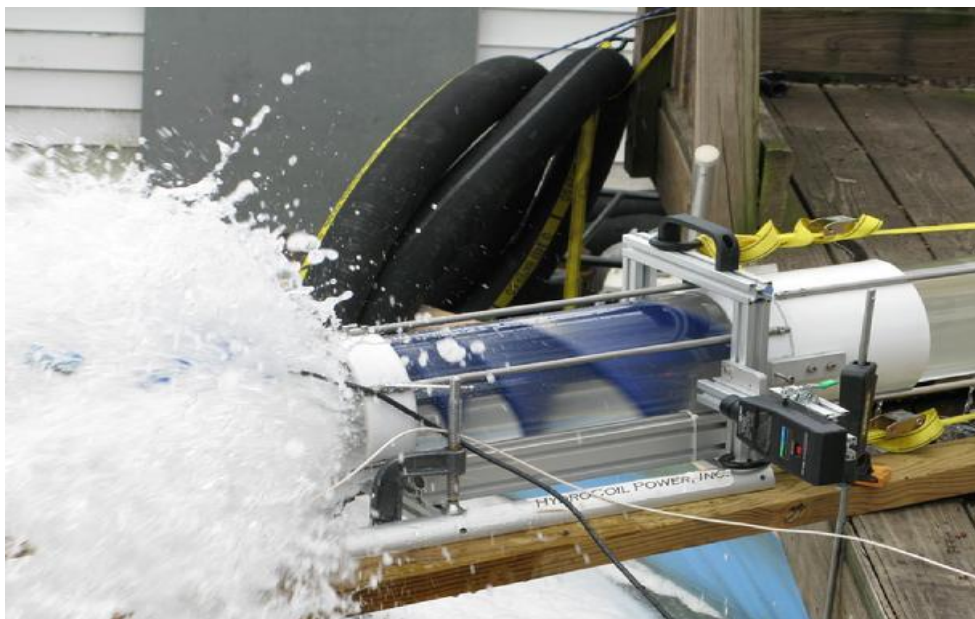
در دو سمت محور توربین دو عدد بلبرینگ ضدآب قرار دارد که در فلنج های ابتدا و انتهای پوشش محافظ جانبی جای میگیرند.

ج- پره و محور اصلی توربین:

پره و محور توربین هم جنس هستند و به صورت یکپارچه ساخته می شوند. این قسمت از آلیاژهای سخت آلومینیوم ساخته می شود. طراح واره ای از توربین هیدروکوئل در شکل ۲-۳ نشان داده شده است. ساختار پره توربین هیدروکوئل و تقریباً مشابه توربین اسکروی ارشمیدس است. تفاوت اصلی توربین ارشمیدس و هیدروکوئل در زاویه نصب و گام پره آنهاست. توربین ارشمیدس تحت زاویه خاصی نصب می شود و این در حالی است که توربین

هیدروکوئیل به صورت افقی نصب می شود. در این حالت به دلیل ازبین رفتن اختلاف سطح آب در بالادست و پایین دست پره ها، عامل دوران توربین انرژی جنبشی ناشی از سرعت جریان آب است. با در نظر گرفتن فاصله ای کوچک بین نوک پره و سطح داخلی پوشش محافظ، هیدرواسکرو با سرعت بسیار بالاتری (حدود ۲۰۰۰ دور بر دقیقه) نسبت به اسکروی ارشمیدس (۵۰-۲۵ دور بر دقیقه) دوران می کند. از آنجایی که توان تولیدی توربین حاصل ضرب سرعت دوران در گشتاور تولیدی توربین است، افزایش سرعت دوران در توربین هیدروکوئیل باعث کاهش گشتاور تولیدی می شود و به دنبال آن ابعاد هندسی توربین کاهش می یابد. در نتیجه هیدروکوئیل توربینی کوچک، سبک و به نسبت ارزان است. اطلاعات چندانی درباره توربین های هیدروکوئیل وجود ندارد. بنابراین برای ساخت این توربین استفاده از نتایج حاصل از یک پژوهش عددی ضروری است. (۳۰)

با استفاده از توربین هیدرو کوئل انرژی حرکت سیال بازیافت می شود. در استاندارد API 610 عبارت (HPRT) Hydraulic Power Recovery Turbines برای این موضوع انتخاب شده است. کاربرد این عمل در مواقعی است که مقدار زیادی انرژی سیال از شیرها و یا تجهیزات تراتلینگ تخلیه شده است. در بعضی کاربردها که گازهای نامحلول از سیال جدا شده اند یا در طی فرآیند انبساط بخار، سیال به وجود آمده است، نیز مقادیر زیادی انرژی سیال وجود دارد که می توان برای بازیافت آنها از عملکرد معکوس پمپ های سانتریفیوژ استفاده نمود عملکرد معکوس یک پمپ سانتریفیوژ بدین معنی می باشد که رانش پمپ به عنوان ورودی توربین و مکش پمپ به جای خروجی توربین استفاده می شود. یعنی سیال از دهانه خروجی پمپ وارد و از دهانه مکش آن خارج می شود. در این حالت جهت چرخش پروانه پمپ (در اصطلاح توربین به آن runner گفته می شود) معکوس (Forward) خواهد بود. در حالت توربین، حلزونی یا دیفیوزرها نقش هدایت کننده جریان به سمت پروانه (Runner) را دارند. (۲۰)



شکل ۲-۳ توربین هیدروکوئل (۶)

کار مخصوص چرخ توربین، صرف نظر از نحوه بدست آوردن آن، از رابطه (۲-۵) زیر بدست می آید:

$$\rho Q / P_{sch} = Y_{th} = Y_{sch} \quad (2-5)$$

زوایای α_1 و β زوایای جریان می باشند. زاویه جریان ورودی α_2 با استفاده از هندسه هدایت کننده (دیفیوزر یا حلزونی) بدست می آید. هر چقدر سرعت خروجی سیال در توربین کمتر باشد، بازده بازیافت انرژی بیشتر خواهد بود. از منظر عملی، توربین تنها در دبی های بیش از Q_L گشتاور (توان) ایجاد می کند. اما از لحاظ تئوریک این دبی Q_{Lth} می باشد. این تفاوت دبی به خاطر اتلافات توربین می باشد. اتلافات هیدرولیکی در توربین با Z_h نمایش داده شده است که تفاوت انرژی مورد نیاز H تئوریک و واقعی می باشد. با افزایش دبی و راندمان، این اتلافات کاهش می یابد. در منحنی توان، P توان واقعی (توان مفید) و P_{sch} توان تئوریک می باشد (۲-۶). می توان نوشت:

$$P = P_{sch} (1 - \eta_h) \quad (2-6)$$

سمت چپ معادله فوق انرژی ورودی به توربین می باشد. سمت راست انرژی خروجی می باشد که به صورت مجموع انرژی مفید P (ترم اول معادله سمت راست) و تمام اتلافات می باشد. این اتلافات شامل اتلافات هیدرولیکی (ترم دوم)، نشتی (ترم سوم، Q_{sp} نشتی جریان در رینگ های سایشی، Q_E جریان نشتی در دستگاه بالانس نیروهای محوری)، مجموع اصطکاک دیسکی P_{RR} ، اتلاف توان در مقاطع داخلی آبیندها P_{s3} ، اتلافات مکانیکی P_m و اتلافات اصطکاکی ایجاد شده در دستگاه بالانس نیروهای محوری P_{er} می باشد. (۲۱)

۲-۸- فشار

فشار یک کمیت نرده ای است که به صورت نیرو بر واحد سطح تعریف می شود. یکای فشار در دستگاه بین المللی یکاها پاسکال است. به نیروی عمودی وارد شده بر یکای مساحت یک سطح نیز فشار گفته می شود. یک پاسکال با یک نیوتون بر مترمربع (N/m^2) برابر است. هنگامی که نیروی F به یک سطح مشخص A اعمال می شود، تنش در اجزای آن سطح به وجود می آید که باعث فشرده شدن اجزای تحت تنش می شود. هرچه نیرو به سطح کوچکتری وارد شود، فشار بیشتری ایجاد می شود. اگر نیروی وارد به یک سطح مشخص افزایش یابد نیز، فشار وارد به سطح بیشتر می شود (۲-۸). میزان نیروی وارد بر یک سطح را به عنوان فشار تعریف می کنند که با نماد p نمایش داده می شود. (۳۲)

$$P = F/A \quad ۲-۸$$

۲-۹- جریان تراکم ناپذیر

در دینامیک سیالات یا بصورت عمومی تر مکانیک محیط های پیوسته، جریان تراکم ناپذیر (incompressible flow) به جریانی اطلاق می شود که در آن چگالی ماده در یک جزء سیال حجم بی نهایت کوچک که با سرعت جریان حرکت می کند. بیان دیگری که نشانه ی تراکم ناپذیری جریان است این است که دیورژانس سرعت جریان صفر باشد (محاسبات و استنتاج زیر را ببینید که نشان می دهد این دو حالت یکی هستند) جریان تراکم ناپذیر به این معنی نیست که خود جریان تراکم ناپذیر است. در استدلال زیر نشان داده شده است (که در

صورت وجود شرایط مناسب) حتی جریان‌های تراکم پذیر با تقریب خوبی می‌توانند به صورت یک جریان تراکم ناپذیر مدل شود. جریان تراکم ناپذیر به این معنی است که چگالی در یک جزء سیال که با سرعت جریان عبور می‌کند ثابت باقی بماند (۳۲)

۲-۱۰- لایه مرزی

لایه مرزی مفهومی بنیادی در پدیده‌های انتقال می‌باشد. لایه مرزی عبارت است از سیالی که تحت تاثیر گرما، اندازه حرکت یا انتقال جرم ناشی از یک سطح مشترک قرار گرفته باشد که این سطح مشترک می‌تواند ساکن یا متحرک باشد. به عنوان نمونه می‌توان به لایه‌ای از سیال که در نزدیکی یک منبع گرما مانند رادیاتور قرار دارد، اشاره کرد. لایه نزدیک منبع گرم با گرفتن گرما از منبع گرما پروفیلی از تغییرات دما ایجاد می‌کند که پیامد آن تغییر چگالی سیال است و موجب شروع جریان همرفت می‌شود. در علم دینامیک سیالات نیز پدیده‌هایی مانند نیروی مقاوم و جدایش جریان به تغییرات در شکل و اندازه لایه مرزی سرعت سیال در اطراف جسم متحرک وابسته است. (۳۲)

به طور کلی سه نوع لایه مرزی سرعت (اندازه حرکت)، انتقال جرم و انتقال حرارت وجود دارد. البته در واقعیت ممکن است هر سه پدیده انتقال همزمان رخ دهند که پیچیدگی محاسبات و روابط حاکم را در پی دارد. برای بیان روابط ریاضی بین سه لایه مرزی می‌توان از اعداد بدون بعد کمک گرفت. (۲۰)

۲-۱۱- جریان آشفته



شکل ۲-۴: جریان آشفته (۲۲)

در دینامیک سیالات، تلاطم، آشفتگی یا جریان آشفته به نوعی رژیم جریان اطلاق می‌شود که مشخصه آن تغییرات تصادفی و آشوبناک خصوصیات سیال است. با این وجود اغلب ادعا می‌شود که تعریف دقیقی برای آشفتگی وجود ندارد، و بسیاری از محققان از تعاریف ارائه شده در گذشته استفاده می‌کنند. یکی از بهترین تعاریف توسط تئودوره فون کارمن ارائه شده است: آشفتگی حرکت نامنظمی است که عموماً زمانی که سیالات از روی سطوح جامد عبور می‌کنند یا حتی هنگامی که جریان‌هایی از یک نوع سیال در مجاورت هم قرار گرفته یا از روی یکدیگر عبور می‌کنند، دیده می‌شود. برای بدست آوردن این مقدار از واحدی به نام عدد رینولدز که پارامتری بدون بعد است استفاده می‌شود.

بیان توضیحی نظری برای آشفتگی یکی از قدیمی‌ترین مسائل حل نشده فیزیک است. ریچارد فاینمن از این مسئله به عنوان مهم‌ترین مسئله حل نشده فیزیک کلاسیک یاد کرده است.

یکی از تفاوت‌های جریان‌های آشفته با آرام در نوع حرکت ذرات است که هرچه آشفتگی بیشتر باشد حرکت ذرات بی‌نظم‌تر خواهد بود. این تفاوت اولین بار توسط ازبورن رینولدز (۲-۹) و از طریق پرتاب جوهر با سرعت‌های متفاوت در یک محفظه آب انجام شد و نتیجه حاکی از آن بود که هرچه سرعت جوهر بیشتر باشد حرکت جوهر در آب شکل بی‌نظم‌تری می‌گیرد. (۱۹)

وجود آشفتگی با عدد بی‌بعد رینولدز تعیین می‌شود

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{\nu} = \frac{QD}{\nu A} \quad ۹-۲$$

که در آن:

- V سرعت مشخصه سیال است
- D طول مشخصه جریان است
- μ گرانیوی (Pa • s or N • s/m²) یا

- ν گرانیروی سینماتیکی (m^2/s) (ρ)
- ρ چگالی سیال است
- Q دبی حجمی (m^3/s)
- A مساحت مشخصه جریان (m^2)

۲-۱۲- جریان آرام

جریان ماده ای سیال است، به طوری که اجزا آن ماده به صورت خطوط موازی نسبت به هم در حال حرکت باشند. در آیرودینامیک حرکت موازی سیال (Laminar) محدود به سرعتی خاص میباشد که بعد از آن سرعت حرکت سیال به صورت گسسته و گسیخته یا به شکلی مشابه نقش ترمه که در طرحهای پارچه و فرش استفاده میشود درمیآید که در زبان انگلیسی به آن Turbulant گفته میشود. در حرکت هواپیماها، مسیر هوا در دماغه هواپیما به صورت موازی است ولی در قسمت انتهایی به صورت ترمه درمیآید. این مسیر موازی هوا تا هنگامی ادامه دارد که لایه سطحی محافظ بین سیال یا هوای در جریان و جسم از بین نرفته باشد که این لایه در سرعتهای بالا از بین رفته و گسسته میشود و دیگر موازی نخواهند بود.

۲-۱۳- هد پمپ

هد عبارتست از مقدار انرژی (برحسب فوت پوند) لازم جهت انتقال یک پوند سیال از یک سطح انرژی به سطوح دیگر انتقال میابد. البته هد در صنعت، همیشه بر حسب فوت (ویا متر) تعریف می شود. هد باید برحسب فوت پوند- نیرو بر پوند جرم یا برحسب واحد حرارتی بریتانیا (BTU) بر پوند بیان شود. یک واحد حرارتی بریتانیا دقیقاً معادل ۷۷۸ فوت پوند نیرو بر پوند جرم سیال می باشد. هنگامیکه در ارتباط با هد سیالات بحث می کنیم، نگاه یک سیال با توجه به زمان خاصی که آن سیال مورد بحث قرار میگیرد می

تواند مایع یا گاز باشد. بعنوان مثال اتیلن، باتوجه به فشار و درجه حرارت آن، می تواند بصورت مایع و یا گاز باشد. اگر بصورت مایع باشد آنگاه بعنوان یک خمیر اتیلن (Ethylene Pulp) استفاده خواهد شد و انرژی مورد نیاز جهت افزایش فشار مایع از P1 به p2 تحت عنوان هد تعریف شده و برحسب فوت پوند نیرو بر پوند جرم می باشد. برعکس، اگر شرایط سیال بگونه ای باشد که این ماده بصورت بخار در آید آنگاه جهت حصول همان نتایج لازمست تا از یک کمپرسور استفاده شود. (۲۳)

فصل سوم :

روش تحقیق

مقدمه:

در این فصل ما به بیان موارد زیر می پردازیم:

۱- بیان مسئله

۲- روش انجام پژوهش

۳- معادلات حاکم

۴- معرفی نرم افزار حلگر

۵- معرفی مدل حل

۳-۱- بیان مسئله

همانطور که در پروپوزال و فصل قبل بیان شد ما می خواهیم عملکرد پمپ های هیدروکوئل را به صورت معکوس برای تولید انرژی الکتریسیته در خطوط انتقال آب شهر تهران که به دلیل اختلاف ارتفاع مناطق علاوه بر فشار خود سیال واحد ارتفاع نیز بر آن اثر میگذارد و ما در این بررسی می‌خواهیم از این نوع توربین ها برای افت فشار موردنیاز خطوط نیز استفاده کنیم.

اهداف پژوهش:

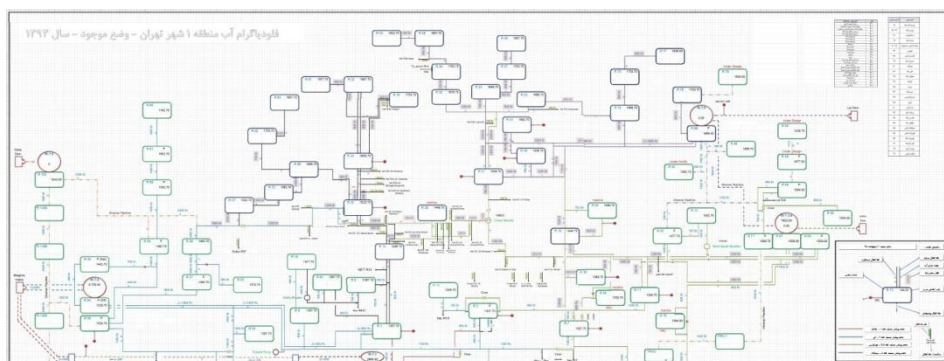
- استفاده از توربین هیدرو کوئل جهت بازیافت انرژی جنبشی خطوط انتقال آب شهر تهران.
- استفاده از توربین هیدروکوئل به عنوان شیر فشار شکن و همچنین تبدیل انرژی جنبشی آب به انرژی الکتریکی.
- تولید برق توسط نیروگاه های برق آبی پراکنده

اهداف ویژه:

- کاهش هزینه تمام شده هر کیلووات میکرو نیروگاه آبی با استفاده از توربین هیدرو کوئل.
- استفاده از توربین هیدرو کوئل به عنوان شیر فشار شکن جهت کاهش فشار خطوط انتقال آب شهری و تولید برق.
- ساخت نیروگاه های پراکنده در سطح شهر تهران جهت استحصال انرژی برق .

۳-۲- روش انجام پژوهش

برای دستیابی به اهداف مد نظر، ما از روش شبیه سازی برای بررسی مسئله استفاده می کنیم که داده های مورد نیاز را از منابع رسمی اجرایی از جمله شرکت آب وفاضلاب منطقه ای استان تهران و چند سایت اطلاع رسانی دیگر استفاده میکنیم که یک نمونه از این داده ها در دیاگرام (۱-۳) که دیاگرام جریان سیال در بین ایستگاه های پمپاژ مناطق شهر تهران است ، ارائه کرده ایم.(۳۴)



شکل ۱-۳ دیاگرام جریان منطقه ۱ تهران در سال ۹۳ - (۳۴)

از این رو که میانگین فشار آب در خطوط بین ۴ الی ۲ بار می باشد ما از این نرخ در بررسی فشار و میزان توان خروجی استفاده نمودیم.

و در نهایت داده های خروجی را در فصل بعد تحلیل کرده و در فصل پایانی برای نتیجه گیری به نمونه های شاخص را به بحث میگذاریم.

۳-۳- معادلات حاکم

معادلات حاکم بر جریان سیال، ۴ معادله دارد که یکی معادله پیوستگی است و سه معادله دیگر مومنتوم یا همان معادلات ناویراستوکس است. معادلات ناویر استوکس معادلات دیفرانسیلی هستند که بر خلاف معادلات جبری، رابطه صریح را ما بین متغیرهای مطلوب (سرعت و فشار) برقرار نمی کنند. در عوض آنها روابطی ما بین نرخ ها برقرار می کنند. برای مثال معادلات ناویر استوکس برای مورد ساده از یک سیال ایده آل (ویسکوز و تراکم ناپذیر) می تواند بیان کند که شتاب (نرخ تغییر سرعت) مربوط می باشد به گرادیان (یک نمونه مشتق جزئی) فشار. اما در کل معادلات ناویر استوکس یک مدل کامل و پیچیده ریاضی برای سیالات است و به دلیل همین پیچیدگی فرم کامل آن، حل آن به صورت تحلیلی امکان پذیر نیست. پس از روش های عددی و کامپیوتر می توان کمک گرفت تا بخشی از این معادلات قابل حل شود. البته با توجه داشت که تمامی حل کننده های معادلات ناویراستوکس نیازمند زمان پردازش و حافظه زیادی میباشد، بنابراین برای حل این معادلات به کاهش منابع محاسباتی نیاز داریم که با مقداری ساده سازی تسهیل می یابد. (۲۴)

۳-۳-۱- معادله پیوستگی

یکی از اصول اساسی مکانیک سیالات اصل بقا جرم است که بیان می دارد که جرم نه تولید می شود و نه از بین می رود و هر معادله ی پیوستگی ای را می توان به شکل انتگرالی بیان نمود (به صورت یک انتگرال شار)، که در مورد هر منطقه ی متناهی صادق خواهد بود. همچنین شکل دیفرانسیلی (۳-۱) آن نیز (با استفاده از عملگر دیورژانس) را می توان برای حالت های نقطه ای به کار برد. (۲۴)

شکل دیفرانسیلی:

۳-۱: شکل دیفرانسیلی معادله ی پیوستگی به صورت زیر است:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{j} = \sigma$$

که در آن ∇ نمایانگر دیورژانس t نشانگر زمان پایسته خواهد بود، در غیر اینصورت نقش چشمه و چاه را ایفا میکند. $\sigma = 0$ حالت انتگرالی:

$$\frac{dq}{dt} + \oiint_S \mathbf{j} \cdot d\mathbf{S} = \Sigma$$

۲-۳

۳-۳-۲- معادله مومنتوم

مکانیک سیالات تنها با داشتن معادله پیوستگی مشخص نمی شود بلکه باید اصل بقا اندازه حرکت یا قانون دوم نیوتون را در مورد آن بیان کرد. اندازه حرکت حاصل ضرب جرم در سرعت است و قانون دوم نیوتون بیان میکند که برآیند نیروهایی که بر یک جسم اثر میکند برابر است با تغییرات خالص مومنتوم. (۲۴)

با در نظر گرفتن جریان غیر قابل تراکم و ثابت فرض کردن ضریب ویسکوزیته، شکل معادله ناویراستوکس (۳-۳) به صورت زیر میباشد:

$$\rho \frac{DV}{Dt} = \rho f - \nabla P + \mu \nabla^2 V$$

۳-۳

μ - ویسکوزیته

F - نیروهای حجمی

P - فشار

V - سرعت

D/Dt - مشتق مادی است و به صورت $\left(\frac{D\varphi}{Dt} = \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \vec{V} \cdot \nabla \varphi \right)$ تعریف میشود.

نوشتن معادلات حرکت در جریان آشفته:

ابتدا معادلات را برای کمیت های لحظه ای، یعنی کمیت های متوسط بعلاوه کمیت های نوسانی می نویسیم. آنگاه از طرفین هر معادله متوسط گیری زمانی به عمل می آوریم.

