فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه مولفین ۱۱

توربوماشین – مقدمه ۱۳

فصل اول : کلیات و قوانین پایه در توربوماشین

مقدمه ۱۸

۱-۱ : معادله انتگرالی حرکت سیال ۱۹

۱-۱-۱ : معادله انتگرالی اصل بقای جرم ۲۰

۱-۱-۲ : معادله انتگرالی بقای مومنتوم خطی ۲۲

۱-۱-۳ : معادله انتگرالی بقای مومنتوم زاویه ای ۲۷

۱-۱-۴: معادله انتگرالی بقای انرژی ۳۱

۱-۱-۵ : معادله انتگرالی اصل آنتروپی (قانون دوم ترمودینامیک) ۳۵

فصل دوم : پمپ گریز از مرکز

مقدمه ۳۹

۲-۱ : اجزای اصلی پمپ گریز از مرکز ۴۰

۲-۱-۱ : هدایت کننده ۴۰

۲-۱-۲ : چرخ متحرک ۴۱

۲-۱-۳ : دیفیوزر (پوسته) ۴۴

۲-۱-۴ : جمع کننده ۴۵

۲-۱-۵ : محور پمپ ۴۵

۲-۱-۶ : یاتاقان ها،جعبه آب بندی، پوسته و کاسه نمدها ۴۶

۲-۲ : جریان سیال در پمپ ها ۴۷

۲-۲-۱ : مثلث سرعت ها در یک چرخ متحرک شعاعی (معادلات اویلر) ۴۷

۲-۲-۲ : درجه عکس العمل در توربوماشین ۵۲

۲-۳ : تلفات در پمپ ها ۵۴

۲-۳-۱ : تلفات دبی داخلی (تلفات حجمی) ۵۵

۲-۳-۲ : تلفات ناشی از انحراف زاویه ای پره در خروج ۵۶

۲-۳-۳ : تلفات ناشی از لزجت سیال (تلفات هیدرولیکی) ۵۸

۲-۳-۴ : تلفات ناشی از اصطکاک مکانیکی ۵۹
۲-۴ : منحنی ارتفاع تئوریک با دبی در پمپ ها ۶۰
۲-۵ : منحنی واقعی ارتفاع با دبی در پمپ ها ۶۳
۲-۶ : منحنی تغییرات توان تئوریک با دبی پمپ ۶۴
۲-۷ : قوانین تشابه در توربوماشین ۶۷
۲-۸ : سرعت مخصوص در پمپ ها ۷۶
۲-۸-۱ : رابطه راندمان پمپ با سرعت مخصوص ۸۲
۲-۹ : منحنی های مشخصه پمپ ۸۴
۲-۹-۱ : اثر تغییر سرعت دورانی پمپ در منحنی مشخصه آن ۸۷
۲-۹-۲ : اثر قطر چرخ متحرک در منحنی مشخصه پمپ ۸۹
۲-۹-۳ : اثر ضریب لزجت سیال در منحنی مشخصه ۹۰
۲-۱۰ : کاویتاسیون در پمپ ها ۹۱
۲-۱۰-۱ : بررسی شرایط عدم ایجاد کاویتاسیون ۹۲
۲-۱۰-۲ : ارتفاع خالص مکش مثبت (NPSH) ۹۴
۲-۱۰-۳ : ارتفاع مکش مناسب در پمپ ها ۹۷
۲-۱۱ : مواد فلزی ساختمان پمپ ها و مکانیزم های تخریب آنها ۹۹
۲-۱۱-۱ : تردی هیدروژنی ۹۹
۲-۱۱-۲ : خوردگی میکروبیولوژی ۹۹
۲-۱۲ : ارتعاش در پمپ های گریز از مرکز ۱۰۰
۲-۱۲-۱ : عوامل ایجاد ارتعاش ۱۰۰
۲-۱۲-۲ : روش های اندازه گیری ارتعاش در پمپ ها ۱۰۰
۲-۱۲-۳ : روش های حذف ارتعاشات پمپ ها ۱۰۱
۲-۱۳ : حرارت در پمپ های گریز از مرکز ۱۰۲
۲-۱۳-۱ : تاثیرات افزایش دما بر کارکرد پمپ ۱۰۳
۲-۱۳-۲ : روش های کاهش تولید حرارت در پمپ ۱۰۳
۲-۱۴ : طراحی و انتخاب پمپ ۱۰۴
۲-۱۴-۱ : انتخاب سرعت دورانی پمپ ۱۰۴
۲-۱۴-۲ : ابعاد اصلی چرخ متحرک ۱۰۵
۲-۱۴-۳ : شکل پره های چرخ متحرک ۱۱۲
۲-۱۴-۴ : ضخامت و تعداد پره ۱۱۳
۲-۱۴-۵ : طرح لوله حلزونی ۱۱۴