البته در این رابطه باید به این نکته توجه نمود که چنانچه تساوی برای معادلات لحظه ای برقرار باشد، این تساوی برای متوسط زمانی آن (برای دامنه مشخصی از زمان) نیز برقرار خواهد بود. در نهایت معادلات را ساده سازی کرده تا جایی که کمیت های متوسط زمانی ظاهر گردند. (۲۴)

معادله پیوستگی برای جریان آشفته:

برای جریان تراکم پذیر (۳-۴):

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \bar{u}_i) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho' u_i') = 0$$

۳-۴

برای جریان تراکم ناپذیر از آنجایی که $\rho' = 0$ می باشد، معادله فوق به صورت زیر درخواهد آمد:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0$$

معادلات مومنتوم برای جریان آشفته (۳-۵):

$$\rho \left[\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right] = \bar{B}_i - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} - \rho \overline{u_i' u_j'} \right]$$

۳-۵

تنها تفاوت معادله مومنتوم فوق با معادله مومنتوم با کمیت های لحظه ای اضافه شدن عبارت آخر در سمت راست معادله یعنی $\rho \overline{u_i' u_j'}$ می باشد. این عبارت را اصطلاحاً تنش آشفتگی یا تنش رینولدز می گوئیم. تنها تفاوت معادلات جریان آرام با آشفته فقط حضور همین عبارت است. به طور کلی این عبارت از نظر فیزیکی یک تنش نمی باشد بلکه بانگر اثر تبادل اینرسی (مومنتوم) می باشد. قابل ذکر از که این عبارت از سمت چپ معادله مومنتوم یعنی جایی که با روابط اینرسی سر کار داریم به سمت راست منتقل شده است و ریشه و بنیان آن از جنس اینرسی مومنتوم می باشد. (۲۴)

با گسسته سازی معادلات حاکم بر جریان در حجم کنترل ها معادلات دیفرانسیل پاره ای به یک دستگاه معادلات جبری تفکیک می شوند و سپس تمام این دستگاه معادلات به صورت عددی حل می شوند تا میدان حل بدست آید. (۲۴)

۳-۳-۳- جریان های تراکم پذیر

اگر چگالی جریان هوا در همه نقاط میدان سیال ثابت نباشد جریان تراکم پذیر است، که تاثیرات تراکم پذیری در جریان های گازی با سرعت های بالا با تغییرات زیاد فشار ($\Delta P/P$) روبرو می گردد، مانند حالتی که سرعت جریان به سرعت صوت گاز برسد یا از آن تجاوز کند. با تغییر فشار چگالی گاز تغییر نموده و تاثیر قابل ملاحظه ای بر سرعت، فشار و دمای جریان دارد. جریان های تراکم پذیر مجموعه ای از ویژگی ها در فیزیک جریان ایجاد می کند که باید الزامات ورودی خاصی در تکنیک های حل کردن آنها کاملاً رعایت کرد. جریان های تراکم پذیر را می توان با استفاده از عدد ماخ (۳-۶) طبقه بندی کرد: (۲۵)

$$M = v / \alpha \quad ۶-۳$$

α : سرعت صوت و v : سرعت جریان

$$\alpha = \sqrt{\gamma RT} \quad ۷-۳$$

که γ نسبت گرمای ویژه یعنی (C_p/C_v) است

زمانی که عدد ماخ بیشتر از یک باشد مافوق صوت و زمانی که مساوی باشد سرعت صوت و زمانی که کمتر از یک باشد جریان مادون صوت خوانده میشود. در اعداد ماخ کمتر از یک می توان از تاثیرات تراکم پذیری چشم پوشی کرد و تغییر چگالی گاز با فشار را می توان در مدل سازی نادیده گرفت، از آنجا که مدل ما برای سرعت های پایین تعبیه شده است پس با مدل های تراکم ناپذیر کار می کنیم. انسیس فلوئنت طیف وسیعی از قابلیت های جریان تراکم پذیری و تراکم ناپذیر را ارائه می دهد.

با اینکه جریان های تراکم پذیر به حیطة کاری ما مربوط نمى شود اما قابل ذکر است که جریان های تراکمی معمولاً با فشار کل و دمای کل جریان مشخص می‌شوند. برای گازهای ایده آل می‌توان این معادلات را با فشار و دمای ثابت مرتبط نمود (۳-۸): (۲۵)

در صورتی که C_p ثابت باشد معادله به شکل دو فرم آخر در می‌آید:

$$\frac{P_0}{P} = \exp\left(\int_T^{T_0} \frac{C_p}{T} dT\right)$$

$$\frac{P_0}{P} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

$$\frac{T_0}{T} = 1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2$$

۳-۸

و از آن جا که در انسیس فلونت جریان های تراکم پذیر توسط توسط معادلات مومنتوم و پیوستگی استاندارد حل شده برای حل نیازی به فعالسازی مدل های فیزیکی خاص نیست (بجز رفتار تراکمی چگالی). (۲۵)

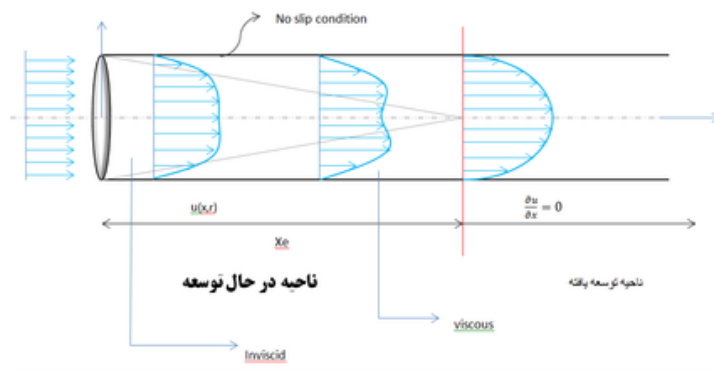
۳-۳-۴- جریان آرام

در جریان آرام سیال بصورت لایه لایه حرکت می کند و هر لایه ی سیال به آرامی بر روی لایه مجاور می لغزد و بین دو لایه فقط تبادل مومنت مولکولی وجود دارد. از همین روی در جهت توصیف این جریان از واژه Laminar به معنای طبقه طبقه شده استفاده می‌گردد و از آنجا که جریان آرام از لحاظ ماکروسکوپییک منظم است. بردار سرعت جریان آرام : (۲۵)

$$\mathbf{V} = u\mathbf{i}$$

فقط یک مولفه برداری دارد

۳-۳-۵- جریان سیال در لوله



شکل ۳-۲ پروفیل جریان در لوله

با فرض جریان توسعه یافته المانی از سیال با عمق b را انتخاب کرده و بقای تکانه خطی در راستای x را بررسی می کنیم در نهایت بعد از انتگرال گیری با اعمال شرایط مرزی مطابق با فرض جریان توسعه یافته ثابت های انتگرال گیری را بدست می آوریم (۳-۹). (۲۵)

طبق رابطه تکانه خطی در راستای x :

$$(\dot{m}V_x)_{in} - (\dot{m}V_x)_{out} + \sum f_x = 0$$

$$\dot{m} = \rho b \int u(y) dy$$

$$(\dot{m}V_x)_{in} = (\dot{m}V_x)_{out} = \rho b \int u^2(y) dy \rightarrow \sum F_x = 0$$

$$\sum f_x = (P_x - P_{x+dx})b dy + (\tau_{y+dy} - \tau_y)b dx = 0$$

$$-\frac{dP}{dx} + \frac{d\tau}{dy} = 0$$

۳-۹

طبق رابطه تنش برشی و لزجت سیال:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

$$\frac{d^2 u}{dy^2} = \frac{1}{\mu} \frac{dP}{dx} = -G$$

با دو بار انتگرال گیری پی در پی داریم:

$$u(y) = -\frac{G}{2}y^2 + c_1y + c_2$$

با جایگذاری شرایط مرزی در رابطه فوق:

$$y = 0 \rightarrow u = 0 \rightarrow c_2 = 0$$

$$y = h \rightarrow u = 0 \rightarrow c_1 = \frac{G}{2}h$$

$$u(y) = \frac{G}{2}y(h-y)$$

$$y = \frac{h}{2} \rightarrow u = u_{\max} \rightarrow u_{\max} = u\left(\frac{h}{2}\right) = G\frac{h^2}{8}$$

$$\rightarrow G = \frac{8u_{\max}}{h^2}$$

$$\rightarrow u(y) = 4u_{\max}\left(\frac{y}{h}\right)\left(1 - \frac{y}{h}\right)$$

$$\rightarrow u_{\max} = \frac{-1}{8\mu} \frac{dp}{dx} h^2 = \frac{p_1 - p_2}{8\mu L} h^2$$

با جایگذاری سرعت ماکزیمم از رابطه قبلی سرعت متوسط (۳-۱۰) در کانال بدست خواهد

آمد:

$$\bar{u} = \frac{1}{h} \int_0^h u(y) dy = \frac{2}{3} u_{\max} = \frac{p_1 - p_2}{12\mu L} h^2$$

۳-۱۰

چون که از ابتدا عمق را واحد فرض کرده بودیم در اینجا b را برای همگنی ابعادی (۳-۱۱)

در روابط قرار می دهیم: ۳-۱۱

$$Q = \bar{u} A = \frac{-GH^3b}{12\mu}$$

$$\frac{dp}{dx} = \frac{-12\mu}{H^2} \bar{u}$$

$$\Delta p = -\Delta x \frac{dp}{dx}$$

$$\rightarrow \Delta p = \frac{12\mu \bar{u} L}{H^2} = f \frac{L}{D_H} \times \frac{1}{2} \rho u^2$$

$$D_h = \frac{4A}{p}$$

برای سطح مقطع مستطیلی (۳-۱۲) داریم :

$$D_H = \frac{4bH}{2(b+H)} = 2H$$

$$f = \frac{12L\mu\bar{u}}{H^2 \frac{L}{2A} \frac{1}{2} \rho \bar{u}^{-2}} = \frac{48\mu \times 2}{\rho u \times 2H} = \frac{96\mu}{\rho u D_H} = \frac{96}{Re_{(D_H)}}$$

۳-۱۲

۳-۴- معرفی نرم افزار حلگر

۳-۴-۱- دینامیک سیالات محاسباتی

دینامیک سیالات نام یکی از شاخه های بسیار پرکاربرد و وسیع مکانیک سیالات است. موضوع مورد مطالعه در این زمینه از علوم چگونگی رفتار مایعات و گازها به هنگام حرکت تحت اثر عوامل گوناگون می باشد. دینامیک سیالات محاسباتی (Computational Fluid Dynamics) یا سی اف دی (CFD) یکی از بزرگترین زمینه‌هایی است که مکانیک با شیوه های قدیم را به علوم کامپیوتر و توانمندی‌های نوین محاسباتی آن در نیمه ی دوم قرن بیستم و در سده ی جدید میلادی وصل می‌کند. دینامیک سیالات محاسباتی علم پیش‌بینی جریان سیال، انتقال حرارت، انتقال جرم، واکنش‌های شیمیائی و پدیده‌های وابسته به آن به وسیله حل معادلات ریاضی، که قوانین فیزیکی را بیان می‌کنند، با استفاده از یک فرآیند عددی است.

این معادلات شامل موارد زیر می‌باشد:

- بقای جرم (پیوستگی)
- بقای مومنتوم خطی (قانون دوم نیوتن)
- بقای انرژی (قانون اول ترمودینامیک)

در این روش با تبدیل معادلات دیفرانسیل پاره‌ای حاکم بر سیالات به معادلات جبری امکان حل عددی این معادلات فراهم می‌شود، که این تبدیل یا گسسته سازی به ۳ روش زیر انجام می‌گیرد:

- روش تفاضل محدود
- روش حجم محدود
- روش المان محدود

در میان این روش‌ها، روش حجم محدود کاربرد بیشتری به خصوص در مدل سازی جریان‌های تراکم ناپذیر دارد. بیشتر نرم‌افزارهای تجاری در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی نیز بر مبنای این روش بسط و توسعه یافته‌اند. از آنجا که ما نیز از این روش برای حل پروژه استفاده کرده‌ایم قابل ذکر است که در روش حجم محدود، معادلات عمومی بقا در شکل انتگرالی استفاده می‌گردد. پس در آن محدوده حل به تعداد معینی حجم کنترل مجاور هم تقسیم شده و معادلات در آن محدود می‌گردد. کمیت‌ها در مرکز گره‌ها محاسبه شده و جهت به دست آوردن مقادیر روی سطوح باید میانبایی انجام گیرد. قابل ذکر است که روش حجم محدود برای تمام هندسه‌ها از جمله هندسه‌های پیچیده کاربرد دارد. (۲۶)

حلگرهای انسیس فلوئنت (Ansys Fluent) مبتنی بر روش حجم محدود می‌باشند. در روش حجم محدود دامنه حل باید به مجموعه محدودی از حجم کنترل‌ها تجزیه شود و سپس معادلات بقا برای جرم، مومنتوم و انرژی در این مجموعه کنترل‌ها حل شود

۳-۴-۲- نمای کلی حل مسائل به وسیله CFD

برای مدل سازی به روش cfd ابتدا باید اهداف مساله تعیین گردد، سپس دامنه مدل سازی مشخص شود و در نهایت با تقسیم ناحیه مورد نظر برای تحلیل به المان های کوچک تر (مش بندی) و تبدیل ناحیه کلی به مجموعه ای از حجم کنترل ها و اعمال شرایط مرزی برای گره های مرزی و دیگر تنظیمات فیزیک مسئله مانند: ویژگی مواد، ویژگی دامنه و... و در آخر با تعریف تنظیمات حلگر (روش های عددی، کنترلر همگرایی و...) می توان مسئله را حل کرد. در پایان کار نتایج استخراج شده از پردازش را مورد بحث قرار می دهیم.

در cfd با اعمال تقریب هایی یک دستگاه معادلات خطی بدست می آید که با حل این دستگاه معادلات جبری، میدان سرعت، فشار و دما در ناحیه مورد نظر بدست می آید. با استفاده از نتایج بدست آمده از حل معادلات می توان برآیند نیروهای وارد بر سطوح، ضرایب برا و پسا و ضریب انتقال حرارت را محاسبه نمود. انسیس فلوئنت (Ansys Fluent) یک نرم افزار کامپیوتری دینامیک سیالات محاسباتی چند منظوره برای شبیه سازی عددی جریان سیال، انتقال حرارت و واکنش شیمیایی می باشد که تمام نیاز های ما برای حل مسئله که در بالا گفته شد را مرتفع می سازد. با توجه به محیط مناسب نرم افزار جهت تعریف مساله و شرایط های پیچیده، تعریف شرایط مرزی گوناگون و حل مسائل پیچیده شامل تاثیر پدیده های مختلف به کمک این نرم افزار قابل حل می باشد. این نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی با زبان برنامه نویسی C نوشته شده است و از تمامی توان و قابلیت انعطاف این زبان بهره میبرد. نهایتاً فلوئنت با استفاده از حافظه دینامیک، ساختار مناسب داده ها و اطلاعات و کنترل انعطاف پذیر، محاسبات را ممکن می سازد. مدلسازی جریان های دائم و غیر دائم، جریان لزج و غیر لزج، احتراق، جریان مغشوش، حرکت ذرات جامد و قطرات مایع در یک فاز پیوسته و ده ها قابلیت دیگر Ansys Fluent را تبدیل به یک نرم افزار بسیار قوی و مشهور در دینامیک سیالات محاسباتی نموده است. اکنون روش دینامیک محاسباتی سیالات جای خود را در میان روش های آزمایشگاهی و تحلیلی برای تحلیل مسائل سیالات و انتقال حرارت باز کرده است و استفاده از این روش ها برای انجام تحلیل های مهندسی امری عادی شده است. در واقع

تحلیل‌های دینامیک سیالات محاسباتی مکمل آزمایشات و تجربیات بوده و مجموع تلاش‌ها و هزینه‌های مورد نیاز در آزمایشگاه را کاهش می‌دهد. دینامیک محاسباتی سیالات بصورت گسترده در زمینه‌های مختلف صنعتی مرتبط با سیالات، انتقال حرارت و انتقال مواد به کمک سیال بکار گرفته می‌شود.

۳-۴-۳- تعیین اهداف مدل سازی با CFD

برای مدل سازی با cfd قبل از هر چیز باید اهداف را مشخص نمود. برای این امر باید به سوالات زیر پاسخ دهیم:

- دنبال چه نتایجی هستیم؟
- چه مدل فیزیکی باید در تحلیل شما به کار رود (مثلا توربولانس، آرام، تشعشع یا.....)؟
- چه فرضیات ساده کننده ای باید داشته باشیم؟
- چه فرضیات ساده کننده ای می‌توانیم ایجاد کنیم (مثلا تقارن یا تناوب)؟
- آیا نیاز به تعریف توابع تعریف توسط کابر در Ansys Fluent می‌باشد؟
- چه دقتی در نتایج مورد نیاز است؟
- در چه مدت زمانی می‌خواهید نتایج را بدست آورید؟
- آیا cfd ابزار مناسبی است؟

۳-۴-۴- مدل viscous-laminar

این مدل پیش فرض نرم افزار انسیس فلوئنت است که به بررسی جریان های لزج در حالات آرام می‌پردازد و در خیلی از مواقع نتایج آن بسیار عالی است ولی در جریان های مهندسی اغلب جریان وارد ناحیه مغشوش می‌شود حتی اگر تحت یک فرمیک مانند نمونه ما باشد که گردابه های پشت سازه حرکت فرمی مشخصی دارند و به صورت نقطه ای در یک

سرعت ثابت قابل پیش‌بینی حدودی هستند. اما از آنجا که در مدل ما در لوله است و جریان ناآرام است، ما برای حل از مدل $k-\varepsilon$ RNG استفاده میکنیم.

۳-۴-۵- مدل $k-\varepsilon$ RNG normalized group

در این مدل ضرایب $k-\varepsilon$ به جای آنکه از نتایج تجربی به دست آیند به روش تحلیلی با استفاده از تئوری renormalized group محاسبه می‌گردد. این مدل برای جریان‌های ساده ای که توربلانس در حالت تعادل موضعی قرار دارد نتایجی شبیه مدل استاندارد کاپسیلون ارائه می‌دهد. ولی در جریان‌های غیر تعادلی به ویژه جریان‌های دارای چرخش مجدد، این مدل به همراه ضرایب اصلاح شده آن نسبت به مدل استاندارد نتایجی را ارائه خواهد نمود که دارای میزان دیفوژن کمتری باشند. به عبارت بهتر می‌توان اینطور بیان کرد که مقادیر پیش‌بینی شده ویسکوزیته آشفته μ_t خیلی بزرگ نشده و این مزیت بزرگ برای مدل محسوب می‌گردد. این مدل نسبت به مدل استاندارد کاپسیلون دارای مزیت‌های زیر می‌باشد:

- در مدل‌سازی جریان‌های پیچیده برشی، جریان‌های با نرخ کرنش بالا، جریان‌های چرخشی همراه با جدایش بهتر عمل می‌کند.
- در مدل‌سازی جریان‌های گذرا توانایی بالایی دارد.
- انتقال جرم مومنتوم از دیواره در این مدل بهتر پیش‌بینی می‌شود

مدل $k-\varepsilon$ RNG این قابلیت را دارد که با نزدیک شدن به سمت دیواره به صورت کاملاً اتوماتیک، ارتباطی میان ویسکوزیته گردابه (Eddy viscosity) مربوط به نواحی دور از دیواره ایجاد نماید و از همین رو دیگر نیازی به استفاده از توابع دیواره تجربی نخواهد بود.

۳-۴-۶- شرایط مرزی

حل تمام مسائل CFD و شبیه‌سازی‌های سیالاتی با نرم افزارهایی مثل انسیس فلوئنت (Ansys Fluent) منوط به اعمال صحیح مقادیر متغیرهای موجود در گره‌های مرزی می‌باشد.

در مسائل دائمی، فقط شرایط مرزی لازم است و برای مسائل غیر دائمی، اعمال شرایط اولیه برای تمام گره‌های شبکه نیز لازم می‌باشد.

انواع شرایط مرزی در CFD و فلوئنت و شبیه سازی عددی سیالات عبارت‌اند از:

- شرط مرزی ورودی (Inlet)
- شرط مرزی خروجی (Outlet)
- شرط مرزی دیواره (Wall)
- شرط مرزی فشار معلوم (Prescribed Pressure)
- شرط مرزی تقارن (Symmetry)
- شرط مرزی تقارن (Symmetry)
- شرط مرزی تکراری (Periodic)

که در مورد شرایط مرزی ورودی و خروجی و دیواره بیشتر بحث می‌کنیم:

شرایط مرزی ورودی و خروجی:

باید توجه داشت که مرز ورودی و خروجی تعیین کننده خواص جریان سیال است به همین منظور در مرزهای ورودی باید سرعت، فشار یا دما مشخص شود. در شرایط مرزی ورودی و خروجی جریان میتوان سرعت ورودی، فشار ورودی، جریان جرمی ورودی، فشار خروجی، فشار در ناحیه دور، جریان خروجی و.... را تعیین کرد.

شرایط مرزی دیواره WALL:

در جریان های لزج، شرط عدم لغزش در دیواره ها اعمال می‌شود. می‌توان شرایط مرزی دمایی هم روی دیواره ها اعمال کرد. همچنین زبری دیواره میتواند برای جریان‌های آشفته به کار رود. تنش برشی دیوار و انتقال حرارت مبتنی بر میدان جریان محلی، سرعت جابجایی یا دورانی می‌تواند به مرزهای دیوار اعمال گردد.

دیواره متحرک: مرزهای دیواره‌ها می‌توانند ثابت یا متحرک باشند.

شرایط تنش برشی دیواره ها:

- عدم لغزش (no slip)

- تنش برشی مشخص (specified shear)

- ضریب آینه (specularity coefficient)

- تنش مارانگنی (Marangoni stress)

شرط عدم لغزش یعنی سیالی به دیواره می‌چسبد و همانند دیواره حرکت میکند. دو شرط مرزی تنش برشی مشخص و تنش مارانگنی هنگامی استفاده میشود که تنش برشی روی دیواره معلوم باشد. شرایط تنش برشی مشخص اجازه ورود مولفه های تنش برشی را در سه محور به کاربر می‌دهد. شرایط مرزی مارانگنی گرادیان کششی سطحی با مراجعه به دمای سطح می‌باشد. در این حالت باید معادله انرژی حل شود. تنش برشی در دیواره با این معادله (۳-۱۴) مشخص می‌شود:

$$\tau = \frac{d\sigma}{dT} \nabla_x T$$

۳-۱۴

۳-۴-۷- حلگرهای انسیس فلوئنت

دو نوع حلگر در ANSYS FLUENT در دسترس می‌باشند: حلگر مبتنی بر فشار و حلگر مبتنی بر چگالی.

هر دو حلگر می‌تواند در دامنه وسیعی از جریان‌ها استفاده شود ولی در برخی از این موارد، گونه‌ایی از حلگرها می‌تواند بهتر جوابگو باشد. حلگر مبتنی بر فشار برای جریان‌های غیرقابل تراکم و نسبتاً قابل تراکم استفاده می‌شود. در حالی که حلگر مبتنی بر چگالی برای جریان‌های سرعت بالای قابل تراکم استفاده می‌گردد.

حلگر مبنی بر چگالی:

حلگر کوپل شده مبنی بر چگالی (DBCS) هنگامی قابل اجراست که یک کوپلینگ قوی یا مستقل بین چگالی، انرژی، مومنتوم و سایر اجزا وجود داشته باشد. از جمله کاربردهای این حلگر، جریان تراکم‌پذیر با سرعت زیاد، جریان‌های هایپرسونیک و واکنش‌های شوک می‌باشد. دو روش صریح و ضمنی برای حلگر مبتنی بر چگالی وجود دارد. روش ضمنی در

مسائل حالت پایدار دارای همگرایی سریع‌تری نسبت به روش صریح هستند. در حالی که روش ضمنی نیاز به حافظه بیشتری نیز دارد. گزینه ضمنی عموماً بر صریح اولویت دارد زیرا محدوده دقیق‌تری در بازه‌های زمانی دارد. روش ضمنی برای مواردی است که مقیاس مشخصه زمانی جریان با مقیاس زمانی آکوستیک هم مرتبه است (مثلاً: پخش شدن امواج شوک با ماکس بالا)

حلگر مبتنی بر فشار:

دو حلگر منفک (segregated) و کوپل (coupled) برای حلگر مبتنی بر فشار وجود دارد. در حلگر منفک معادلات به صورت مجزا و جداگانه حل می‌گردند ولی در الگوریتم کوپل معادلات مومنتوم، پیوستگی و انرژی و اجزا با هم حل می‌شود. در حلگر کوپل شده مبتنی بر فشار معادلات پیوستگی، مومنتوم، انرژی و اجزا به صورت برداری حل می‌شوند. الگوریتم کوپل دارای سرعت همگرایی بالاتری نسبت به منفک است اما حافظه بیشتری نیاز دارد. حلگر کوپل شده مبتنی بر فشار (PBCS) برای جریان‌های تک فاز قابل اعمال بوده و عملکرد بهتری نسبت به منفک دارد. از آنجا که ما نیز دارای جریان تراکم‌ناپذیر تک فاز هستیم از حلگر‌های مبتنی بر فشار استفاده می‌کنیم.

۳-۴-۸- روش‌های دورن‌یابی

به صورت پیش فرض ANSYS FLUENT مقادیر تفکیک شده اسکالر ϕ در مراکز سلول ذخیره می‌نماید ولی جهت به دست آوردن ترم‌های جابجایی در معادله ناویر-استوکس نیاز به مقادیر ϕ_f روی صفحات می‌باشد. لذا باید این مقادیر از طریق دورنیابی معلوم گردد. این عمل با استفاده از روش‌های upwind انجام خواهد گرفت. به عبارت دیگر متغیرهای میدان (که در مرکز سلول‌ها ذخیره می‌شوند) باید در وجوه حجم‌های کنترل دورنیابی شوند.

روش‌های دورنیابی برای ترم جابجایی در معادله انتقال عبارتند از:

First-Order Upwind: دارای دقت از مرتبه اول است و از سایر روش‌های دورنیابی

ساده‌تر همگرا می‌شود. هنگامی که از این روش استفاده می‌شود مقادیر در صفحه ϕ_f برابر

مقادیر در مرکز سلول ϕ در بالادست جریان می‌باشد. این روش در حلگرهای مبتنی بر فشار و چگالی در دسترس می‌باشد.

Power Law : برای جریان های با رینولدز کمتر از ۵ از مدل مرتبه اول دقیق تر است. برای بدست آوردن مقادیر کمیت ها در صفحات با این روش از حل دقیق استفاده می گردد. این روشی در حلگر مبتنی بر فشار و هنگامی که معادلات اضافی اسکالر در حلگر مبتنی بر چگالی حل می شود در دسترس می باشد.

Second-Order Upwind: با این روش مقادیر در صفحات با استفاده از مدل خطی چند بعدی انجام می پذیرد. این روش دارای دقت مرتبه ۲ است و بویژه برای مش های **tri/tet** یا مشی که با جهت جریان هم جهت نمی باشد ، متناسب تر است و در حلگرهای مبتنی بر فشار و چگالی در دسترس می باشد. که با توجه به اینکه مدل ما دارای مش **tri** است از این روش در نیایی استفاده می کنیم.

First-to-Higher Order Blending : با استفاده از روش های مراتب بالا دقت افزایش خواهد یافت ولی همگرایی سخت تر شده و ناپایداری افزایش خواهد یافت. همچنین روش های مرتبه اول دقت مورد انتظار را نخواهد داشت . برای بدست آوردن دقت بهبود یافته از روش تفکیک فاکتور ترکیب استفاده می گردد.

پس از درخواست فاکتور ترکیب عددی بین صفر تا یک انتخاب می شود . عدد صفر به سمت روش گسسته سازی مرتبه اول پیش می رود و با وارد کردن عدد یک گسسته سازی با مرتبه بالاتر انجام خواهد گرفت. توجه کنید که جهت استفاده از این روش باید یکی از روش های گسسته سازی مرتبه بالا فعال باشد.

Central-Differencing Scheme : روش تفکیکی با دقت مرتبه دوم است که در مدل توربولانس LES قابل استفاده می باشد. این روش دقت حل را در محاسبات LES افزایش می دهد. این روش تنها در حلگر مبتنی بر فشار در دسترس می باشد.

Monotone Upstream-centered Schemes for Conversation Laws (MUSCL)

این روش برای گسسته سازی مرتبه سوم در مش های غیرساختاری و نامنظم استفاده می شود. در جریان هایی که دارای جریان های ثانویه و گردابی هستند دارای دقت بیشتری می باشد. (۲۵)

۳-۴-۹- گرادیان ها

گرادیان متغیرهای حل برای محاسبه ترم های دیفیوژن و مشتقات سرعت و گسسته سازی های مراتب بالاتر مورد نیاز هستند.

گرادیان های متغیرهای حل می توانند با استفاده از سه روش زیر تعیین شوند:
Green-Gauss Cell-Based : روش پیش فرض نرم افزار است. استفاده از این روش در حل ممکن است موجب ایجاد دیفیوژن اشتباه در جریان شود و میدان های جریان را به هم بریزد.

Green-Gauss Node-Based: دقیق تر است و دیفیوژن اشتباه به حداقل می رساند و برای مش های نامنظم و tri/Tet پیشنهاد می شود.

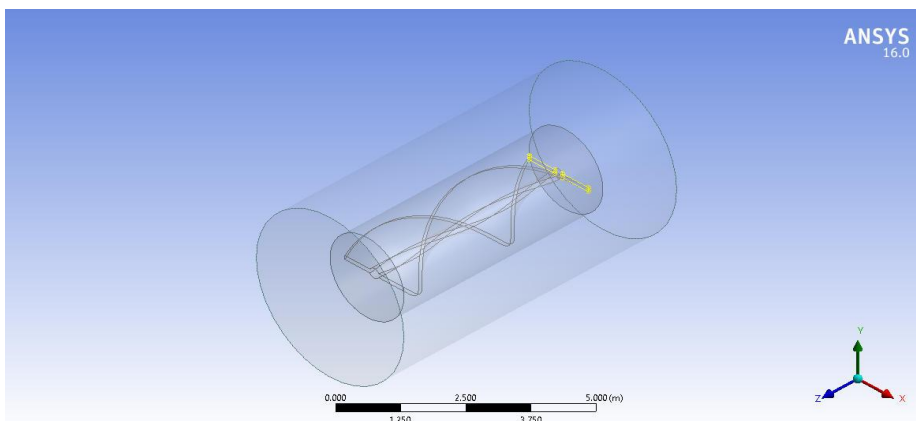
Least-Squares Cell-Based : برای مش های پلی هدرال توصیه می شود. دقتی برابر با دقت

Green-Gauss Node-Based و خواصی مانند گرادیان های گره ای (Node-Based) (Gadian) را دارد ولی زمان محاسباتی آن کمتر است.

گرادیان متغیرهای حل در سطوح با استفاده از بسط سری تیلور چند بعدی محاسبه شدند. گزینه های گرادیان در لیست بازشویی Gadian در منوی Solution methods در دسترس می باشد. به طور کلی ANSYS FLUENT گسسته سازی برای ترم های جابجایی را ارائه می نماید. (به طور اتوماتیک دقت مرتبه دوم برای ترم های ویسکوز استفاده می شود. (۲۴)

۳-۵- معرفی مدل

برای مدل سازی ما نیز از نرم افزار انسیس استفاده کردیم و مدل را به صورت سه بعدی مانند شکل زیر طراحی نمودیم و در ادامه ابعاد سازه را بیان می کنیم.



شکل ۳-۳ مدل توربین در نرم افزار انسیس

Domain Extents:

x-coordinate: min (m) = -2.001561e+00, max (m) = 2.001560e+00

y-coordinate: min (m) = -2.001561e+00, max (m) = 2.001560e+00

z-coordinate: min (m) = -1.200000e+00, max (m) = 6.200000e+00

Volume statistics:

minimum volume (m3): 2.231381e-06

maximum volume (m3): 1.485519e-03

total volume (m3): 9.216044e+01

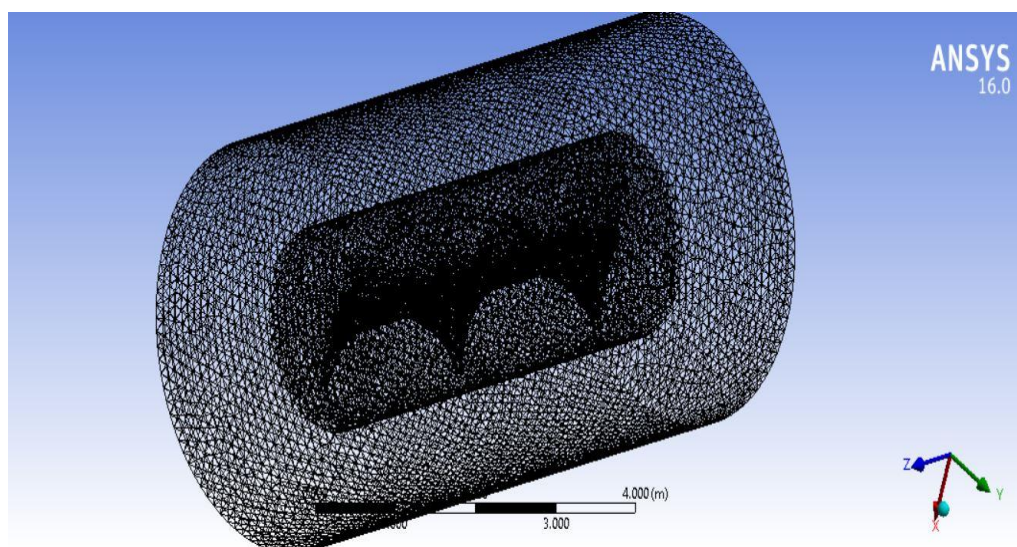
Face area statistics:

minimum face area (m2): 2.976169e-04

maximum face area (m2): 2.817560e-02

سپس با استفاده از ماژول شبکه بندی مدل را مانند شکل (۳-۴) مش بندی کرده و مرز ها

را نام گذاری کردیم



شکل ۳-۴ مدل مش بندی شده

۳-۶-امکان سنجی

در این پژوهش، علاوه بر بررسی و مدل سازی عملکرد توربین هیدروکوئل، به امکان سنجی بهره برداری از این تکنولوژی نیز پرداخته شده است. همانطور که در توضیحات مربوط به عملکرد این سیستم و نیز در اهداف کلی این تحقیق بیان شد، از کاربردهای بسیار مناسب این تکنولوژی، جایگزینی آن با شیرهای فشار شکن مسیر آب می باشند. به این ترتیب با جایگزینی این تکنولوژی، علاوه بر کاهش فشار آب به مقدار مورد نیاز، انرژی الکتریکی نیز تولید می گردد که می تواند برای مصارف گوناگون از جمله اتصال به شبکه برق مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به حجم زیاد آبی که در خطوط لوله انتقال آب جریان دارد، و همچنین تعدد شیرهای فشار شکن در مسیر این خطوط لوله، استفاده از چنین ظرفیتی برای تولید انرژی الکتریکی می تواند بسیار تأثیرگذار و مفید باشد.

اما پیش از بررسی میزان انرژی تولیدی از توربین های هیدروکوئل قرار داده شده در خطوط لوله انتقال آب، باید دید که از نظر فیزیکی و عملیاتی چه تدابیری باید اندیشیده شود و اجرای چنین طرحی از نظر فیزیکی مورد بررسی قرار گیرد.

۳-۶-۱-امکان سنجی فیزیکی

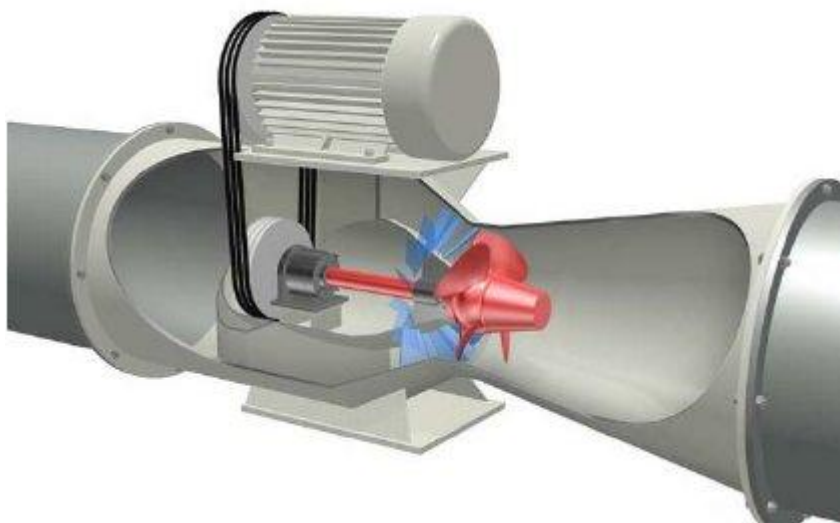
پیش از بررسی های عملکردی توربین های هیدروکوئل، ابتدا نحوه عملکرد آن به صورت عملی باید مورد مطالعه قرار گیرد. با توجه به این موضوع که برای دریافت برق تولیدی و اتصال آن به شبکه توزیع برق نیاز به برقراری اتصالات به صورت کابلی می باشد، محل قرارگیری توربین هیدروکوئل درون لوله باید به صورت مناسب طراحی شده و امکان این اتصالات به صورت فیزیکی را داشته باشد. بنابراین بخشی از لوله که حاوی توربین می باشد، باید با توجه به ابعاد فیزیکی توربین و محل اتصالات آن طراحی شود. شکل زیر نمونه یک لوله حاوی توربین هیدروکوئل و نحوه قرارگیری آن در شبکه خطوط لوله توزیع آب را نمایش می دهد.



شکل ۳-۵ نصب لوله حاوی هیدروکویل (۳۱)

بنابراین امکان بهره گیری از انرژی تولیدی توربین های هیدروکویل زمانی میسر می شود که درون لوله هایی که متناسب با آن توربین طراحی شده اند قرار گیرند. البته، با توجه به اینکه لوله طراحی شده تنها بخش بسیار کوچکی از مجموعه خطوط لوله توزیع آب را تشکیل می دهد، در ابتدا باید ابعاد توربین و لوله مخصوص آن با در نظر گرفتن قطر لوله اصلی در محل قرار گیری تعیین شود (۳۱).

اما نحوه انتقال توان تولیدی توربین به خطوط توزیع برق شبکه نیز بستگی به نحوه طراحی توربین دارد. شکل ۳-۶ حالتی را نشان می دهد که توربین توسط تسمه به ژنراتور متصل می گردد و چرخش توربین باعث چرخش ژنراتور و تولید توان می گردد. سپس توان تولیدی ژنراتور توسط کابل های ارتباطی متصل به ژنراتور، به شبکه توزیع برق منتقل می گردد (۳۱).



شکل ۳-۶ اتصال توربین به ژنراتور توسط تسمه (۳۱)

حالت دیگر تولید توان در شکل زیر نمایش داده شده است.



شکل ۳-۷ اتصال توربین به ژنراتور توسط شفت (۳۱)

در این حالت، توربین و ژنراتور توسط شفت به یکدیگر متصل می گردند. در واقع در این حالت محور توربین و محور ژنراتور یکسان هستند و با چرخشی که توسط جریان آب در محور توربین ایجاد می شود، محور ژنراتور نیز چرخش پیدا می کند و توان تولید می کند.

مجدداً برق تولیدی ژنراتور توسط کابل های ارتباطی به شبکه توزیع برق متصل می گردد (۳۱).

به این ترتیب مشخص گردید که نحوه اجرا و عملیاتی کردن مورد تحقیق در این پژوهش به چه صورت می باشد. در ادامه به بررسی های عملکردی و اقتصادی این سیستم پرداخته می شود.

۳-۶-۲- میزان تولید توان

میزان تولید انرژی الکتریکی توسط توربین های هیدروکوئل به ظرفیت و ابعاد خود توربین، و نیز شرایط و ویژگی های محل قرار گرفتن آن بستگی دارد. بنابراین برای بررسی و محاسبه میزان انرژی تولیدی، باید ابتدا این شرایط را تعیین کرد. برای این منظور، در این تحقیق از داده های مربوط به خطوط لوله انتقال آب شهری شهر تهران استفاده شده است.

با توجه به اینکه در مناطق و مکان های گوناگون شرایط متفاوتی بر جریان آب درون خط لوله حاکم است، و نیز با در نظر گرفتن تعداد بالای شیرهای فشار شکن، امکان مدل سازی این جایگزینی در نرم افزار فلوئنت وجود ندارد. چراکه با توجه به ویژگی های این نرم افزار، تنها عملکرد یک سیستم قابل مدل سازی است و برای حل مسأله ای با چنین ابعادی باید از روش های دیگر بهره گیری کرد. به این ترتیب در این پژوهش از روابط کلی عملکردی حاکم بر توربین های هیدروکوئل بهره گرفته شده است. توسط این روابط می توان میزان انرژی تولیدی هر توربین هیدروکوئل را در هر شرایطی و با دقت بسیار بالا محاسبه کرد.

با توجه به اینکه به طور کلی درون خطوط لوله انتقال آب شرایط پایدار وجود دارد، برای مدل سازی میزان انرژی تولیدی (۳-۱۵) توسط یک توربین هیدروکوئل قرار داده شده درون لوله آب می توان از موازنه کلی انرژی بهره برد (۳۲):

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum_{out} \dot{m} \left(h + \frac{U^2}{2} + gz \right) - \sum_{in} \dot{m} \left(h + \frac{U^2}{2} + gz \right) \quad ۱۵-۳$$

در رابطه موازنه کلی انرژی به تعریف بالا، مقدار گرمای ورودی و کار خروجی با علامت مثبت محاسبه می شوند و مقادیر گرمای خروجی و کار ورودی دارای علامت منفی خواهند بود. اما در توربین هیدروکول انتقال انرژی حرارتی، نه به صورت خروجی و نه به صورت ورودی، وجود ندارد و $\dot{Q} = 0$ می باشد.

با توجه به اینکه دبی جریان آب در طول خط لوله ثابت می باشد، مقدار پارامتر دبی جریان در ورودی و خروجی توربین هیدروکیل نیز یکسان است. در غیر این صورت، در یک سمت توربین تجمع جریان وجود خواهد داشت که طی مدت زمان کوتاهی باعث ترکیدگی لوله خواهد شد (۳-۱۶). بنابراین:

$$\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} = \dot{m} \quad 16-3$$

همچنین توربین هیدروکویل به صورت افقی در خط لوله قرار داده می شود و بنابراین پارامتر مربوط به تغییر ارتفاع از رابطه بالا حذف می گردد (۳-۱۷):

$$\dot{m}(gz_{out} - gz_{in}) = 0 \quad 17-3$$

به این ترتیب، با اصلاح رابطه بالا، رابطه موازنه انرژی مناسب با توربین هیدروکویل قرار گرفته در خط لوله انتقال و توزیع آب شهری به صورت زیر خواهد بود (۳-۱۸):

$$\dot{W} = \dot{m} \left[\left(h + \frac{U^2}{2} \right)_{in} - \left(h + \frac{U^2}{2} \right)_{out} \right] \quad 18-3$$

بنابراین، برای محاسبه میزان توان تولید شده توسط توربین هیدروکویل، باید مقادیر دبی جرمی آب درون خط لوله (\dot{m})، آنتالپی جریان آب در ورودی و خروجی توربین هیدروکویل (h)، و سرعت جریان آب در ورودی و خروجی توربین هیدروکویل (U) مشخص باشند. عموماً در داده های موجود از خطوط لوله توزیع آب شهری، به ویژه در محل هایی که در آن ها از شیر فشار شکن استفاده شده است، پارامتر فشار گزارش می گردد. شکل ۳-۸ نمونه داده های شرکت آب و فاضلاب شهر تهران از شیرهای فشار شکن موجود در خطوط لوله توزیع آب با قطر ۱۶۲ میلیمتر را نشان می دهد.

جدول ۳-۱ بخشی از داده های ارائه شده توسط شرکت آب و فاضلاب تهران برای شیرهای فشار شکن قرار گرفته

در لوله های توزیع آب با قطر ۲۰۰ میلیمتر (۳۳)