۶-۱۴-۲ : نیروی محوری وارد بر چرخ متحرک ۱۱۷
پروژه ۱ : ۱۱۸
۱۵-۲ : کاربرد پمپ های گریز از مرکز ۱۲۹
۱-۱۵-۲ : ترکیب چند پمپ به صورت موازی ۱۳۱
۲-۱۵-۲ : ترکیب چند پمپ به صورت سری ۱۳۳

فصل سوم : توربین آبی

مقدمه ۱۳۸
۱-۳ : مثلث سرعتها در توربینهای شعاعی ۱۴۱
۲-۳ : افتهای انرژی در توربین ۱۴۳
۳-۳ : تغییرات دبی با ارتفاع در توربین شعاعی ۱۴۶
۴-۳ : مشخصه یک توربین با سرعت دورانی ثابت و وسیله تنظیم متغیر ۱۴۹
۵-۳ : درجه عکس العمل در توربین شعاعی ۱۵۲
۶-۳ : سرعت مخصوص در توربین ها ۱۵۳
۷-۳ : کاویتاسیون در توربین های آبی ۱۵۷
۸-۳ : عدد توما در توربین ۱۶۰
۹-۳ : انواع توربین های آبی ۱۶۳
۱-۹-۳ : توربین فرانسیس ۱۶۶
۲-۹-۳ : توربین کاپلان ۱۷۶
۳-۹-۳ : توربین پلتون ۱۸۲
پروژه ۲ : ۲۰۳
۱۰-۳ : نیرو گاه های آبی ۲۰۸
۱-۱۰-۳ : تاریخچه نیروگاه های آبی ۲۰۹
۲-۱۰-۳ : انواع نیروگاه های آبی ۲۱۰
۳-۱۰-۳ : معیارهای انتخاب مکان مناسب جهت ساخت نیروگاه آبی ۲۱۲
۴-۱۰-۳ : تقسیم بندی نیروگاه های آبی ۲۱۳
۵-۱۰-۳ : مزایا و معایب نیروگاه های آبی ۲۱۶

فصل چهارم : توربین گاز - موتور هواپیما

مقدمه ۲۲۰
۱-۴ : سیکل توربین گاز ایده آل ۲۲۲
۲-۴ : سیکل توربین گاز واقعی ۲۳۰

۴-۳ : راندمان پلی تروپیک در سیکل توربین گاز ۲۳۷
۴-۴ : قوانین عکس العمل ۲۴۱
۴-۵ : رم جت ۲۴۹
۴-۶ : توربوجت ۲۵۲
۴-۶-۱ : قسمت های اصلی موتور توربو جت ۲۵۴
۴-۶-۲ : سیکل موتور توربوجت ۲۵۶
۴-۷ : توربوفن ۲۶۴
پروژه ۳ : ۲۷۵
۴-۸ : پروانه هواپیما ۲۸۳
۴-۹ : توربوپراپ ۲۸۷
۴-۱۰ : توربو شفت ۲۹۱
۴-۱۱ : معادله حرکت موشک ۲۹۲
۴-۱۲ : آسیاب بادی ۲۹۶

فصل پنجم : کمپرسور گریز از مرکز

مقدمه ۳۰۰
۵-۱ : طرز کار کمپرسور گریز از مرکز ۳۰۱
۵-۲ : افزایش فشار در کمپرسور گریز از مرکز ۳۰۳
۵-۳ : ضرایب بی بعد در کمپرسور گریز از مرکز ۳۰۶
۵-۳-۱ : ضریب جریان ۳۰۶
۵-۳-۲ : ضریب ارتفاع ۳۰۶
۵-۳-۳ : ضریب فشار ۳۰۷
۵-۳-۴ : درجه عکس العمل ۳۰۷
۵-۳-۵ : ضریب لغزش ۳۰۷
۵-۴ : تاثیر شکل پره در کمپرسور گریز از مرکز ۳۱۲
۵-۵ : تعیین پارامترهای عمده کمپرسور گریز از مرکز ۳۱۵