ردیف	Z	X	Y	ظرف	واحد	نوع شیر	وضعیت	فشار ورودی	فشار خروجی	آدرس
۱	۱۶۶۲.۴۵۸	۵۳۹۵۳۰.۹۳۱۹	۳۹۶۳۵۰.۹۸۹۳	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۴۷	۳۰	نخجوان - احمد زمانی - اول لاریجانی
۲	۱۶۶۲.۴۵۸	۵۳۹۵۲۸.۹۰۲۸	۳۹۶۳۵۰.۴۰۱۶	۱۵۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۴۰	۲۸	مژده - احمد زمانی - روبروی لاریجانی
۳	۱۵۴۰.۴	۵۳۹۵۱۰.۱۴۸۱	۳۹۶۱۲۱۱.۳۴۶	۲۵۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	خارج از مدار			شریعی - بلوار صبا - نرسیده به بن بست سوم
۴	۱۵۳۷.۴۳۸	۵۳۹۲۳۳.۰۸۵	۳۹۶۱۳۷۰.۸۲۸	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	خارج از مدار			شریعی - مقابل کوچه ایرج - غرب
۵	۱۵۳۸.۲۰۸	۵۳۹۲۴۴.۸۹۰۵	۳۹۶۱۳۸۵.۱۱۳	۴۰۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۵۶	۳۵	شریعی - مقابل کوچه ایرج - شرق
۶	۱۵۱۱.۷۵	۵۴۰۷۵۱.۸۱۷۴	۳۹۶۰۶۸۶.۴۳	۳۰۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۴۵	۳۳	روشنایی - شهاب - روشنندان
۷	۱۵۴۳.۵۱	۵۴۰۳۳۵.۹۲۸۱	۳۹۶۱۲۳۲.۴۶۵	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۶۰	۲۰	قطریه - کاوه - انتهای سعید
۸	۱۵۹۴.۴۴۲	۵۳۹۶۲۲.۹۶۳۳	۳۹۶۲۴۴۸.۵۵۶	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۶۸	۲۳	دزاشیب سه راه دزاشیب نرسیده به هاشمی
۹	۱۷۴۱.۶۲۲	۵۳۹۹۵۷.۰۳۹۷	۳۹۶۳۸۸۱.۵۰۹	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۶۲	۲۰	امام زاده قاسم - یوکان
۱۰	۱۵۷۳.۵۷۴	۵۴۲۰۶۶.۶۶۵۳	۳۹۶۲۳۰.۸۸۸۱	۲۵۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۴۰	۲۰	باهتر - سعیدی - ابتدای مهمانکده
۱۱	۱۵۹۸.۷۴۴	۵۴۲۰۷۷.۹۰۹۳	۳۹۶۲۳۷.۴۶۷	۲۵۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۷۵	۲۰	باهتر - سعیدی - پایین تر از رحمانی
۱۲	۱۵۴۰.۷۷	۵۴۲۳۱۱.۹۰۹۱	۳۹۶۱۸۳۷.۰۲۳	۲۵۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۳۵	۳۵	فرمانیه نیش سبتل
۱۳	۱۷۴۹.۲۵۵	۵۴۲۸۱۴.۵۱۶۱	۳۹۶۰۵۲.۷۹۷	۱۵۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۵۵	۲۰	خداوردی سلطان پور افشار
۱۴	۱۵۰۹.۷	۵۳۹۳۱۰.۲۳۹۷	۳۹۶۰۵۹۸.۵۵۱	۱۵۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۶۳	۲۶	تقاطع خ شریعی و خ میرزاپور
۱۵	۱۴۸۵.۵۵	۵۳۹۱۴۷.۱۶۰۸	۳۹۶۰۲۲۰.۹۹۱	۱۵۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	بسته			شریعی - الهیه - خزر
۱۶	۱۵۳۶.۱۳	۵۴۲۸۵۱.۳۹۷۳	۳۹۶۱۴۸۲.۲۴۹	۳۰۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۴۳	۳۰	پاسداران آذرین - کوستان هشتم - آذر مینا
۱۷	۱۵۳۶.۸۳	۵۴۲۹۱۱.۲۰۰۵	۳۹۶۱۶۹۵.۹۱۶	۳۰۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۳۸	۲۴	پاسداران - نیش کوستان ۱۱ (فرمانیه آژانس)
۱۸	۱۵۷۳.۶۹	۵۴۰۱۰۹.۴۸۳۱	۳۹۶۲۳۶۳.۷۴	۱۵۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۳۵	۳۰	خ گرمی - سر کوچه فدایی علوی
۱۹	۱۵۹۶.۱۵۷	۵۳۹۶۵۸.۱۴۲۲	۳۹۶۲۴۶۲.۵۳۷	۴۰۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۷۰	۲۴	دزاشیب سه راه دزاشیب نرسیده به عابد تهرانی
۲۰	۱۵۳۳.۴۳	۵۴۳۰۰۱.۰۷۸۲	۳۹۶۱۴۰۸.۴۳۱	۲۵۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۴۵	۳۵	پاسداران نیش کوستان هشتم - نیش کوستان هشتم
۲۱	۱۵۲۸.۲	۵۴۳۳۳۶.۹۴۲۵	۳۹۶۱۵۳۷.۲۸۵	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	خارج از مدار			نارنجستان یکم مقابل مخزن ۴۰ - نارنجستان یکم - مقابل مخزن ۴۰
۲۲	۱۵۶۶.۸۸۶	۵۴۳۰۵۰.۶۳۹۷	۳۹۶۲۱۹۱.۶۴۳	۲۵۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	خارج از مدار			اقدسیه خ بوستان م ک ناز
۲۳	۱۶۴۶.۸۹۵	۵۴۳۷۴۰.۵۸۳۸	۳۹۶۳۱۱۳.۸۱۲	۱۵۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۴۲	۲۴	سیاری ابتدای ارومیان سیمه
۲۴	۱۶۷۵.۴۳۳	۵۴۳۲۷۸.۴۳۷۱	۳۹۶۳۴۹.۷۹۹	۱۵۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۷۰	۴۰	کاشانک - یاقریان
۲۵	۱۶۸۲.۸۵۹	۵۴۳۱۸۸.۱۴۵۵	۳۹۶۳۴۲۱.۶۰۵	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	خارج از مدار			باهتر - یور انتهاج - میدان کاشانک
۲۶	۱۷۱۴.۴۳۴	۵۴۴۰۳۵.۳۶۵۷	۳۹۶۳۶۷۹.۳۰۵	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۳۲	۳۲	پور انتهاج - ابتدای افشاری
۲۷	۱۷۳۸.۸۵۸	۵۴۳۱۰۲.۴۴۸۱	۳۹۶۳۹۱۹.۲۴	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۶۸	۲۵	کاشانک - انتهای خداوردی - نیش آراسته
۲۸	۱۷۴۷.۳۵	۵۴۳۱۰۰.۹۰۴۷	۳۹۶۴۰۰۳.۸۴۸	۳۰۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۶۰	۱۵	کاشانک - انتهای خداوردی - زیر مخزن ۳۷
۲۹	۱۶۸۱.۲۲۲	۵۴۲۵۲۹.۲۷۳۱	۳۹۶۳۵۵۵.۶۶۸	۱۵۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۷۰	۲۵	باهتر - جلی - نرسیده به لاجوردی
۳۰	۱۶۷۸.۸۵۴	۵۴۳۶۴۳.۹۵۱۷	۳۹۶۳۵۸۶.۵۸۲	۳۰۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۷۰	۲۵	باهتر - پیروز شقیعی - بالاتر از عسگری
۳۱	۱۷۰۶.۲۷۴۷	۵۴۷۴۰۰.۹۷۶۷	۳۹۶۱۳۳۲.۸۷۵	۵۰۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۴۳	۴۰	لشکرک ابتدای سوهانک
۳۲	۱۶۹۴.۷۱	۵۴۷۷۴۴.۱۳۷۵	۳۹۶۱۳۴۹.۸۲۱	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۳۷	۲۲	ارتش شهرک یاس بین دوم و سوم
۳۳	۱۷۰۶.۳۶	۵۴۷۷۸۴.۱۵۷	۳۹۶۱۴۴۴.۲۴۵	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۳۲	۲۱	ارتش شهرک یاس بین سوم و چهارم
۳۴	۱۷۵۶.۸۹۹	۵۴۸۴۵۷.۰۲۱	۳۹۶۱۸۱۸.۵۱۳	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۴۵	۲۳	ارتش انتهای شهرک لاله
۳۵	۱۷۰۵.۴	۵۴۷۳۱۹.۹۶۷۱	۳۹۶۱۹۰۸.۹۷۲	۲۵۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	خارج از مدار			شهرک قائم خ محمدی فر
۳۶	۱۶۴۰.۶	۵۴۵۸۶۸.۴۰۹۳	۳۹۶۲۱۳۰.۸۳۵	۱۵۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	خارج از مدار			محلای - وزارت امور خارجه - سیچ غربی
۳۷	۱۶۵۱.۳۰۶	۵۴۴۹۳۰.۵۲۲۹	۳۹۶۳۳۵۰.۴۸	۲۵۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	فعال	۹۳	۲۴	دارآباد - هاشمی - نزدیک بیمارستان ۵۰۵
۳۸	۱۵۶۵.۳۳	۵۴۴۷۸۸.۳۳۹۶	۳۹۶۱۸۲۲.۳۶۶	۵۰۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	خارج از مدار			بلوار ارتش - هاشم از گلی - روبروی کوچه ۱
۳۹	۱۵۵۲.۱۵	۵۳۹۹۸۴.۱۴۵۶	۳۹۶۰۸۵۷.۹۴۸	۲۵۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	خارج از مدار			میرزاپور - قلندری - زوین
۴۰	۱۵۳۷	۵۴۱۶۴۷.۴۷۰۷	۳۹۶۱۷۱۹.۱۰۶	۴۰۰	میلیمتر	شیر فشار شکن	خارج از مدار			بازدار دژم جو

همانطور که در شکل ۸-۳ مشاهده می شود، تنها داده فرآیندی ارائه شده، مربوط به مقدار

فشار در ورودی و خروجی شیرهای فشار شکن می باشند. بنابراین با در نظر گرفتن جایگزینی

توربین هیدروکویل با شیر فشار شکن، برای یافتن مقادیر دبی جرمی آب درون خط لوله و

آنتالپی جریان آب در ورودی و خروجی توربین هیدروکوئل، باید از سایر روابط سیالاتی استفاده کرد.

در مورد پارامتر آنتالپی جریان آب می توان از جداول بخار (Steam Table) مربوط به سیال آب استفاده کرد. با داشتن مقادیر فشار و دمای جریان آب، می توان مقدار آنتالپی آن را توسط جداول بخار آب تعیین کرد. مقدار فشار در ورودی و خروجی توربین هیدروکوئل با استفاده از داده های موجود مشخص می باشد. دمای آب جاری در خطوط لوله نیز به طور میانگین برابر با ۲۰ درجه سانتی گراد می باشد. به این ترتیب برای تمامی محل های قرار گیری توربین های هیدروکوئل، مقادیر آنتالپی در ورودی و خروجی توربین بدست می آیند. اما با توجه به تعداد بالای این نقاط، محاسبه دستی بسیار زمان بر است. به همین دلیل در این پژوهش از نرم افزار EES (Engineering Equation Solver) استفاده شده است که دارای کتابخانه بسیار جامع و کاملی از خواص ترمودینامیکی مواد مختلف از جمله آب می باشد. به وسیله این نرم افزار می توان برای تعداد حالات نامحدود، مقدار آنتالپی جریان را با استفاده از مقادیر دما و فشار آن، به سرعت دست آورد. نمونه محاسبات انجام شده در این نرم افزار در فصل نتایج ارائه خواهند شد.

از سایر پارامترهای ترمودینامیکی موجود در این نرم افزار برای محاسبه دبی جرمی سیال نیز می توان بهره گرفت. می دانیم که دبی جرمی و دبی حجمی یک سیال توسط به صورت معادله (۳-۱۹) زیر با یکدیگر در ارتباط هستند (۳۳):

$$\dot{m} = \rho \dot{V} \rightarrow \dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad ۱۹-۳$$

از طرف دیگر بر اساس یکی از نتایج معادله برنولی در یک نقطه از جریان درون لوله (۳۶):

$$P = \frac{\rho}{2} \left(\frac{\dot{V}}{A} \right)^2 \quad ۲۰-۳$$

با ترکیب دو معادله فوق برای جریان ورودی به شیر فشار شکن و یا توربین هیدروکوئل:

$$P_{in} = \frac{\rho_{in}}{2} \left(\frac{\dot{m}_{in}}{A} \right)^2 \quad ۲۱-۳$$

و بنابراین:

$$P_{in} = \frac{\rho_{in}^3}{2A^2} \times \frac{1}{\dot{m}^2} \rightarrow \dot{m} = \frac{1}{A} \sqrt{\frac{\rho_{in}^3}{2P_{in}}} \quad ۲۲-۳$$

به همین ترتیب در خروجی توربین:

$$\dot{m} = \frac{1}{A} \sqrt{\frac{\rho_{out}^3}{2P_{out}}} \quad ۲۳-۳$$

هر دو رابطه بالا به نتیجه یکسانی خواهند رسید. به این ترتیب تنها با مشخص کردن مقدار چگالی جریان آب، می توان مقدار دبی جریان در دو طرف توربین را نیز محاسبه کرد. مقدار چگالی آب نیز جزء ویژگی های ترمودینامیکی آن می باشد و مانند آنتالپی، با داشتن مقدار دما و فشار، توسط نرم افزار EES به راحتی به دست می آید.

اما برای محاسبه میزان توان تولیدی، مقدار سرعت جریان آب در دو طرف توربین نیز باید محاسبه و تعیین شود. با استفاده از روابط سیالاتی می دانیم که دبی جرمی جریان برابر است با حاصلضرب چگالی در سرعت در سطح مقطع جریان (۳۳):

$$\dot{m} = (\rho UA)_{in} = (\rho UA)_{out} \quad ۲۴-۳$$

با ترکیب سه رابطه قبلی، مقدار سرعت جریان نیز قابل محاسبه است:

$$(\rho UA)_{in} = \frac{1}{A} \sqrt{\frac{\rho_{in}^3}{2P_{in}}} \rightarrow U_{in} = \frac{1}{A^2} \sqrt{\frac{\rho_{in}}{2P_{in}}} \quad ۲۵-۳$$

به همین ترتیب در خروجی توربین:

$$U_{out} = \frac{1}{A^2} \sqrt{\frac{\rho_{out}}{2P_{out}}} \quad ۲۶-۳$$

در نهایت با جایگذاری روابط به دست آمده در فرمول اصلی محاسبه توان تولیدی، مقدار

این پارامتر برای توربین هیدروکوئل برابر خواهد بود با:

$$\dot{W} = \frac{1}{A} \sqrt{\frac{\rho_{in}^3}{2P_{in}}} \times \left\{ (h_{in} - h_{out}) + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{1}{A^2} \sqrt{\frac{\rho_{in}}{2P_{in}}} \right)^2 - \left(\frac{1}{A^2} \sqrt{\frac{\rho_{out}}{2P_{out}}} \right)^2 \right] \right\} \quad ۲۷-۳$$

با ساده سازی رابطه فوق:

$$\dot{W} = \frac{1}{A} \sqrt{\frac{\rho_{in}^3}{2P_{in}}} \times \left[(h_{in} - h_{out}) + \frac{1}{2A^4} \left(\frac{\rho_{in}}{2P_{in}} - \frac{\rho_{out}}{2P_{out}} \right) \right] \quad ۲۸-۳$$

و یا:

$$\dot{W} = \frac{1}{A} \sqrt{\frac{\rho_{out}^3}{2P_{out}}} \times \left[(h_{in} - h_{out}) + \frac{1}{2A^4} \left(\frac{\rho_{in}}{2P_{in}} - \frac{\rho_{out}}{2P_{out}} \right) \right]$$

در روابط بالا مقدار A با توجه به قطر لوله مورد نظر و مقادیر P_{in} و P_{out} با استفاده از داده های موجود مشخص می باشند. مقادیر پارامترهای h_{in} ، h_{out} ، ρ_{in} و ρ_{out} نیز با استفاده از مقادیر P_{in} و P_{out} و نیز دمای آب در خطوط لوله و با بهره گیری از نرم افزار EES تعیین می گردند.

به این ترتیب مطابق با روش ارائه شده در این قسمت، تنها با مشخص کردن ابعاد لوله و مقادیر فشار جریان در دو طرف توربین هیدروکوئل، می توان مقدار توان تولیدی را با استفاده از داده های ترمودینامیکی موجود در نرم افزار EES محاسبه کرد. در فصل بعد، نتایج مربوط به این محاسبات نیز ارائه خواهند شد.

فصل چهارم :

نتایج و بحث

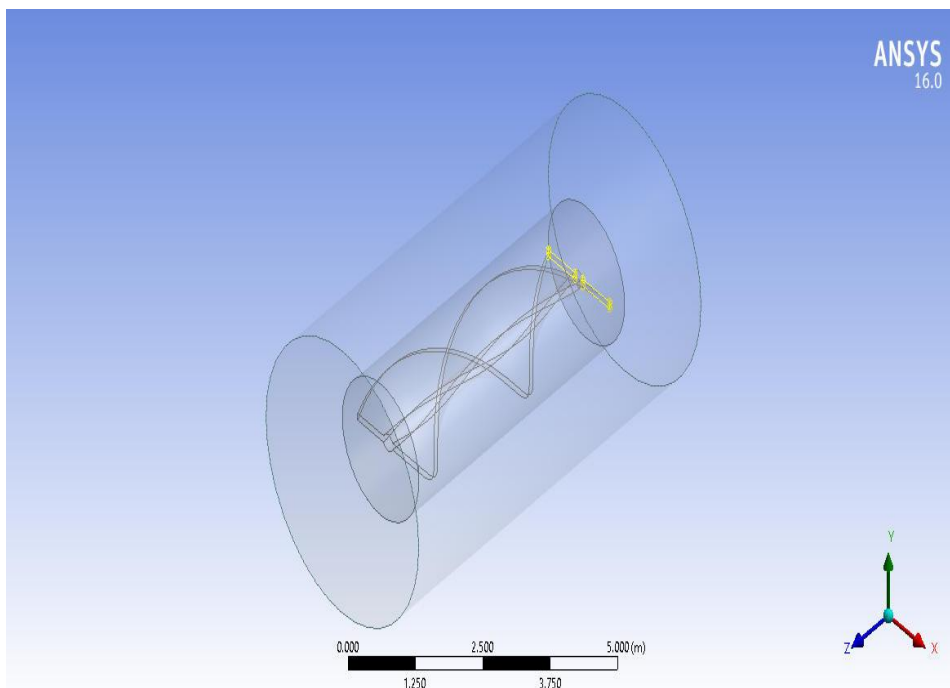
مقدمه:

به دلیل نوسان فشار به دلایل مختلف که پیش از این ذکر شد ما در این فصل بعد از ارائه جزییات طراحی مدل را با دو فشار مختلف ۳ و ۴ بار و خروجی دوبار که کمترین فشار استاندارد خطوط انتقال آب شهری است تحلیل کرده و نتایج آن در قالب کانتورها، وکتورها و نمودارهای فشار، سرعت و ضریب درگ و در نهایت توان خروجی توربین ارائه داده و تحلیل می‌نماییم.

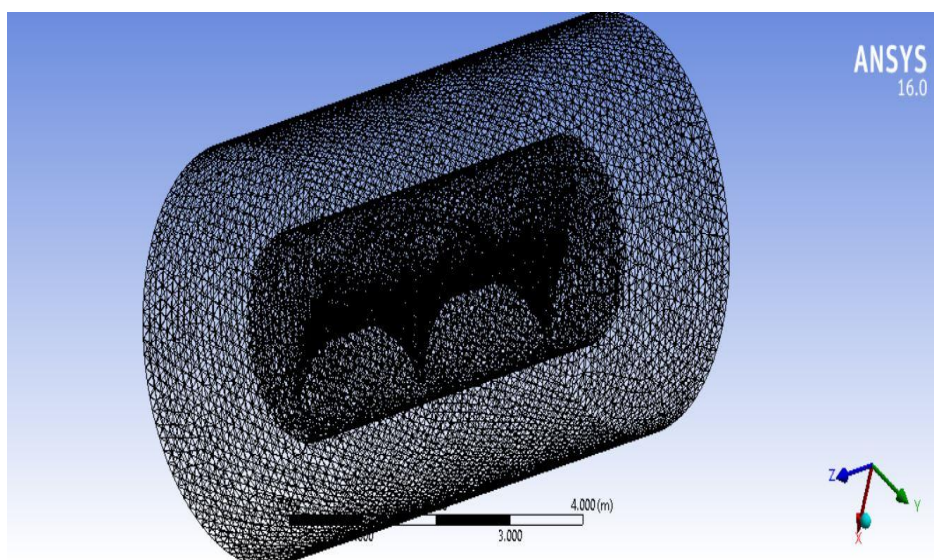
۴-۱- طراحی و تحلیل

برای طراحی مدل ما از قسمت مدلسازی نرم افزار انسیس ورک بنچ بهره گرفتیم که در ابتدا با طراحی مدل سه بعدی در محیط جغرافیای مسئله در دو زون، و تعریف مرزها طرح را به محیط مش انتقال دادیم. قابل ذکر است از دو زون با مرز فرزی (interface contact) استفاده کردیم تا در بخش نمایش رفتار سیال به راحتی قابل تفکیک و تحلیل باشد.

در محیط مش ما شرایط زون ها، متریال و ورودی و خروجی ها را تعریف کردیم، بی دو زون اینترفیس ارتباطی را اعمال کردیم و در نهایت با مش بندی مسئله آن را برای اعمال شرایط مرزی و آنالیز آماده کردیم. که در شکل (۴-۱) و (۴-۲) مدل راحی شده و مدل مش بندی شده را نشان می‌دهیم.



شکل ۴-۱ مدل طراحی شده با مقیاس نمای شپ

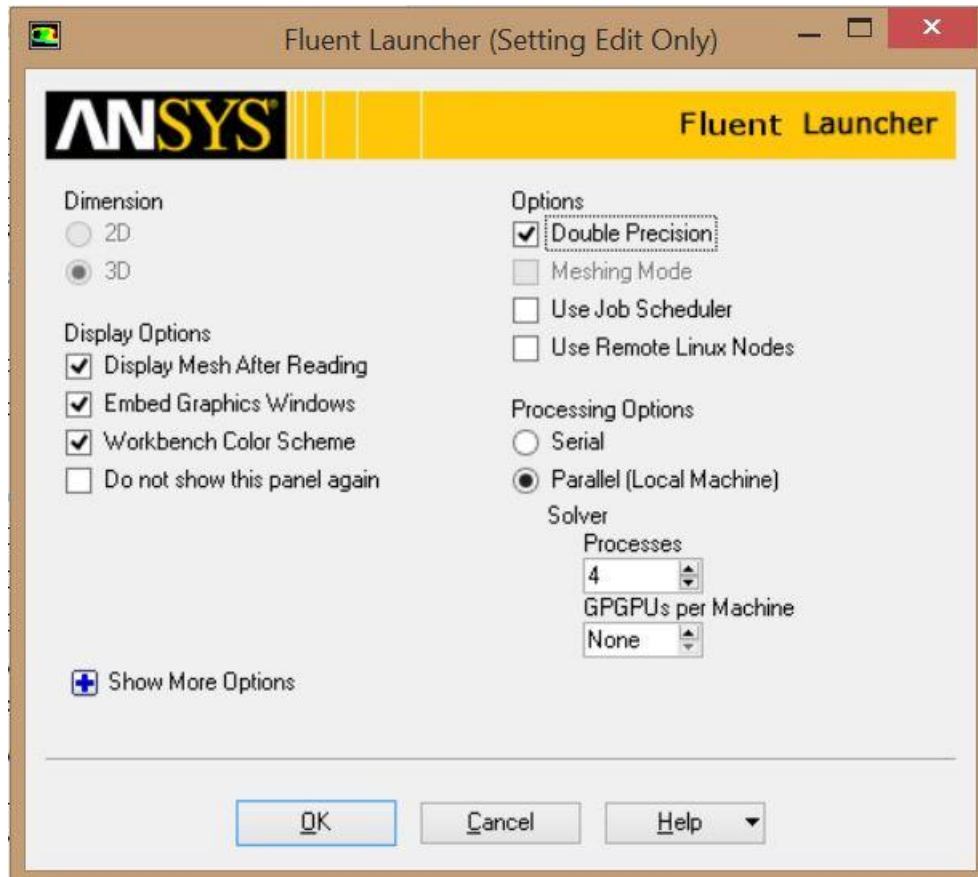


شکل ۴-۲ مدل شبکه بندی شده

۴-۲- حل مسئله

در ابتدا با بالا آوردن نرم افزار انسیس فلوئنت تنظیمات اولیه را انجام می دهیم. که در آن ابعاد مسئله را سه بعدی تعریف کرده و در بخش تنظیمات فعال سازی display mesh را فعال کرده که به محض خواندن فایل، مش بندی مدل را هم نشان دهد سپس در بخش تنظیمات ،

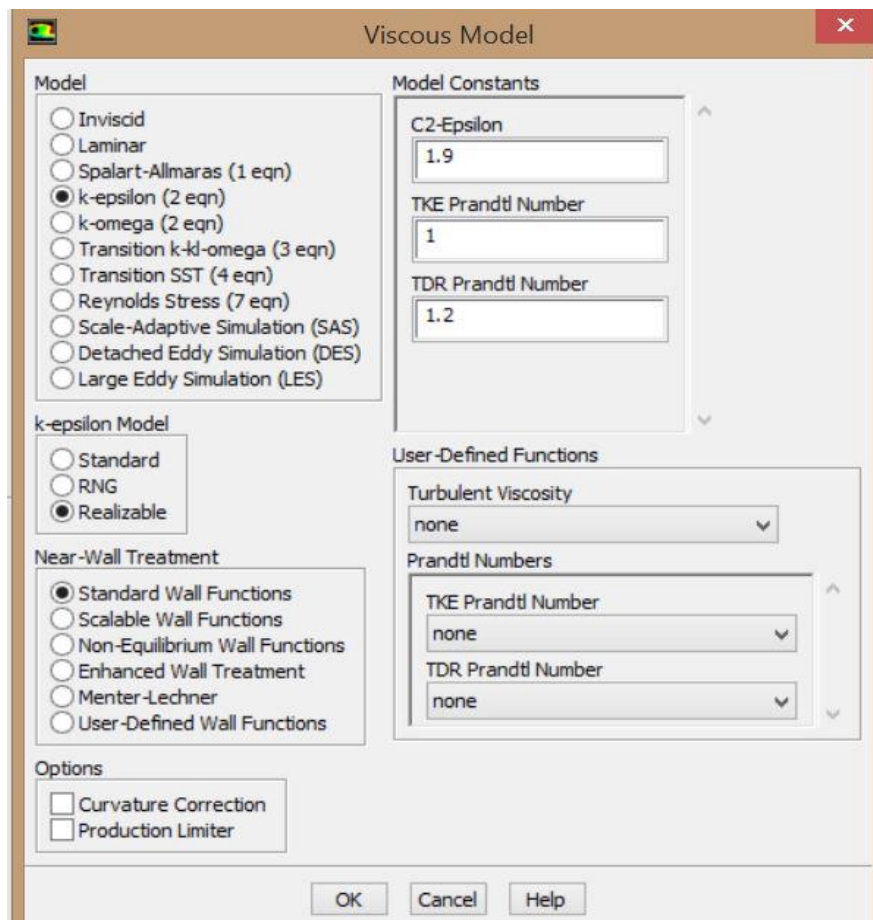
دقت دوبرابر (Double precision) را تیک می‌زنیم و استفاده از پردازشگرها را به صورت موازی تیک می‌زنیم تا از هسته های بیشتری برای تحلیل استفاده کنیم.



شکل ۴-۳ تنظیمات اولیه راه انداز نرم افزار

حال که صفحه اصلی نرم افزار بالا می‌آید فایل مدل را را فراخوانی می‌کنیم و تنظیمات اولیه حلگر را انجام می‌دهیم:

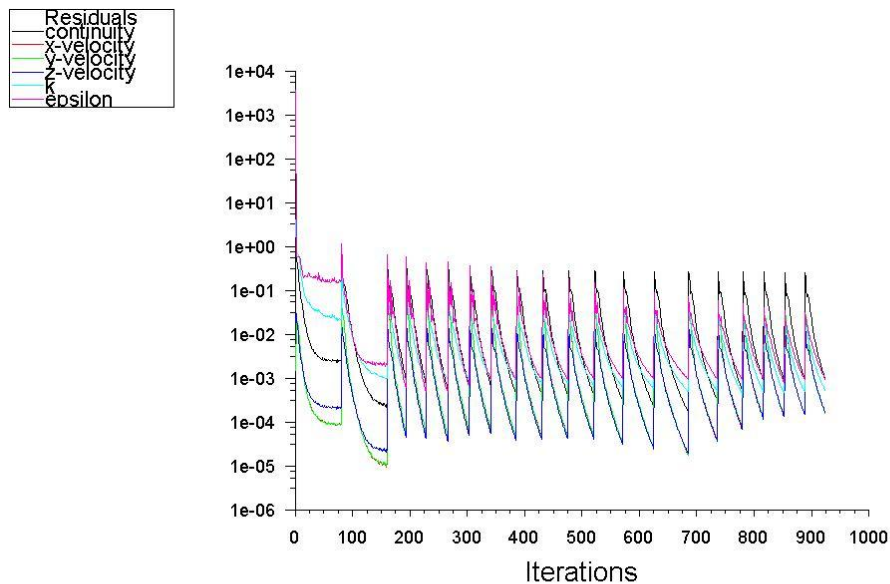
حلگر را مبتنی بر فشار و سیستم را ناپایدار (transient) تعریف می‌کنیم و سپس مدل حل را انتخاب می‌کنیم. قبل از هر چیز قابل ذکر است که مدل ما در تعریف توربولانسی قرار داد با اینکه از فرم کلی حرکتی آن مطلع هستیم. مدل انتخابی ما Realizable ($k-\epsilon$) است که طبق تعاریف فصل قبل بهترین مدل برای سیستم های سیال چرخشی و گردابه ای است.



شکل ۴-۲ تنظیم مدل حل

حال در این مرحله با انتخاب سیال زون به بخش شرایط مرزی می‌رسیم که در این قسمت با مرز ورودی که بر مبنای فشار است کار داریم چون باید به صورت متوالی فشارهای مختلف ثبت شده در رویکرد تجربی (فشارهای معمول خطوط انتقال شهری که قبل ذکر شد بین ۴ تا ۲ بار است) را اینجا نیز وارد کنیم. پس از این مرحله به دلیل دقت ویژه ما در مش بندی به بخش دینامیک مش نیازی نداریم و یکسر به سراغ بخش حلگر می‌رویم که ما سیستم سیمپل را انتخاب نمودیم چون سیستم ما تک فاز است و برای همین این انتخاب را نمودیم زیرا ما داری مش بندی ترکیبی هستیم و سیال ما چرخشی است برای مومنتوم و سیستیک انرژی توربولانسی second order upwind را انتخاب میکنیم و حل شرایط مرزی را به صورت هیبریدی انجام میدهیم.

حال برای حل مسئله مدل آماده است فقط قبل از انجام حل قابل ذکر است چوت محدوده فشار را که قبلا بیان نمودیم یک بازه بزرگ است و از طرفی یکی از گزینه هایی که مد نظر ماست کاربر تنظیم فشار یا به نوعی استفاده از توربین به عنوان فشار شکن است ما دو بار حل را انجام میدهیم ، یک بار با فشار ورودی ۴ بار و یک بار با فشار ورودی ۲ بار و خروجی هر دو را ۲ بار قرار میدهیم چون کمترین فشار استاندارد خطوط انتقال شهری است.



Scaled Residuals (Time=2.0000e-01)

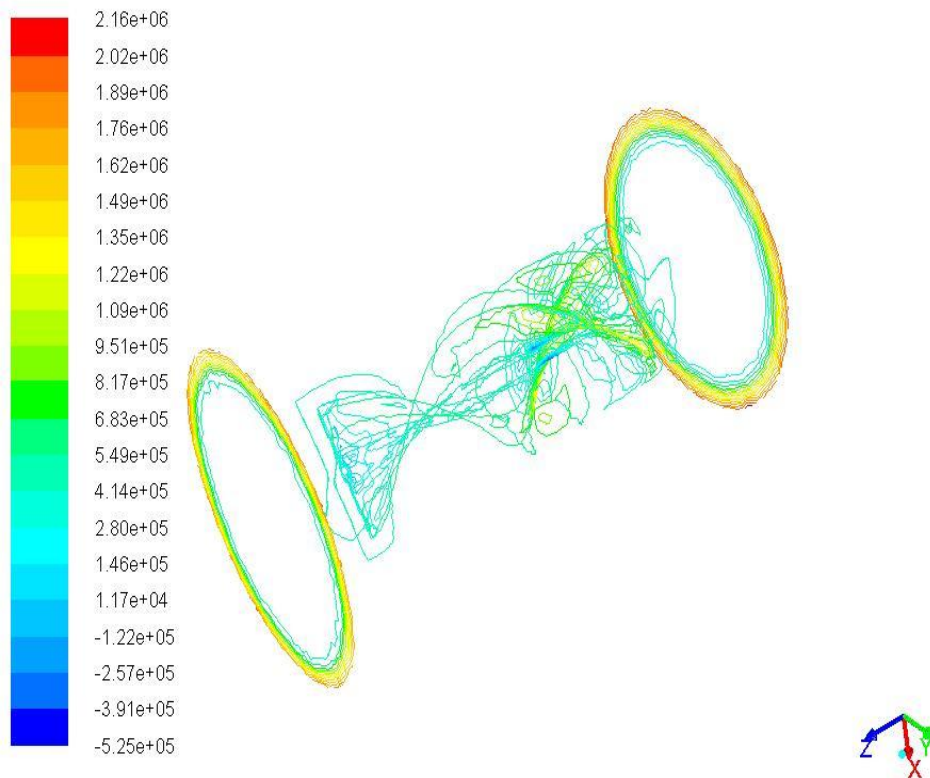
Oct 10, 2018
ANSYS Fluent Release 16.0 (3d, dp, pbns, rke, transient)

شکل ۴-۵ نمودار پردازش مدل تا از اولین حل تا کامل شدن حل

۴-۳- توضیحات نتایج

در این بخش به ارائه و تحلیل نتایج مدل توربین در فشار های ورودی ۴ و ۲ بار میپردازیم و با ارائه نتایجی اعم از کانتور ، وکتور و نمودار های فشار ، سرعت ، سینتیک انرژی توربلانسی، ضرایب درگ و لیفت و در نهایت توان خروجی این فصل را به پایان میرسانیم.

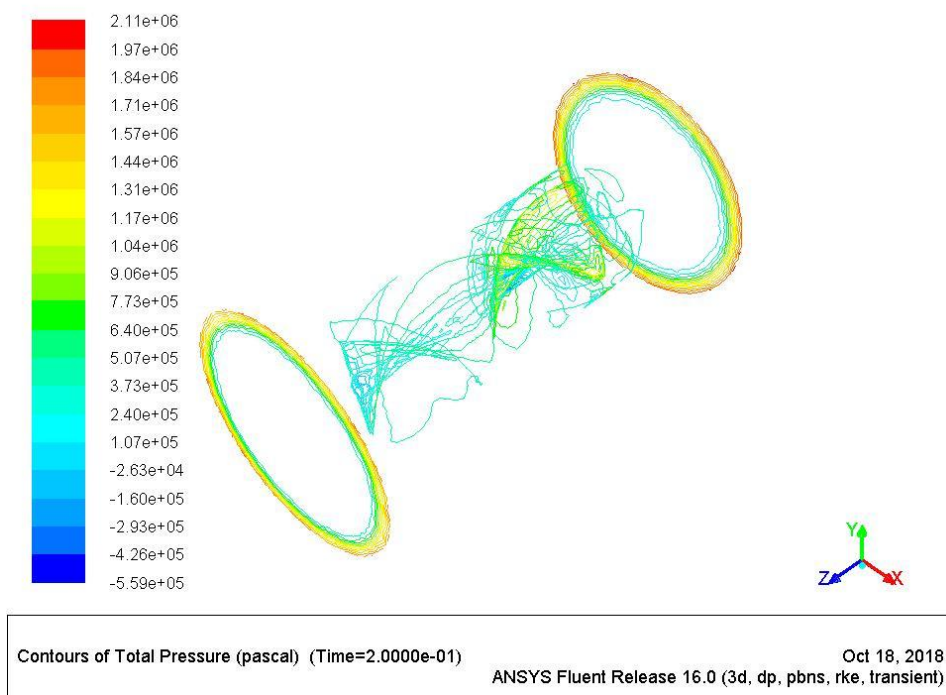
۴-۳-۱- تحلیل کانتور فشار



Contours of Total Pressure (pascal) (Time=2.0000e-01)

Oct 18, 2018
ANSYS Fluent Release 16.0 (3d, dp, pbns, rke, transient)

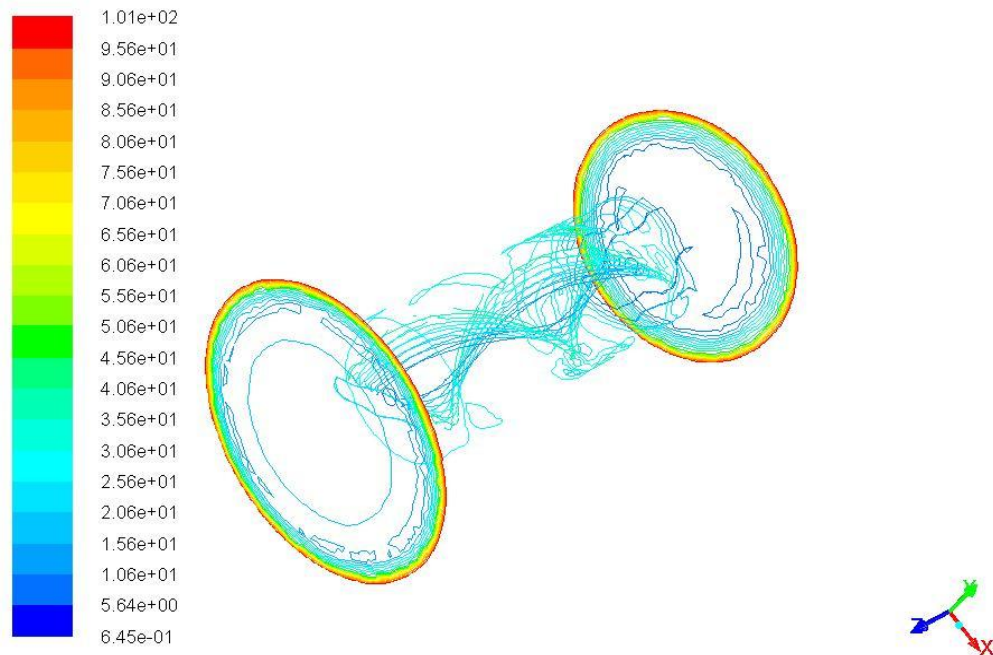
شکل ۴-۶- کانتور فشار کل با فشار ورودی ۴ بار



شکل ۴-۷ کانتور فشار کل با فشار ورودی ۳ بار

کانتورهای فوق بیانگر فشار کل در خروجی ، ورودی و روی پره های توربین است که همانگونه که ملاحظه می کنید فشار در نزدیک پره ها با افت روبرو میشود که آن هم به دلایلی مثل هندسه توربین ، اصطحکاک و... می باشد. رفتار فشار کل در دو کانتور تفاوت زیادی ندارد چون فشار خروجی هر دو ۲ بار است و در این مقیاس تفاوت ها زیاد نیست اما در کل با دقت بر مقادیر اختلافات معلوم میگردد.

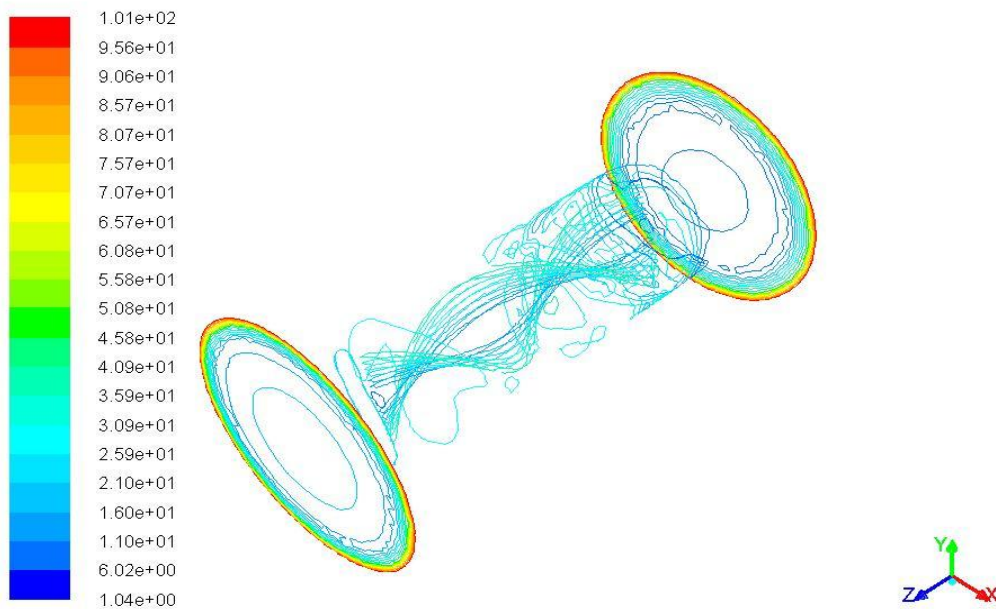
۴-۳-۲- تحلیل کانتور سرعت



Contours of Velocity Magnitude (m/s) (Time=2.0000e-01)

Oct 18, 2018
ANSYS Fluent Release 16.0 (3d, dp, pbns, rke, transient)

شکل ۸-۴ کانتور اندازه سرعت با فشار ورودی ۴ بار



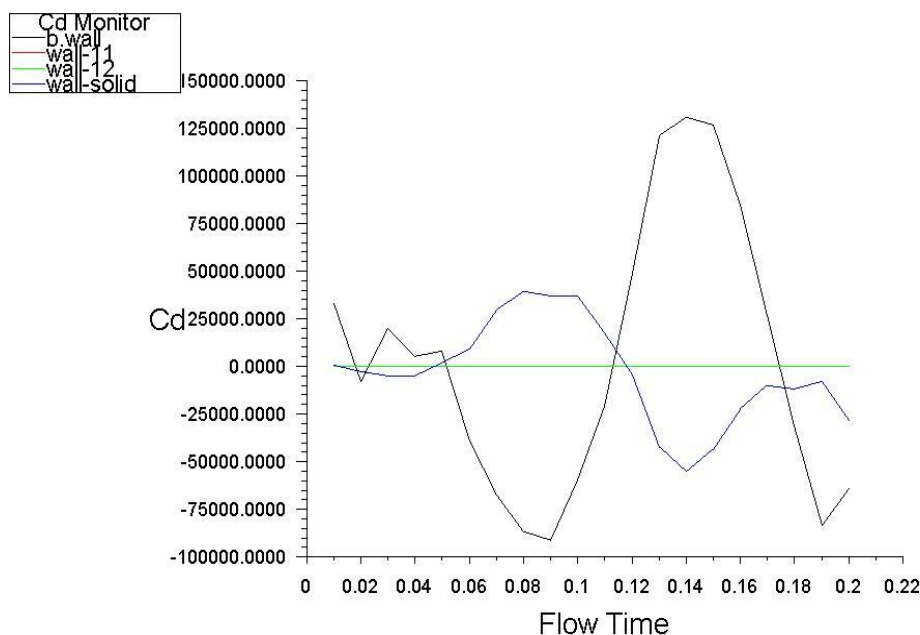
Contours of Velocity Magnitude (m/s) (Time=2.0000e-01)

Oct 18, 2018
ANSYS Fluent Release 16.0 (3d, dp, pbns, rke, transient)

شکل ۹-۴ کانتور اندازه سرعت در فشار ورودی ۳ بار

کانتورهای فوق نشانگر اندازه سرعت بین خروجی و ورودی لوله بر روی توربین است که همانگونه که مشاهده میکنید تمامی مقادیر سرعت در کانتور مشخص است ولی اگر دقت کنید کانتور اندازه سرعت در نزدیکی دیوارها مقادیر بیشتری را نشان میدهد که دلیل این افت در داخل پرهها کاهش اندازه سرعت بوسیله توربین است ولی در خارج زون توربین چون افت سرعت کمتر بوده و پروفیل جریان کاهش کمتری دارد سرعت در نزدیک دیوارها بیشتر است. حال اگر به شکل (۹-۴) دقت کنیم که فشار ورودی کمتر از شکل (۸-۴) است اندازه سرعت در نزدیک خروجی کمتر است.

۴-۳-۳- تحلیل ضریب درگ

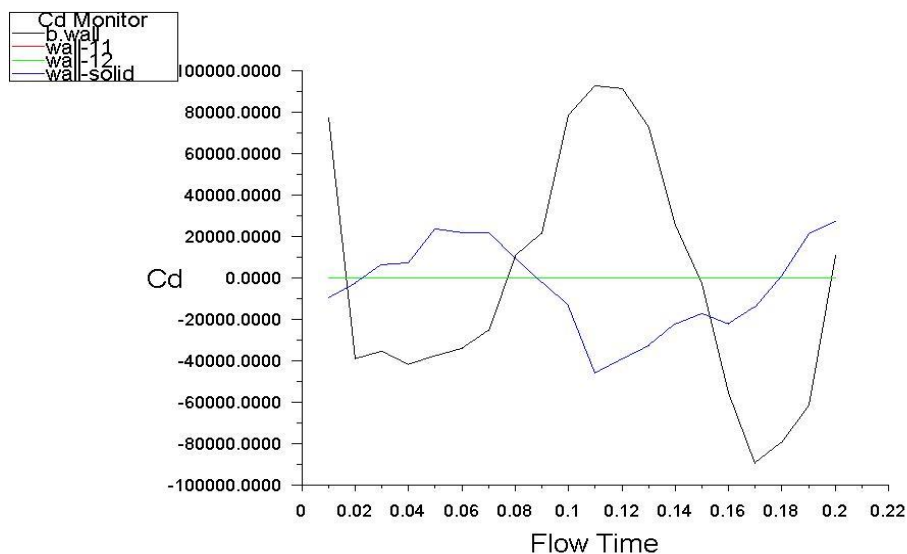


cd-1 Convergence History (Time=2.0000e-01)

ANSYS Fluent Release 16.0 (3d, dp, pbns, rke, transient)

Oct 18, 2018

شکل ۴-۱۰ نمودار ضریب درگ با فشار ورودی ۴ بار



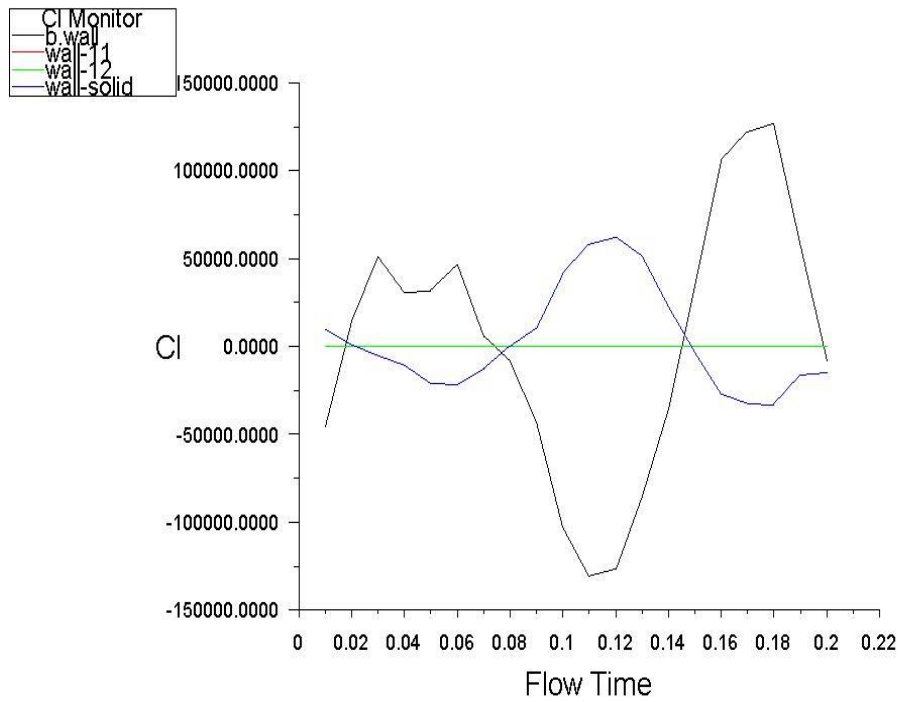
cd-1 Convergence History (Time=2.0000e-01)

Oct 18, 2018
ANSYS Fluent Release 16.0 (3d, dp, pbns, rke, transient)

شکل ۴-۱۱ نمودار ضریب درگ با فشار ورودی ۳ بار

نمودارهای فوق ضریب درگ در طول حل را نشان می‌دهد که با توجه به نمودار در اولین نتیجه گیری متوجه تلرانس ضریب می‌شویم که آن هم به دلیل تغییر موقعیت پره در طول زمان عبور سیال از روی پره های توربین می‌باشد اما نکته دوم اینجاست که تغییرات و اندازه ضریب درگ بر روی سیال (خط سورمه ای) از تغییرات آن بر روی دیواره اصلی لوله (خط مشکی) بیشتر است که دلیل آن تاثیر دوگانه سیال توربلانسی عبوری از توربین و پروفیل جریان عبوری همزمان در زون لوله است. با توجه به هر دو نمودار شکل های (۴-۱۰) و (۴-۱۱) متوجه می‌شویم که مقادیر ضریب درگ در اثر کاهش فشار ورودی کاهش می‌ابد اما رفتار کلی نرخ تغییرات مشابه است.

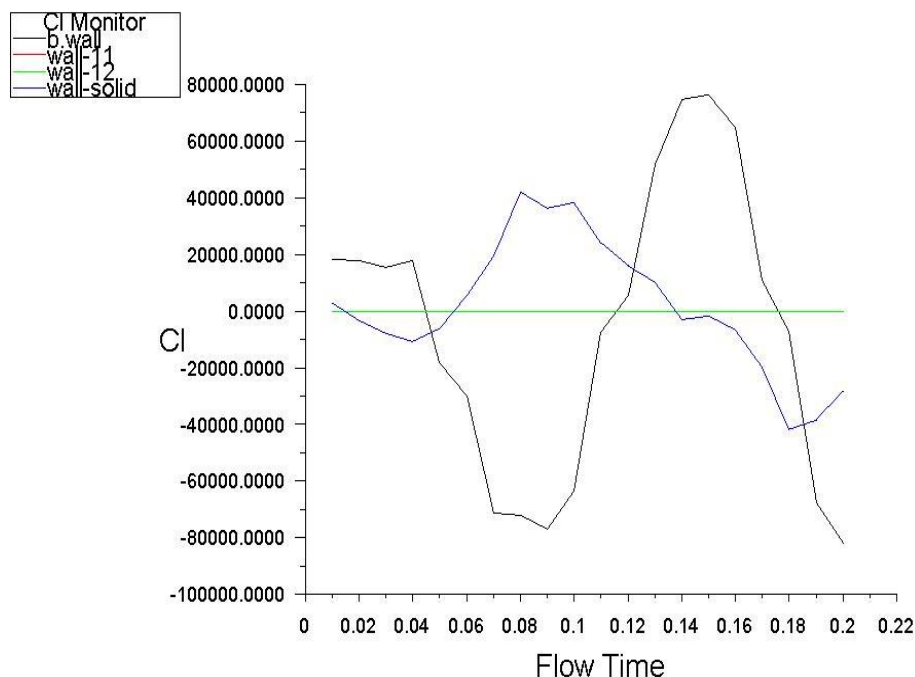
۴-۳-۴- تحلیل ضریب لیفت



cl-1 Convergence History (Time=2.0000e-01)

Oct 18, 2018
ANSYS Fluent Release 16.0 (3d, dp, pbns, rke, transient)

شکل ۴-۱۲ نمودار ضریب لیفت با فشار ورودی ۴ بار



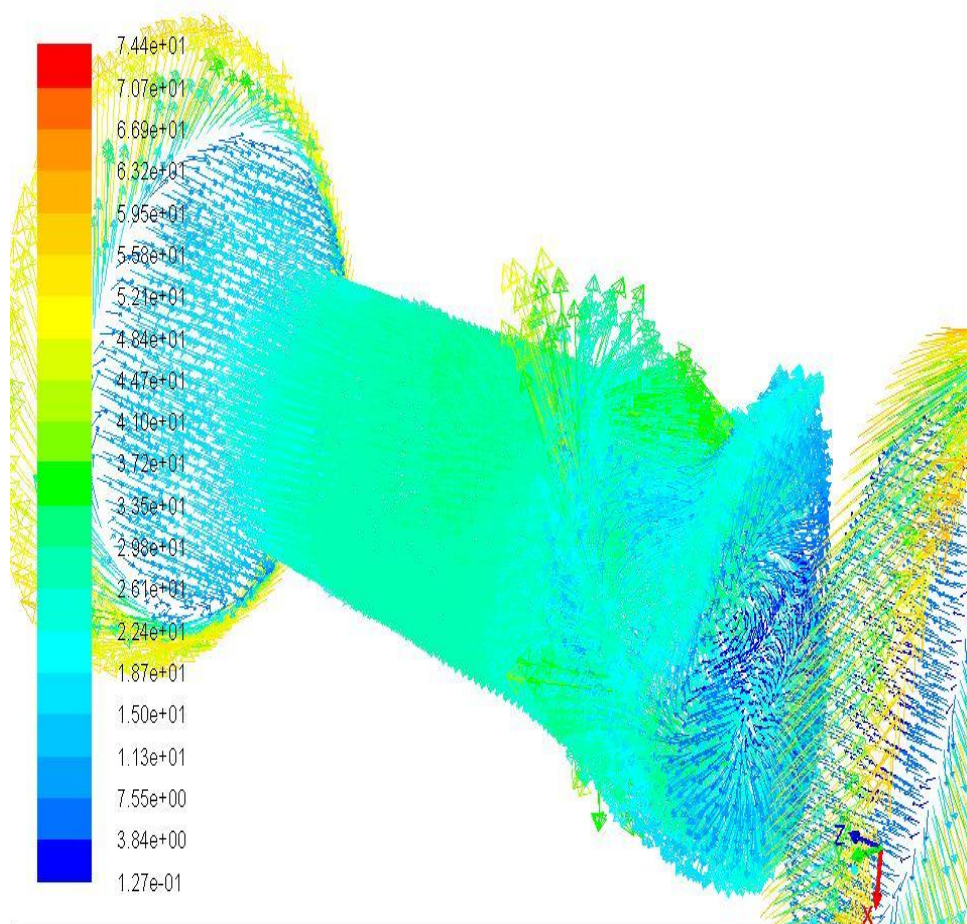
cl-1 Convergence History (Time=2.0000e-01)

Oct 18, 2018
ANSYS Fluent Release 16.0 (3d, dp, pbns, rke, transient)

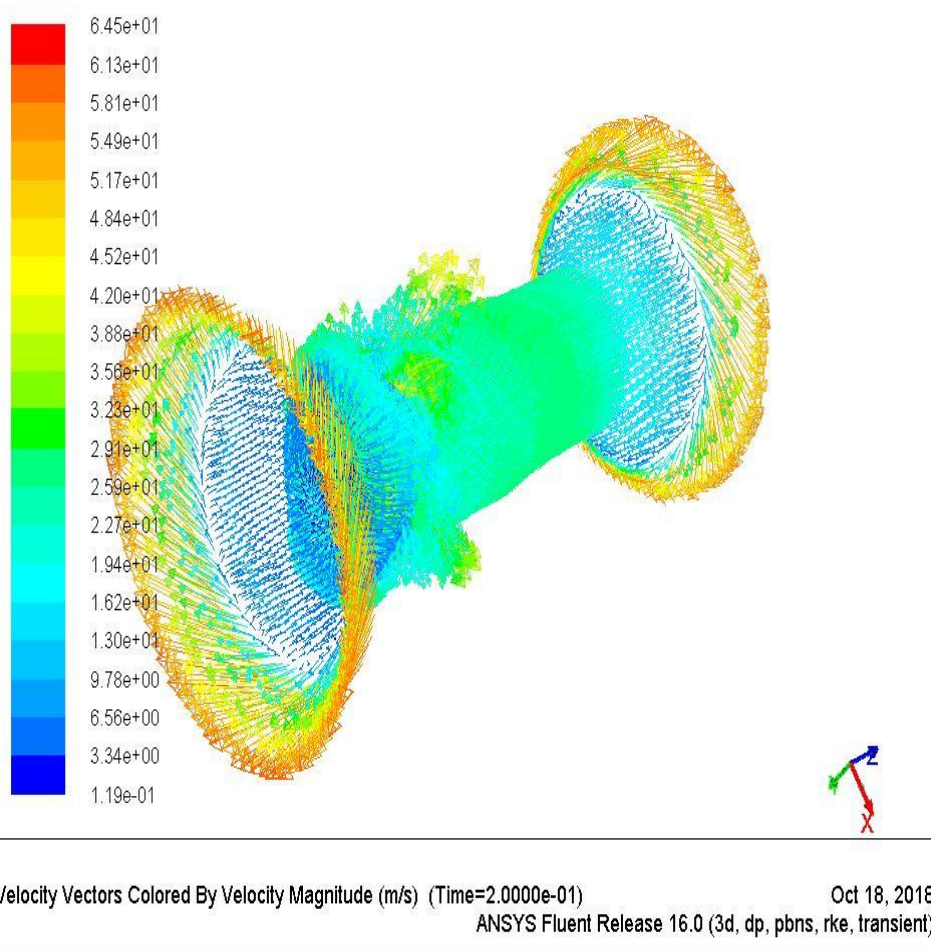
شکل ۴-۱۳ نمودار ضریب لیفت با فشار ورودی ۳ بار

تقریباً شکل رفتاری نمودارهای ضریب لیفت مانند نمودارهای ضریب درگ است و دلیل رفتارها نیز همان است اما چون جنس آنها متفاوت است و پارامترهای متفاوتی دارند زمان تیرانس های آن ها متفاوت است اما نکته مهم در مورد رفتار این نمودار اینجاست که رفتار حرکتی با کمی تفاوت در زمان رخداد که آن هم به دلیل جریان توربولانسی است ، تقریباً در مقابله با نمودارهای ضریب درگ است. اما نکته قابل ذکر باز هم کاهش مقدار ضریب لیفت مانند ضریب درگ در اثر تغییرات فشار ورودی است که در شکل های (۴-۱۲) و (۴-۱۳) ارائه شده.

۴-۳-۵- تحلیل وکتور سرعت



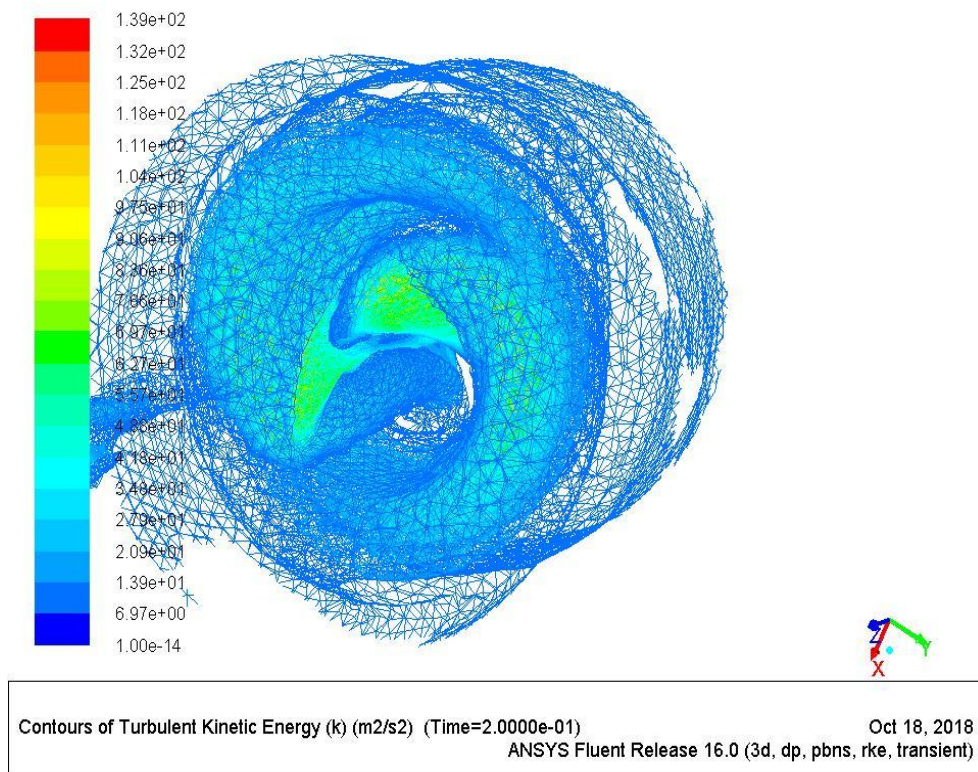
شکل ۴-۱۴ وکتور اندازه سرعت با فشار ورودی ۴ بار



شکل ۴-۱۵ وکتور اندازه سرعت با فشار ورودی ۳ بار

شکل های (۴-۱۴) و (۴-۱۵) که در فوق ذکر شده است وکتورهای اندازه سرعت است که با توجه به ارائه نتایج اندازه سرعت به شکل کانتور در قبل این شکل ها ، در اینجا این وکتور ها را به دو دلیل ارائه دادیم. اول اینکه جهت گیری چرخش سیال را ببینیم و در حله دوم رفتار توربلانسی سیال که هر چقدر به خروجی نزدیکتر میشویم افزایش میابد تا این حد که سیال از زون توربین خارج میشود. اما مقادیر آنها به دلیل اختلاف فشار ورودی متفاوت است.

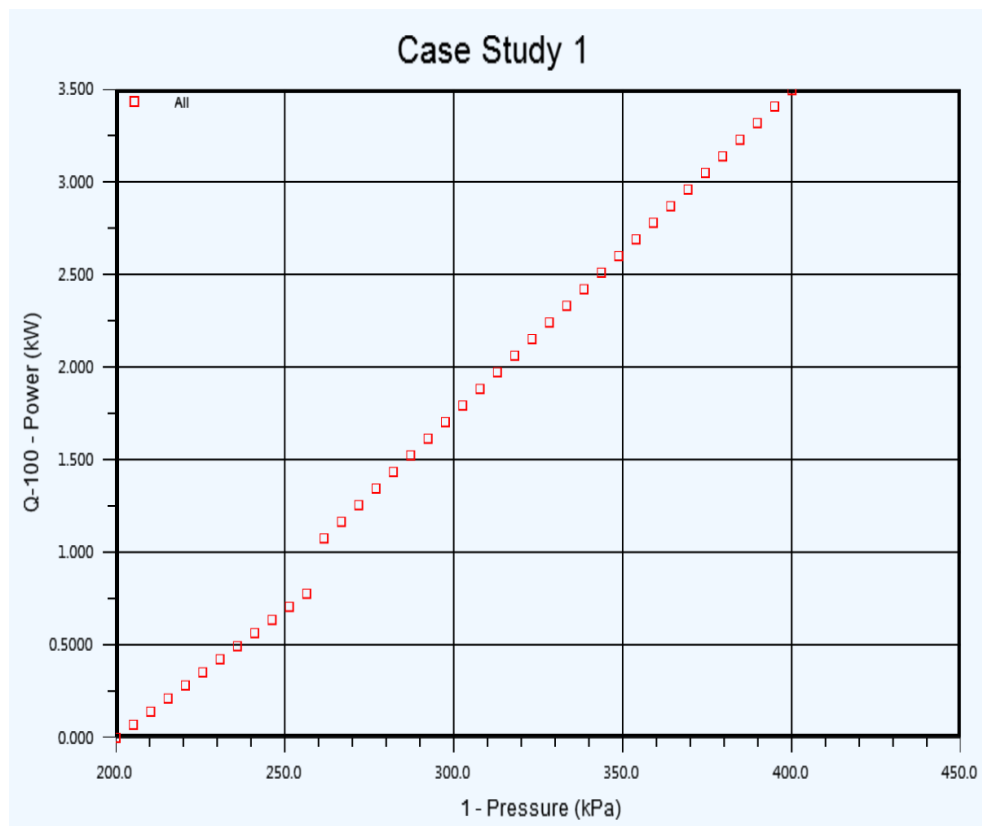
۴-۳-۶- تحلیل کانتور سینتیک انرژی توربلانسی



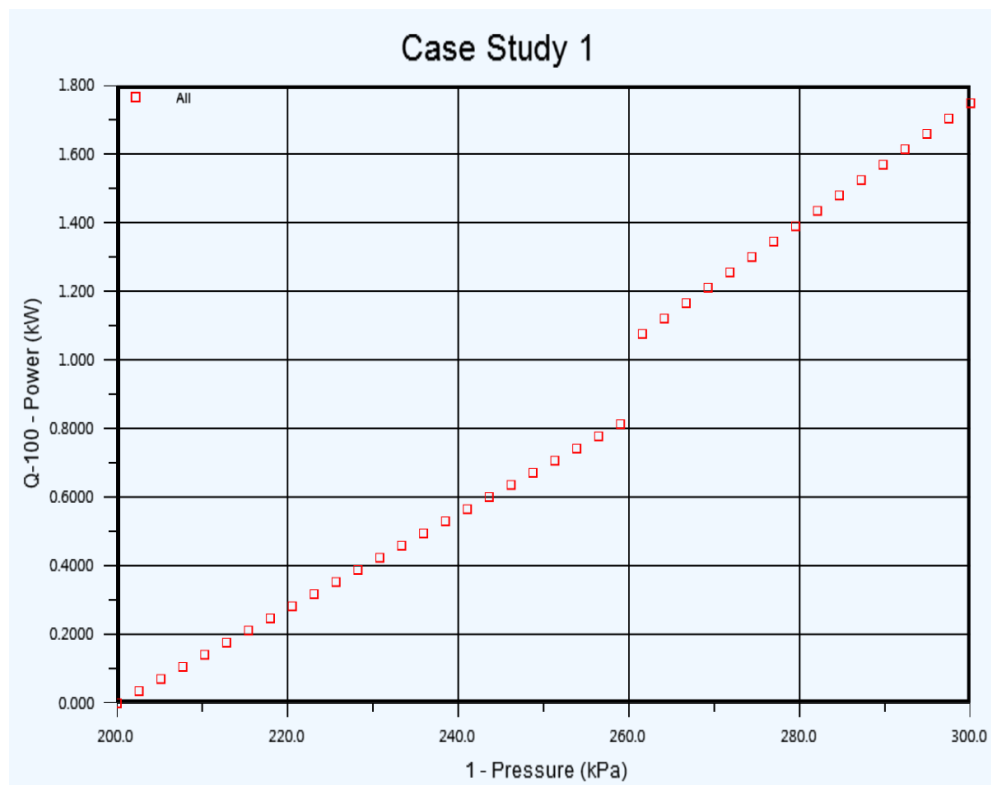
شکل ۴-۱۶ کانتور اندازه سرعت با فشار ورودی ۳ بار

همانطور که در شکل فوق مشاهده میکنید میتوان میزان سینتیک انرژی توربلانسی را در مدل مشاهده کرد و فلاکس جریان در یک مقطع حرکتی در نزدیک خروجی که جریان کاملاً توربلانسی است نیز شبکه بندی شده بیان گشته است. اما نکته اصلی اینجاست که مقادیر سینتیک انرژی توربلانسی در نزدیکی پره ها بیشتر است که آن به دلیل حرکت تحت فشار پره ها طبیعی است. اما چون اینجا تنها هدف بررسی رفتار سیال بود نه مقایسه مقداری یکی از کانتور ها را ارائه دادیم.

۴-۳-۷- تحلیل نمودار توان



شکل ۴-۱۷ نمودار توان بر حسب فشار با فشار ورودی نهایی ۴ بار



شکل ۴-۱۸ نمودار توان بر حسب فشار با فشار ورودی نهایی ۳ بار

نمودار های فوق نشانگر تغییرات توان خروجی توربین در طول حرکت سیال در درون توربین است که نشان می‌دهد توان خروجی زمانی که فشار ورودی به ۴ بار (شکل ۴-۱۷) یا ۳ بار (شکل ۴-۱۸) برسد با حفظ فشار خروجی ۲ بار، چه میزان است. در ادامه، به بررسی نتایج مربوط به امکان سنجی بهره‌گیری از توربین هیدروکویل و جایگزینی آن با شیرهای فشار شکن خطوط لوله توزیع آب شهری پرداخته می‌شود.

۴-۳-۸- نتایج امکان سنجی

همانطور که در فصل گذشته اشاره شد، برای بررسی میزان توان تولیدی ناشی از جایگذاری توربین های هیدروکویل در خطوط لوله آب شهری، ابتدا باید ابعاد لوله ها و سپس شرایط فشاری مورد نیاز شبکه توزیع آب تعیین گردند. برای این منظور، در این پژوهش این داده ها از شرکت آب وفاضلاب تهران گردآوری شده اند. این داده ها شامل مقادیر فشارهای ورودی به و خروجی از شیرهای فشار شکن قرار گرفته در لوله های توزیع آب شهر تهران با

قطرهای ۱۵۰ میلیمتر الی ۵۰۰ میلیمتر می باشند. بخشی از داده های مربوط به لوله های با قطر ۱۶۲ میلیمتر در شکل ۸-۳ نمایش داده شده اند. شیرهای فشار شکن در بسیاری از نقاط این خطوط لوله بسته و یا خارج از مدار می باشند. بنابراین برای امکان سنجی و بررسی ظرفیت شبکه توزیع آب، در این پژوهش از داده های مربوط به لوله های با قطر ۲۰۰ میلیمتر استفاده شده است. شکل ۴-۱۹ داده های مربوطه را نمایش می دهد.

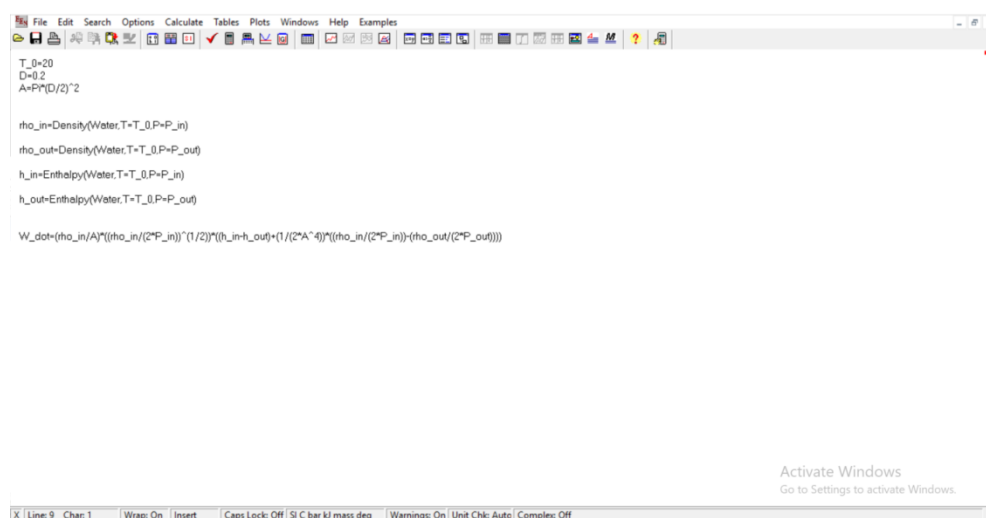
جدول ۴-۱ داده های ارائه شده توسط شرکت آب وفاضلاب منطقه ۱ تهران برای شیرهای فشار شکن قرار گرفته

در لوله های توزیع آب با قطر ۲۰۰ میلیمتر

ردیف	Z	X	Y	قطر	واحد	نوع شیر	وضعیت برق رسانی	وضعیت	فشار ورودی	فشار خروجی	آدرس
۱	۱۷۵۶.۸۹۹	۵۴۸۵۷.۰۲۱	۳۹۶۱۸۱۸.۵۱۳	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۴۵	۲۳	ارتش انتهای شهرک لاله
۲	۱۶۹۴.۷۱	۵۴۷۵۴.۱۳۷۵	۳۹۶۱۳۴۹.۸۳۱	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۳۷	۲۲	ارتش شهرک یاس بین دوم و سوم
۳	۱۷۰۶.۳۶	۵۴۷۷۸۴.۱۵۷	۳۹۶۱۴۴۴.۲۴۵	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۳۲	۲۱	ارتش شهرک یاس بین سوم و چهارم
۴	۱۷۵۴.۷۰۹	۵۳۹۵۲.۱۸۳۵	۳۹۶۳۹۴۸.۵۱۷	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۵۷	۲۷	امام زاده قاسم-اواسط صفایی
۵	۱۷۴۱.۶۲۲	۵۳۹۵۷.۰۳۹۷	۳۹۶۳۸۱۰.۵۰۹	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن پل خورشیدی	کتور برق	فعال	۴۵	۲۰	امام زاده قاسم-یوکان
۶	۱۷۵۱.۵۳	۵۳۸۶۳.۹۳۴۷	۳۹۶۳۹۸۶.۴۸۷	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۶۰	۲۸	باغ شاطر حسینی
۷	۱۷۶۱.۳۴۶	۵۴۲۳۶.۹۲۷۵	۳۹۶۴۲۱۵.۱۳۷	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۶۶	۱۰	باغ منقریه سه
۸	۱۷۴۱.۴۹	۵۴۲۰۰.۶۸۲۳	۳۹۶۴۰۲۸.۳۶۸	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۸۰	۳۲	باغ منقریه یک اصلی
۹	۱۶۴۷.۰۳۹	۵۴۱۴۸۰.۸۸۶۵	۳۹۶۳۲۲۴.۸۳۱	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۵۸	۳۵	باهر-ایندای چماران-ایندای چماران
۱۰	۱۵۷۰	۵۴۵۷۲۲.۱۲۲۷	۳۹۶۱۰۷۰.۵۹۶	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۴۵	۲۵	بلوار ارتش-سناد مشترک-نرسیده به کامران
۱۱	۱۷۷۶.۲۰۷	۵۴۵۵۱۰.۰۱۷۹	۳۹۶۴۳۳.۳۶۷	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۵۲	۳۲	بلوار اوشان انتهای خ جنت ابتدای خلبان شکاری
۱۲	۱۵۷۲	۵۴۷۶۶.۲۳۷	۳۹۶۲۲۸۸.۳۳۹	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۴۸	۲۲	پاسداران-تنگستان سوم-تنگستان سوم
۱۳	۱۷۱۴.۴۳۴	۵۴۴۰۶۵.۲۶۷۵	۳۹۶۳۷۹۳.۳۰۵	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۳۲	۳۲	پورابتهاج ابتدای افتخاری
۱۴	۱۶۶۱.۳۳۳	۵۳۹۱۰۰.۴۵۹۱	۳۹۶۳۱۹۶.۳۸۲	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۵۲	۲۵	دریند-کوچه تابش-روبروی طباطبایی پور
۱۵	۱۵۹۴.۴۴۲	۵۳۹۱۲۲.۹۶۳۳	۳۹۶۲۴۴۸.۵۵۶	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	ندارد	فعال	۶۸	۲۳	دژاقب سه راه دژاقب نرسیده به هاشمی
۱۶	۱۶۸۵.۳۴۴	۵۳۷۶۱۰.۴۳۹۸	۳۹۶۲۹۶۲.۳۶۸	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۴۴	۲۳	زعفرانیه اعجازی مهر ابتدای قایوس
۱۷	۱۶۶۶.۴۲۸	۵۳۹۲۶۵.۵۳۲۲	۳۹۶۲۷۷۷.۸۹۸	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۴۹	۲۲	زعفرانیه آصف مقابل بانک مهر
۱۸	۱۵۷۰.۰۶۸	۵۳۹۱۷۹.۷۰۹۳	۳۹۶۱۹۳۷.۱۲۳	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۵۲	۲۶	شرعی-روبروی اسدی-واضعی-سمت غرب
۱۹	۱۶۵۶.۳۱۲	۵۴۵۷۷۷.۳۲۰۱	۳۹۶۲۴۶۹.۰۹۸	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۶۲	۳۵	شهرک نفت آبادان کنگان کنار پمپا مقابل کنگان
۲۰	۱۷۷۲.۶۶۴	۵۴۶۸۶۸.۵۵۲۱	۳۹۶۲۷۶۴.۸۱۱	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۵۵	۲۸	شهید محلاتی بلوار شاهد خ ولایت
۲۱	۱۶۶۱.۳۳۳	۵۳۹۰۹۵.۱۳۹۸	۳۹۶۳۱۹۶.۸۸۳	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۵۰	۲۵	قاطع خ دریند و خ طباطبایی پور
۲۲	۱۵۴۳.۵۱	۵۴۰۳۳۵.۹۲۸۱	۳۹۶۱۲۳۲.۴۶۵	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	ندارد	فعال	۶۰	۲۰	قیطریه-کاوه-انتهای سمید
۲۳	۱۷۳۸.۸۴۸	۵۴۳۱۰۲.۴۴۸۱	۳۹۶۳۹۱۹.۲۴	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۶۸	۲۵	کاشانک-انتهای خداوردی-نیش آراسته
۲۴	۱۵۸۸.۱	۵۴۴۹۱۱.۷۷۱۷	۳۹۶۲۲۱۴.۳۳۵	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۴۶	۲۲	گلزار اول شرقی نیش احمدلو
۲۵	۱۵۹۲.۶۵۷	۵۳۹۲۰.۴۹۴۶	۳۹۶۲۳۲۰.۱۰۹	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	ندارد	فعال	۷۶	۳۲	میدان قدس-شمال به جنوب نرسیده به زغالیه-شمال به جنوب نرسیده به زغالیه
۲۶	۱۶۶۲.۴۵۸	۵۳۹۵۳۰.۹۳۱۹	۳۹۶۳۵۰۹.۸۹۳	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۴۷	۳۰	نخجوان-احمد زمانی-اول لاریجانی
۲۷	۱۶۷۲.۱۷۴	۵۳۹۶۱۰.۳۱۱۱	۳۹۶۳۵۹۲.۳۴۱	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۳۸	۲۶	نخجوان-همایون-فرزین
۲۸	۱۶۵۰.۲۴۷	۵۴۲۴۹۳.۱۹۷۹	۳۹۶۳۱۴۶.۷۳۸	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	ندارد	فعال	۵۶	۳۵	نیاوران-میدان شهید باهر-ضلع شمال غربی
۲۹	۱۶۵۴.۴۸۸	۵۳۷۸۱۷.۲۲۳۳	۳۹۶۲۷۷۱.۲۹۲	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۶۵	۳۵	ولیمصر-اعجازی-نیش بن بست یکم
۳۰	۱۵۹۰.۲	۵۳۸۳۴۱.۵۰۹۳	۳۹۶۱۹۹۰.۹۵۲	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۶۰	۳۸	ولیمصر-باغ فردوس-اواسط طوس
۳۱	۱۵۶۴.۴	۵۳۷۸۰۹.۷۸۳۳	۳۹۶۰۹۳۵.۹۲۷	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۴۹	۲۸	ولیمصر-قیاضی-بعد از نخعی
۳۲	۱۵۹۷.۱	۵۳۷۳۳۳.۳۱۸۸	۳۹۶۱۲۷۴.۳۴۸	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۴۵	۳۰	ولیمصر-محمودیه-نرسیده به صفای اصفهانی
۳۳	۱۶۸۰.۴۴۴	۵۴۰۹۰۹.۶۰۵۲	۳۹۶۳۳۹۰.۱۱۱	۲۰۰	میلیمتر	شیر فشارشکن	کتور برق	فعال	۷۰	۶۰	پاسر-موسوی بالا

پیش از بررسی میزان توان قابل تولید توسط توربین های هیدروکوئل، با توجه به ستون وضعیت برق رسانی در شکل بالا می توان دید که برای ۳۳ مورد شیر فشار شکن موجود در خطوط لوله توزیع آب با قطر ۲۰۰ میلیمتر، به جز ردیف های ۵، ۱۵، ۲۲، ۲۵ و ۲۸، در سایر مناطق شیرهای فشار شکن به کتور برق متصل می باشند که به مفهوم اتصال آنها به شبکه برق شهری است. بنابراین با استفاده از همین زیرساخت های موجود، می توان توربین های هیدروکوئل نیز به شبکه برق متصل کرده و توان تولیدی آنها را به شبکه انتقال داد. به این ترتیب برای محاسبات میزان توان تولیدی توربین های هیدروکوئل، از داده های ۲۸ نقطه که هم اکنون متصل به شبکه برق شهری می باشند استفاده شده است و از ۵ مورد دیگر صرف نظر شده است.

شکل زیر نحوه ورود روابط به دست آمده و نیز محاسبه مقادیر چگالی و آنتالپی جریان آب داخل لوله را در نرم افزار EES نمایش می دهد.



شکل ۴-۱۹ ورود روابط و نحوه به دست آوردن خصوصیات ترمودینامیکی آب در محیط نرم افزار EES

شکل زیر نیز بخشی از مقادیر به دست آمده توسط نرم افزار EES برای پارامترهای آنتالپی و چگالی جریان در ورودی و خروجی توربین هیدروکوئل را نمایش می دهد. همانگونه که در این شکل مشاهده می گردد، مقادیر فشار ورودی و خروجی به صورت داده ورودی (با رنگ

سیاه) به نرم افزار معرفی شده اند و مقادیر آنتالپی و چگالی (با رنگ آبی)، با استفاده از کتابخانه ترمودینامیکی نرم افزار به دست آمده اند.

The screenshot shows the EES software interface with a table titled 'Table 1' containing 24 runs. The columns are labeled P_{in}, P_{out}, h_{in}, h_{out}, P_{in}, and P_{out}. The data is as follows:

	P _{in}	P _{out}	h _{in}	h _{out}	P _{in}	P _{out}
Run 1	45	23	88.06	85.99	1000	999.2
Run 2	37	22	87.31	85.9	1000	999.2
Run 3	32	21	86.84	85.81	999.6	999.1
Run 4	57	27	89.18	86.37	1001	999.4
Run 5	60	28	89.46	86.46	1001	999.5
Run 6	66	10	90.02	84.77	1001	998.6
Run 7	80	32	91.33	86.84	1002	999.6
Run 8	58	35	89.27	87.12	1001	1000
Run 9	45	25	88.06	86.19	1000	999.3
Run 10	52	32	88.71	86.84	1001	999.6
Run 11	48	22	88.34	85.9	1000	999.2
Run 12	32	32	86.84	86.84	999.6	999.6
Run 13	52	25	88.71	86.19	1001	999.3
Run 14	44	23	87.96	85.99	1000	999.2
Run 15	49	22	88.43	85.9	1000	999.2
Run 16	52	26	88.71	86.28	1001	999.4
Run 17	62	35	89.65	87.12	1001	1000
Run 18	55	28	88.99	86.46	1001	999.5
Run 19	50	25	88.52	86.19	1000	999.3
Run 20	68	25	90.21	86.19	1001	999.3
Run 21	46	22	88.15	85.9	1000	999.2
Run 22	47	30	88.24	86.65	1000	999.6
Run 23	38	26	87.4	86.28	1000	999.4
Run 24	65	35	89.93	87.12	1001	1000

شکل ۴-۲۰ نمونه از نتایج به دست آمده برای ویژگی های ترمودینامیکی جریان آب در محیط نرم افزار EES

پیش از بررسی میزان توان قابل تولید توسط توربین های هیدروکوئل، در ابتدا نتایج به دست آمده برای مقادیر آنتالپی و چگالی جریان در ورودی و خروجی توربین ها در دو شکل ۴-۲۲ و ۴-۲۳ گزارش شده اند.

جدول ۴-۲ نتایج به دست آمده از نرم افزار EES برای ویژگی های ترمودینامیکی جریان آب در نقاط مختلف شبکه توزیع آب

منطقه ۱ تهران

ردیف	فشار ورودی	فشار خروجی	آنتالپی ورودی	آنتالپی خروجی	چگالی ورودی	چگالی خروجی	آدرس
۱	۴۵	۲۳	۸۸.۰۶	۸۵.۹۹	۱۰۰۰	۹۹۹.۲	ارتش انتهای شهرک لاله
۲	۳۷	۲۲	۸۷.۳۱	۸۵.۹	۱۰۰۰	۹۹۹.۲	ارتش شهرک یاس بین دوم و سوم
۳	۳۲	۲۱	۸۶.۸۴	۸۵.۸۱	۹۹۹.۶	۹۹۹.۱	ارتش شهرک یاس بین سوم و چهارم
۴	۵۷	۳۷	۸۹.۱۸	۸۶.۳۷	۱۰۰۱	۹۹۹.۴	امام زاده قاسم-اواسط صفایی
۶	۶۰	۲۸	۸۹.۴۶	۸۶.۴۶	۱۰۰۱	۹۹۹.۵	باغ شاطر حسینی
۷	۶۶	۱۰	۹۰.۰۲	۸۴.۷۷	۱۰۰۱	۹۹۸.۶	باغ منظریه سه
۸	۸۰	۳۲	۹۱.۳۳	۸۶.۸۴	۱۰۰۲	۹۹۹.۶	باغ منظریه یک اصلی
۹	۵۸	۳۵	۸۹.۲۷	۸۷.۱۲	۱۰۰۱	۱۰۰۰	باهتر-ابتدای جماران-ابتدای جماران
۱۰	۴۵	۲۵	۸۸.۰۶	۸۶.۱۸	۱۰۰۰	۹۹۹.۳	بلوار ارتش-ستاد مشترک-نرسیده به کامران
۱۱	۵۲	۳۲	۸۸.۷۱	۸۶.۸۴	۱۰۰۱	۹۹۹.۶	بلوار اوشان انتهای خ جنت ابتدای خلبان شکاری
۱۲	۴۸	۲۲	۸۸.۳۴	۸۵.۹	۱۰۰۰	۹۹۹.۲	پاسداران-تنگستان سوم-تنگستان سوم
۱۳	۳۲	۳۲	۸۶.۸۴	۸۶.۸۴	۹۹۹.۶	۹۹۹.۶	پورابتهاج ابتدای افتخاری
۱۴	۵۲	۲۵	۸۸.۷۱	۸۶.۱۸	۱۰۰۱	۹۹۹.۳	دریند-کوچه تایش-روبروی طباطبایی پور

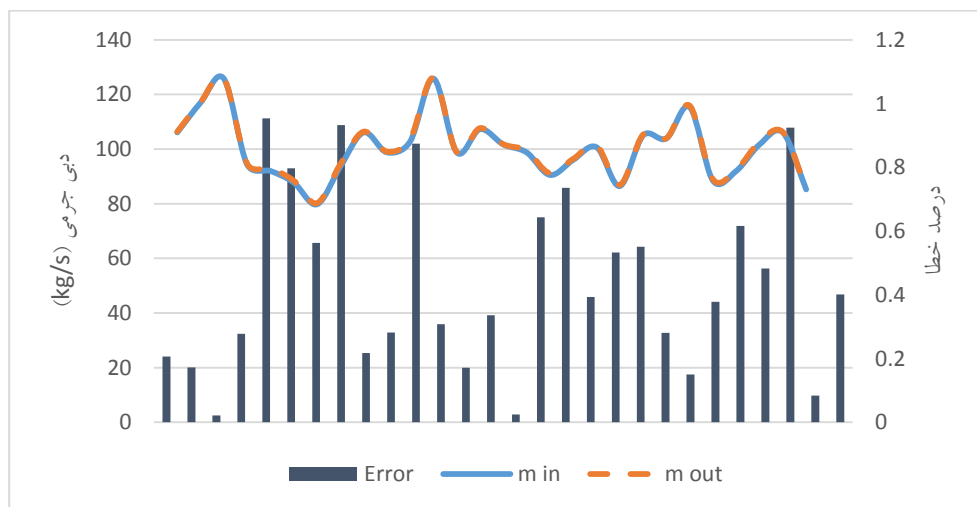
جدول ۳-۴ نتایج به دست آمده از نرم افزار EES برای ویژگی های ترمودینامیکی جریان آب
در نقاط مختلف شبکه توزیع آب منطقه ۱ تهران (ادامه)

ردیف	فشار ورودی	فشار خروجی	آنتالپی ورودی	آنتالپی خروجی	چگالی ورودی	چگالی خروجی	آدرس
۱۶	۴۴	۲۳	۸۷.۹۶	۸۵.۹۹	۱۰۰۰	۹۹۹.۲	زعفرانیه اعجازی مهر ابتدای قابوس
۱۷	۴۹	۲۲	۸۸.۴۳	۸۵.۹	۱۰۰۰	۹۹۹.۲	زعفرانیه آصف مقابل بانک مهر
۱۸	۵۲	۲۶	۸۸.۷۱	۸۶.۲۸	۱۰۰۱	۹۹۹.۴	شریعتی-روبروی اسدی-واعظی-سمت غرب
۱۹	۶۲	۳۵	۸۹.۶۵	۸۷.۱۲	۱۰۰۱	۱۰۰۰	شهرک نفت آبادان کنگان کنار پمپاژ مقابل کنگان
۲۰	۵۵	۲۸	۸۸.۹۹	۸۶.۴۶	۱۰۰۱	۹۹۹.۵	شهید محلاتی بلوار شاهد خ ولایت
۲۱	۵۰	۲۵	۸۸.۵۲	۸۶.۱۸	۱۰۰۰	۹۹۹.۳	قاطع خ دربند و خ طباطبایی پور
۲۳	۶۸	۲۵	۹۰.۲۱	۸۶.۱۸	۱۰۰۱	۹۹۹.۳	کاشانک-انتهای خداوردی-نیش آراسته
۲۴	۴۶	۲۲	۸۸.۱۵	۸۵.۹	۱۰۰۰	۹۹۹.۲	گلزار اول شرقی نیش احمدلو
۲۶	۴۷	۳۰	۸۸.۲۴	۸۶.۶۵	۱۰۰۰	۹۹۹.۶	نخجوان-احمد زمانی-اول لاریجانی
۲۷	۳۸	۲۶	۸۷.۴	۸۶.۲۸	۱۰۰۰	۹۹۹.۴	نخجوان-همایون-فرزین
۲۹	۶۵	۳۵	۸۹.۹۳	۸۷.۱۲	۱۰۰۱	۱۰۰۰	ولیمصر-اعجازی-نیش بن بست یکم
۳۰	۶۰	۳۸	۸۹.۴۶	۸۷.۴	۱۰۰۱	۱۰۰۰	ولیمصر-یاغ فردوس-اواسط طوس
۳۱	۴۹	۲۸	۸۸.۴۳	۸۶.۴۶	۱۰۰۰	۹۹۹.۵	ولیمصر-قیاضی-بعد از تختی
۳۲	۴۵	۳۰	۸۸.۰۶	۸۶.۶۵	۱۰۰۰	۹۹۹.۶	ولیمصر-محمودیه-نرسیده به صفای اصفهانی
۳۳	۷۰	۶۰	۹۰.۴	۸۹.۴۶	۱۰۰۱	۱۰۰۱	یاسر-موسوی بالا

لازم به ذکر است که در دو شکل بالا، واحد فشار بار، واحد آنتالپی کیلوژول بر کیلوگرم و واحد چگالی کیلوگرم بر متر مکعب می باشد. مشاهده می شود که مقدار چگالی آب تغییرات نسبتاً کمی در خروجی توربین دارد. دلیل این رفتار این است که آب یک سیال تراکم ناپذیر می باشد و تغییرات چگالی آن با تغییرات فشار بسیار کم است. اما تغییرات آنتالپی که خود تابعی از فشار است کاملاً محسوس می باشد.

در ادامه، قبل از ارائه نتایج مربوط به میزان توان تولیدی، معادلات به دست آمده و ارائه شده در این پژوهش مورد صحت سنجی قرار می گیرند. در فصل گذشته برای محاسبه دبی جریان عبوری از خط لوله و توربین دو رابطه معرفی گردیدند که یکی بر حسب مقادیر چگالی و فشار در ورودی توربین و دیگری بر حسب این مقادیر در خروجی توربین بودند. همانگونه که پیشتر اشاره شد، مقدار دبی جرمی جریان آب باید در ورودی و خروجی توربین یکسان باشد، در غیر این صورت در یک سمت توربین تجمع آب شکل خواهد گرفت که در مدت کوتاهی منجر به ترکیدگی لوله خواهد شد.

به همین دلیل، برای بررسی صحت روابط ارائه شده، مقدار دبی جرمی آب با استفاده از هر دو رابطه محاسبه شده و مورد مقایسه قرار گرفته است. شکل زیر نتایج حاصل از محاسبه دبی جرمی جریان آب از دو روش مذکور را به همراه درصد خطا بین مقادیر محاسبه شده توسط این دو روش را نشان می دهد.



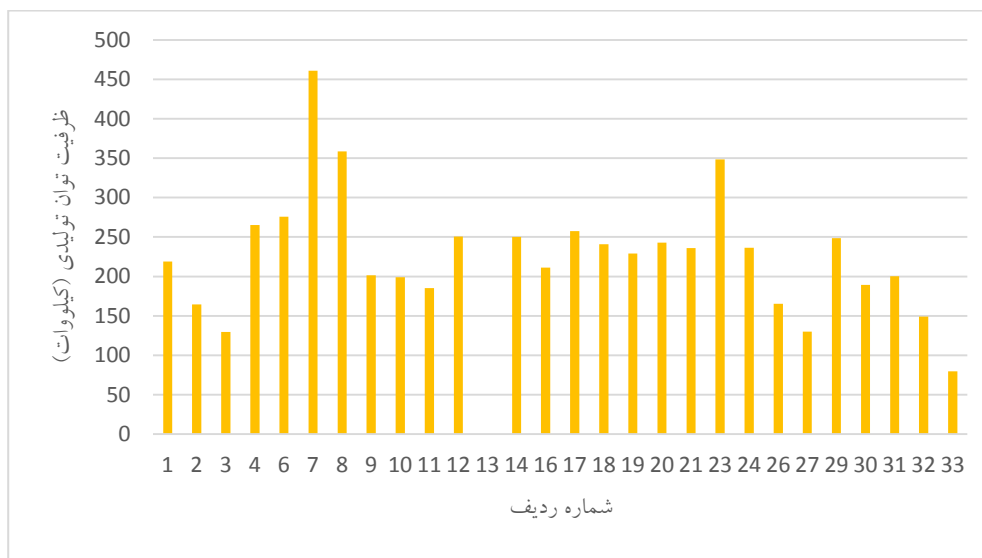
شکل ۴-۲۱ نتایج به دست آمده برای دبی جریان توسط دو رابطه، یکی بر اساس مقادیر فشار در ورودی و دیگری بر اساس مقادیر فشار در خروجی توربین هیدروکویل

در شکل ۴-۲۴ مشاهده می شود که دبی جریان آب در نقاط مختلف شبکه توزیع آب و در خطوط لوله با قطر ۲۰۰ سانتی متر، با توجه به میزان فشار در هر نقطه، بین حدود ۸۰ تا حدود ۱۳۰ کیلوگرم بر ثانیه می باشد. اما مهمتر آن است که میزان خطای بین دو فرمول ارائه شده برای محاسبه دبی جرمی جریان آب در تمامی موارد کمتر از ۱ درصد است که این نشان دهنده درستی ادعای این پژوهش و صحت روابط ارائه شده است.

در ادامه به بررسی ظرفیت توان تولیدی ناشی از جایگزینی توربین های هیدروکویل با شیرهای فشار شکن موجود در مناطق مختلف شبکه توزیع آب شهر تهران پرداخته می شود. در اینجا لازم است اشاره شود که محاسبات انجام شده بر این فرض استوار است که در هر نقطه از شبکه انتقال آب، توربین هیدروکویلی متناسب با همان منطقه نصب شده باشد. به این

معنی که توربین نصب شده شرایط فشاری مورد نیاز شبکه در آن نقطه را تأمین کند. یا به بیان دیگر، طراحی توربین به گونه ای باشد که در هر نقطه از شبکه، میزان فشار خروجی از توربین هیدروکویل برابر با میزان فشار خروجی از شیر فشار شکنی باشد که توربین جایگزین آن شده است.

همانگونه که در گذشته اشاره شد، در این پژوهش از داده های مربوط به خطوط لوله با قطر ۲۰۰ میلیمتر استفاده شده است. شکل زیر میزان توان تولیدی محاسبه شده توسط روابط ارائه شده در این پژوهش را نمایش می دهد.



شکل ۴-۲۲ نتایج به دست آمده میزان ظرفیت تولید توان توسط توربین های هیدروکویل برای نقاط مختلف شبکه توزیع آب منطقه ۱ تهران

مشاهده می شود که در اکثر موارد، جایگزینی شیر فشار شکن با توربین هیدروکویل می تواند به تولید توان بیش از ۱۰۰ کیلووات شود. در بیش از نیمی از موارد این تولید توان دارای ظرفیتی بیش از ۲۰۰ کیلووات است و در موارد معدودی توان بیش از ۳۰۰ کیلووات قابل دسترسی است. برای بررسی دقیق تر، مقادیر محاسبه شده در جدول زیر گزارش شده اند.

جدول ۴-۴ نتایج به دست آمده میزان ظرفیت تولید توان توسط توربین های هیدروکوئل برای نقاط مختلف شهر تهران

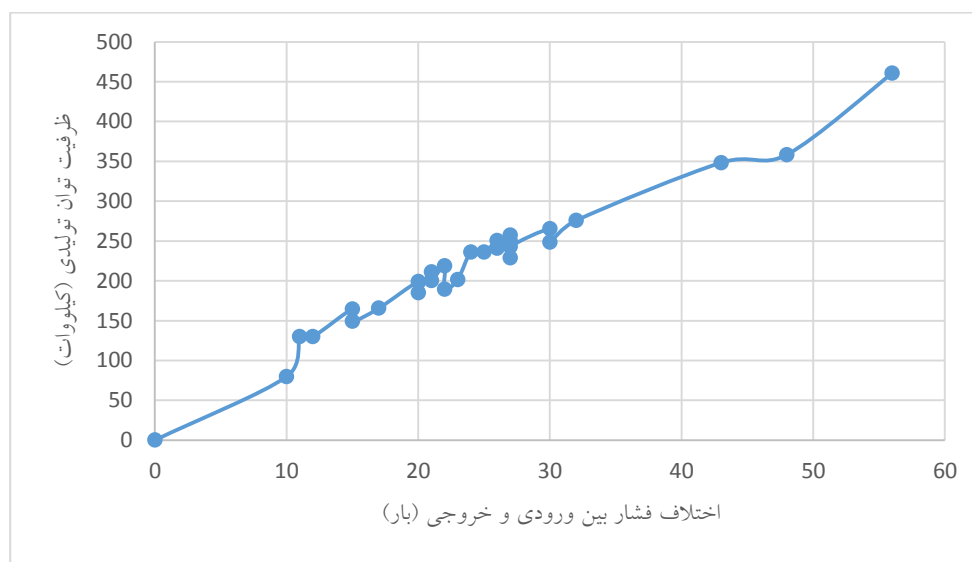
شماره منطقه	فشار ورودی (بار)	فشار خروجی (بار)	اختلاف فشار (بار)	ظرفیت توان خروجی (کیلووات)
1	45	23	22	218.9
2	37	22	15	164.6
3	32	21	11	129.8
4	57	27	30	265.3
6	60	28	32	275.8
7	66	10	56	460.7
8	80	32	48	358.4
9	58	35	23	201.6
10	45	25	20	199
11	52	32	20	185.1
12	48	22	26	250.6
13	32	32	0	0
14	52	25	27	250
16	44	23	21	211.3
17	49	22	27	257.5
18	52	26	26	240.7
19	62	35	27	228.9
20	55	28	27	243

شماره منطقه	فشار ورودی (بار)	فشار خروجی (بار)	اختلاف فشار (بار)	ظرفیت توان خروجی (کیلووات)
21	50	25	25	236
23	68	25	43	348.3
24	46	22	24	236.2
26	47	30	17	165.5
27	38	26	12	129.9
29	65	35	30	248.4
30	60	38	22	189.5
31	49	28	21	200.2
32	45	30	15	149.2
33	70	60	10	79.7

نتایج جدول بالا نشان می دهد که با صرف نظر کردن از مورد مربوط به ردیف ۱۳، با جایگزینی توربین های هیدروکوئیل در شبکه انتقال آب شهری منطقه یک شهر تهران و در خطوط لوله با قطر ۲۰۰ میلیمتر در مناطق مختلف، کمترین توان حدود ۸۰ کیلووات و بیشترین توان حدود ۴۶۰ کیلووات قابل دستیابی است. به طور مجموع، با استفاده از توربین های هیدروکوئیل در تمامی مناطق اشاره شده، به مقدار ۶,۱۲۴ مگاوات می توان توان تولید کرد که هرچند در مقیاس توان مصرفی شهری مانند تهران مقدار کمی است، اما به خودی خود رقم بالایی می باشد. البته لازم به ذکر است که در این مطالعه تنها لوله های با قطر ۲۰۰ میلیمتر مورد بررسی قرار گرفته اند و پیش بینی می شود که استفاده از تمامی ظرفیت ممکن به نتایج بسیار قابل توجی بیانجامد.

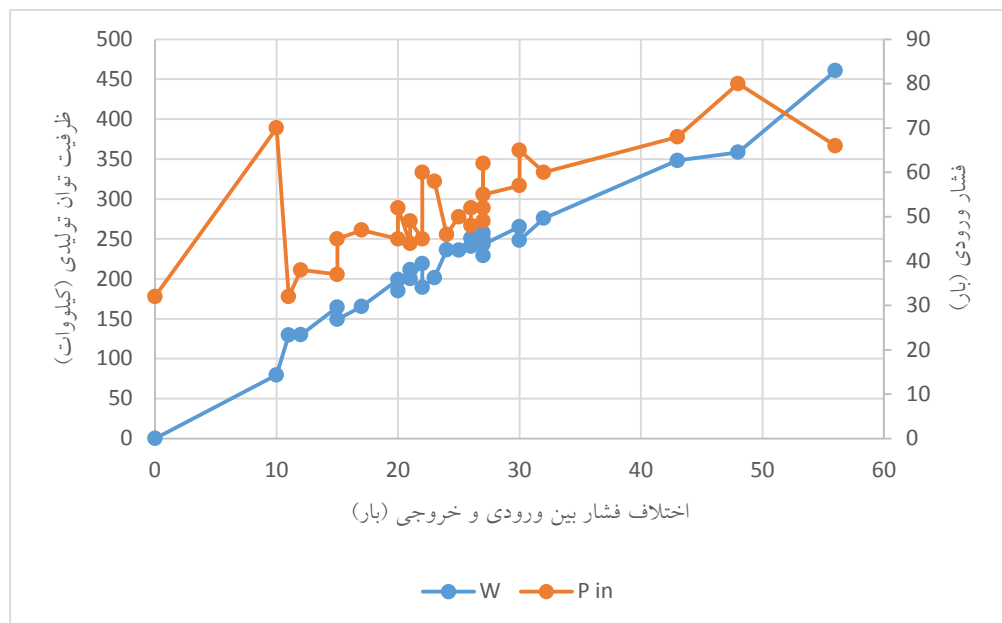
اما همانطور که در جدول ۴-۱ مشاهده می شود، در مورد شماره ۱۳، ظرفیت تولید توان برابر با صفر می باشد. این موضوع به این خاطر است که بر اساس داده های شهرداری شهر تهران، در این نقطه میزان فشار ورودی و خروجی توربین با یکدیگر است. این مسأله به این مفهوم است که توربین هیچ تأثیری در جریان آب نباید داشته باشد و بنابراین توان خروجی آن نیز باید برابر با صفر باشد.

در شکل بعدی، میزان توان تولیدی با میزان اختلاف فشار بین ورودی و خروجی توربین مقایسه شده است.



شکل ۴-۲۳ مقایسه توان تولیدی با اختلاف فشار بین دو سر توربین هیدروکویل

مشاهده می شود که به طور کلی با افزایش اختلاف فشار بین دو سر توربین، میزان توان تولیدی توسط توربین نیز افزایش می یابد. اما در این بین در برخی نقاط نیز که اکثراً میزان اختلاف فشار در آن ها نزدیک به یکدیگر می باشد، مقداری کاهش در توان تولیدی مشاهده می شود. برای بررسی این پدیده، شکل بعدی علاوه بر میزان توان تولیدی، مقدار فشار در ورودی توربین را نیز نمایش می دهد.



شکل ۴-۲۴ مقایسه همزمان توان تولیدی با فشار ورودی و اختلاف فشار بین دو سر توربین هیدروکویل

شکل ۴-۲۷ به خوبی دلیل این رفتار را نمایش می دهد. در مقایسه برخی از نقاط شبکه، با اینکه میزان اختلاف فشار بین دو سر توربین در یک نقطه بیشتر است، اما فشار ورودی توربین در این نقطه مقدار کمتری دارد که این موضوع باعث می شود تا توان تولیدی در این نقطه مقدار کمتری داشته باشد. اما به طور کلی می توان نتیجه گرفت که میزان اختلاف فشار نسبت به مقدار فشار ورودی تأثیر بیشتری روی ظرفیت توان تولیدی توربین دارد. به عنوان مثال با مقایسه دو نقطه آخر در سمت راست نمودار مشخص می گردد که با اینکه نقطه آخر دارای فشار ورودی کمتری می باشد، اما به دلیل داشتن اختلاف فشار بیشتر، منجر به تولید توان به مقدار بیشتری می گردد.

فصل پنجم :

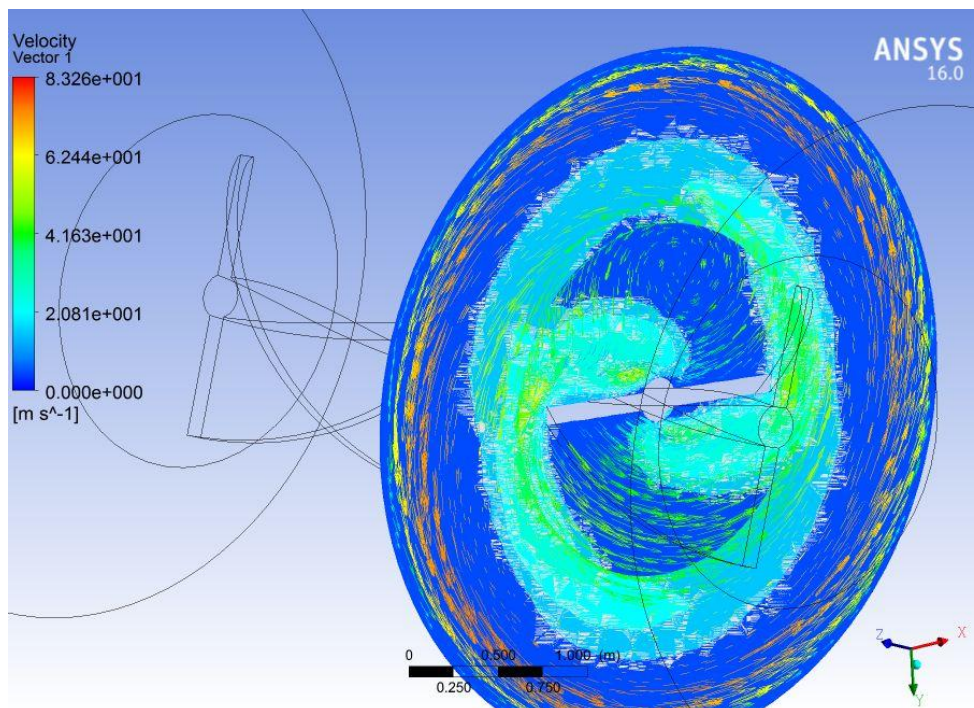
نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری

با توجه به تحقیق در بررسی های انجام شده که در فصل اول ارائه گردید و شرایط خطوط انتقال آب در شهر تهران که به دلیل اختلاف سطح با افزایش فشار روبرو می شویم، به این نتیجه رسیدیم که با استفاده از توربین های هیدروکویل می توان تولید انرژی الکتریسیته نمود و هم می توان از این توربین ها بعنوان فشار شکن استفاده کرد. پس با طراحی مدلی از این نمونه در نرم افزار انسیس مودال و تحلیل آن با توجه به داده های مستند اعم از فشار استاندارد خطوط لوله بین شهری که بین ۴ تا ۲ بار است و شرایط مرزی که خودمان با توجه به استاندارد های توربین ها بدست آوردیم، با نرم افزار انسیس فلوئنت انجام دادیم که در فصل های سوم و چهارم تمام مراحل طراحی و شبکه بندی را با جزییات توضیح دادیم و نتایج تحلیل را در قالب کانتور، وکتور و نمودار های فشار، سرعت، سینتیک انرژی توربلانسی، ضرایب درگ و لیفت و در نهایت توان خروجی، ارائه کردیم.

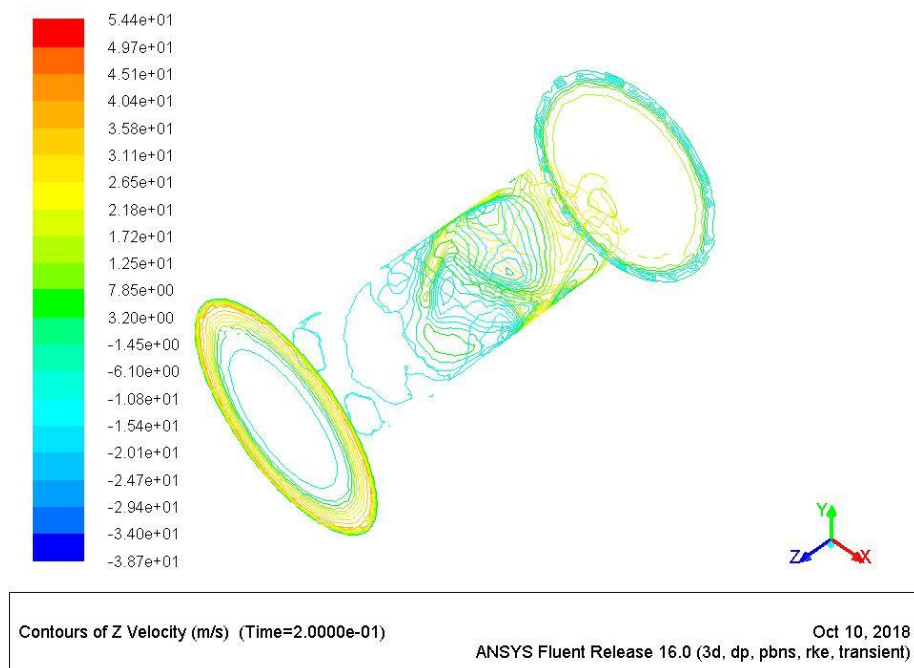
حال در این فصل می خواهیم با بررسی کاربردی نتایج فصل ۴، هدف تحقیق و بررسی دقیق تریکی از نمودار های توان نتایج را جمع بندی نماییم.

با توجه به کانتور های فشار و سرعت دیدیم که با عبور جریان میتوان هم افت فشار داشت هم کاهش سرعت که برای دید کاملتر به به نوع حرکت جریان در داخل توربین وکتور یک برش از توربین در شکل (۵-۱) ارائه می دهیم.



شکل ۵-۱ برشی از داخل توربین

با توجه به برش فوق که در واقع کانتور سرعت است با نمایش سینتیک توربولانس در همان برش میتوان دید که علاوه بر زون اصلی توربین توربین در زون لوله نیز چرخش ایجاد میکند در این حد که سرعت جهت دار اندازه چرخش از داخل توربین هم بیشتر است که به دلیل گریز از مرکز این امر طبیعی است. اما برای نمایش بهتر و درک تفاوت اندازه سرعت با سرعت در جهت حرکت جریان یک کانتور دیگر از سرعت در جهت z در قالب شکل (۲-۵) در زیر ارائه می دهیم، که در آن می توان دید سرعت در جهت z در داخل زون توربین از زون لوله در اواخر مدل بیشتر است اما اختلاف آن زیاد نیست.



شکل ۵-۲ کاتور سرعت در جهت Z

حال به توضیح نتایج ضرایب درگ ولیفت پردازیم که ارائه آن از این جهت بود که با توجه به سرعت های خروجی و ثوابت، نیروی وارده بر توربین را بتوان بهتر لمس کرد و از آنها برای بررسی نتایج توان خروجی استفاده نماییم. البته همانطور که در فصل قبل دیدیم و از دید نظری هم ضرایب باید رفتاری مشابه اما در مقابله را به دلیل توازن هندسی و چرخش پره ها ارائه میدادند، نمودار ها مشابه خواستگاه ما بود.

در نهایت به صورت کوتاه به بحث و بررسی نتیجه توان که در شکل های (۱۷-۴) و (۱۸-۴) در فصل چهارم آمده است میپردازیم. همانگونه که مشاهده کردیم با افزایش فشار توان خروجی افزایش می یابد که در فشار ۴ بار توربین به ما ۳,۵ کیلو وات بر ساعت میدهد که با نرمال برق مصرفی یک واحد مسکونی که حدود ۱۵۰ کیلو وات بر ساعت است بسیار فاصله دارد که دلیل آن مقیاس کوچک مدل ما با قطر زون لوله ۲۰ سانتیمتر بود اما قطر خطوط انتقال بسیار بزرگتر است و افزایش قطر افزایش توانی در توان دارد.

۵-۲- پیشنهادات

۱- با توجه به نتایج حاصله دیدیم که به راحتی می توان از این توربین ها به عنوان ایستگاه فشارشکن استفاده کرد.

۲- با توجه به اختلاف مقیاس مدل توربین ما با خطوط لوله در آن ابعاد که انرژی مورد ملاحظه ای تولید می کند و اختلاف سطح شهر تهران ، می توان در تحقیقات دیگر با بررسی میزان مصرف هر منطقه و تعداد مورد نیاز توربین برای تامین برق مصرفی کل برق شهر تهران این روش را جایگزین نیرو گاه های فسیلی و خطوط انتقال نیرو پر خرج نمود.

۳- این روش از نظر محیط زیستی بسیار بهتر از روشهای مورد استفاده حال حاضر است و می توان در تحقیقات بیشتر از مدل های توربین های دیگر و ایجاد بستر مناسب میزان بهره وری را بالا برد و مدلی نهایی را به مراجع قانونی ذی ربط برای جایگزینی ارائه داد.

مراجع

- [1] Thake, J., 2000. The Micro-hydro Pelton Turbine Manual"; ITDG Publishing.
- [2].Singh P. Optimization of Internal Hydraulics and of System Design for Pumpsas Turbines with Field Implementation and Evaluation|| , Ph.D. Thesis,University of Karlsruhe,2005
- [3]. Rama S. R. Gorla and Aijaz A. Khan, —Turbo Machinery Design and Theory|| , 2003.
- [4] Moffat, R.J., 1982. Contributions To The Theory of Single-Sample Uncertainty Analysis"; ASME Journal of Fluids and Engineering, 104, 250–260.
- [5]D. Thoma, Vorgaenge beim Ausfallen des Antriebes von Kreiselpumpen, vol. 4, Mitt. Hyd. Inst. Tech. Hochschule, Muenchen, Germany, 1931. pp. 102–104
- [6] www.hydrocoilpower.com
- [7] A.A. Williams, Pumps as Turbines used with Induction Generators for Standalone Micro-hydroelectric Power Plants, PhD Thesis, Nottingham Trent University, 1992, pp. 51–80, 88–91, 149–153.
- [8] report. International Energy Agency (IEA). Retrieved 1 June 2016
- [9]. Retrieved 2009-01-30. 98-99% of Norway's electricity comes from hydroelectric plants.٢٢-٠١-٢٠٠٩ .
- [10] Marco Casini, Harvesting energy from in-pipe hydro systems at urban and building scale, International Journal of Smart Grid and Clean Energy, October 2015
- [11] M. Amelio, S. Barbarelli, A one-dimensional numerical model for calculating the efficiency of pumps as turbines for implementation in micro hydro power plants, In: ASME 7th Biennial Conference on Engineering System Design and Analysis, 2004, pp. 65–77.
- [12] S. Derakhshan, A. Nourbakhsh, Experimental study of characteristic curves of centrifugal pumps working as turbines in different specific speeds, Elsevier J. Exp. Therm. Fluid Sci. 32 (2008) 800–807.
- [13]. Chapallaz J.M., Eichenberger P., Fischer G., —Manual on Pumps Used as Turbines|| , Vieweg, Braunschweig, 1992.
- [14] V. Sanjay, R.N. Jain, Investigations on pump running in turbine mode: a review of the state-of-the-art, Renew. Sustain. Energy Rev. (2014) 841e868
- [15] Tarang Agarwal, Review of pump as turbine (PAT) for micro-hydropower, Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng. 2 (11) (2012)
- [16] Jiyun Du, Hongxing Yang, Zhicheng Shen, Jian Chen, Micro hydro power generation from water supply system in high rise buildings using pump as turbines, Energy (2017),doi: 10.1016/j.energy.2017.03. 23

- [17] Jin-wei Li. Numerical simulation of hydraulic force on the impeller of reversible pump turbines in generating mode. 2017,29(4):603-609
- [18] Francesco Pugliese a, *, Francesco De Paola a, Nicola Fontana b, Maurizio Giugni . Experimental characterization of two Pumps As Turbines for hydropower generation. Renewable Energy 99 (2016) 180e187
- [19] Mauro Venturini□, Lucrezia Manservigi, Stefano Alvisi, Silvio Simani , Development of a physics-based model to predict the performance of pumps as turbines , Applied Energy 231 (2018) 343–354
- [20] Zhigang Zuo, Shuhong Liu . Flow-Induced Instabilities in Pump-Turbines in China , Engineering 3 (2017) 504–511
- [21] Deyou Li a, Hongjie Wang a, *, Yonglin Qin a, Zhenggui Li b, **, Xianzhu Wei c, Daqing Qin, Mechanism of high amplitude low frequency fluctuations in a pumpturbine in pump mode, Renewable Energy 126 (2018) 668e680
- [22] Yue Hao, Lei Tan, Symmetrical and unsymmetrical tip clearances on cavitation performance and radial force of a mixed flow pump as turbine at pump mode. Renewable Energy 127 (2018) 368e376
- [23] Daniele Novara□, Aonghus McNabola, A model for the extrapolation of the characteristic curves of Pumps as Turbines from a datum Best Efficiency Point. Energy Conversion and Management 174 (2018) 1–7
- [24] J. Ferziger, M. Peric, Computational methods for fluid dynamics. Springer,2002
- [25] Olimstad G., Nielsen T., Børresen B. Stability limits of reversible-pump turbines in turbine mode of operation and measurements of unstable characteristics [J]. Journal of Fluids Engineering, 2012, 134(11): 111202.
- [26]Richard J. DeLuca.HydroCoil Power, Inc company .Executive SummaryDecember 21, 2011
- [27] Nechleba, M., 1957. Hydraulic Turbines, Their Design and Equipment; Artia Prague Publishing
- [28] C.Rorres,Optimal design of an Archemedes screw,journal of Hydrolic Research, Vol.126, No. 1 ,2000.
- [29]Muller,G.,Senior,j. Simplified theory of Archimedean screws , journal of Hydrolic Research, Vol.47, No. 5,2009.
- [30]. Omami AHM, Yassi Y, Nourbakhsh A, Najafi AF Design and numerical analysys of hydro coil turbine with constant and variable pitch's blade. Tabriz University Journal of Mechanical Engineering. July, 2018
- [31] Marco Casini. Harvesting energy from in-pipe hydro systems at urban and building scale, International Journal of Smart Grid and Clean Energy, Vol. 4, No. 4, 2015, pp: 316-327.
- [32] Çengel, Y.A., Boles, M.A., Thermodynamics: An Engineering Approach. McGraw-Hill Education, 2014.

[33] Çengel, Y.A., Cimbala, J., Fluid Mechanics Fundamentals and Applications: Third Edition, McGraw-Hill Higher Education, 2013

[۳۴] دفتر پژوهش و اجرای طرح های عمرانی شرکت آب و فاضلاب استان تهران

[۳۵] نوربخش، سید احمد، ۵۸۱۱. توربوماشین ها، ویرایش دوم، انتشارات دانشگاه تهران

[۳۶] علی حسینی مقدم امامی، یوسف یاسی، طراحی، مدلسازی و تحلیل عددی توربین هیدروکوئل با گام

ثابت، مجله فنی و مهندسی فناوریهای نوین در سیستم های انرژی، پاییز ۱۳۹۴

Abstract:

The feasibility of using hydrocoil turbines as micro hydroelectric power plants and Pressure reducing valve in water urban lines and water distribution networks in Tehran.

Introdoction: At the same time as the future energy crisis in the world, energy management in our country has become more and more important. One of the issues that came out of the energy crisis is the scattered generation of renewable energy sources. Micro-power plants are one of the most widely distributed renewable sources in our country, which, given the wide range of water potential in terms of water availability and water availability, needs to be planned for the purpose of extracting electricity from these ideal energies.

Materials and Methods: Inclined areas, such as Tehran, which also have very strong water pipelines, are among the potent potentials for installing micro-turbines in the water. The difference in height between the reservoirs and the slope of the pipelines has provided a strong pressure head for power generation. The main issue is the high cost of creating a micro-hydro-electric plant using micro-turbine micro-turbines, including the Plycon turbine. One of the ways to reduce the cost per kilowatt of a micro-power plant is to use a hydrocoil turbine.

Results: According to the research carried out in the studies and the conditions of the water pipelines in Tehran, due to the difference in surface area with increasing pressure, we concluded that hydrocarbon turbines can generate electricity and These turbines can also be used as pressure breakers. So, designing a model of this sample in the Unix Modal software and analyzing it with respect to the documentary data, including the standard pressure of the intercontinental pipelines between 4 and 2 times, and the boundary conditions we have obtained according to the standards of the turbines. We presented the analysis results in the form of contour, vector and pressure, velocity, turbulence energy kinetics, drag and lift coefficients, and ultimately The feasibility and output power.

Keyword: Hydro-coil turbine, Micro hydroelectric power station, Micro turbine, Urban water pipelines



Energy Institute for Higher Education
Faculty Of Engineering
Department Of Energy System Engineering – Energy Tecnology

Thesis For
Degree Of master Of Seience (M.Sc)

Titel:

The feasibility of using hydrocoil turbines as micro hydroelectric power plants
and Pressure reducing valve in water urban lines and water distribution
networks in Tehran

Sopervisor:

Dr Yousef Yassi

By:

Seyed Fariborz Mirfalah Lialestani

Winter 2019