فصل ششم : کمپرسور محوری

مقدمه ۳۲۲
۶-۱ : مسیر حرکت هوا ۳۲۲
۶-۲ : مثلث سرعت ها در کمپرسور محوری ۳۲۹
۶-۳ : بررسی دو بعدی پره ها ۳۳۶

۶-۳-۱ : شکل پره ۳۳۶
۶-۳-۲ : تنظیم پره ها در توربوماشین ۳۴۹
۶-۴ : ضرایب بی بعد در کمپرسور محوری ۳۵۱
۶-۴-۱ : ضریب جریان ۳۵۱
۶-۴-۲ : درجه عکس العمل ۳۵۱
۶-۴-۳ : ضریب بار طبقه ۳۵۵
۶-۵ : بررسی افزایش فشار در هر طبقه کمپرسور محوری ۳۵۶
پروژه ۴ : ۳۶۶
پروژه ۵ : ۳۸۸

فصل هفتم : توربین گاز با جریان محوری

مقدمه ۴۱۷
۷-۱ : توربین های محوری ۴۱۸
۷-۲ : مثلث سرعت ها ۴۱۹
۷-۳ : ضرایب بی بعد در توربین با جریان محوری ۴۲۷
۷-۳-۱ : درجه عکس العمل ۴۲۷
۷-۳-۲ : ضریب افت درجه حرارت ۴۲۸
۷-۳-۳ : ضریب جریان ۴۲۹
۷-۴ : مقدمه ای بر طراحی سه بعدی توربین محوری ۴۳۳
پروژه ۶ : ۴۳۸

واژه نامه انگلیسی ۴۵۱
پیوست ها و شکل ها ۴۶۴
منابع و مآخذ ۴۹۰

مقدمه مولفین:

حمد و سپاس مخصوص خداوند باری تعالی است که بر بندگان خود منت نهاده و آنان را به زینت ایمان و معرفت آراسته و نعمت وجود علم را چنان نگینی درخشان سرلوحه وجودشان ساخته است.

اکنون زمان آن رسیده است که دانشجویان عزیز هر روز بر توانایی های علمی و عملی خود افزوده و همگام با عصر جدیدی که در پیش دارند به سمت پیشرفت و تعالی حرکت نمایند. برای حل مشکلات علمی و صنعتی کشور نیز باید اساتید و مهندسین به اصول علمی روز مجهز گردند که این مهم نیز بدون شناخت کمبودهای علمی و فنی میسر نخواهد بود. بدیهی است موفقیت در چنین امری بستگی به ارائه منطقی تئوری های بنیادی مباحث مختلف داشته و بدون درک واقعی فرضیات موجود در یک موضوع، استفاده صحیح از آنها جهت حل یک مسئله بسیار مشکل خواهد بود. یکی از عوامل مهم که نقش موثری در این پیشبرد دارد، کتاب های علمی هستند که کلیه مطالب ذی ربط در آنها گنجانیده شده باشند.

کتاب حاضر درزمینه یکی از جالب ترین مباحث مهندسی، یعنی توربوماشین است. توربوماشین، موضوع مهمی از کاربرد تئوری های علم مکانیک سیالات می باشد که در مورد فرایند انتقال انرژی بین روتور و سیال عبور کننده از آن بحث می‌کند. علیرغم اهمیت و گستردگی موضوع فوق و اینکه این ماشین ها به عنوان موتور تحولات صنعتی در جامعه جدید بشری تلقی گردیده و نقش آنها در چند دهه اخیر بارز و روشن است و لیکن به دلیل محدودیت های موجود در مواد آموزشی دروس مهندسی مکانیک فرصت لازم برای تشریح کلیه مسائل مربوط به آن وجود ندارد.

آنچه ما را به تهیه این کتاب واداشته است، عدم وجود کتابی مشتمل بر تئوری کاربردی به زبان فارسی است که باگذشت زمان بر ادامه کاربرد آن افزوده می‌شود.

کتاب مشتمل بر هفت فصل است که در هر فصل اصول نظری مربوط به آن به زبان علمی بیان گردیده است تا درک مطالب علمی و فنی برای دانشجویان مهندسی مکانیک امکان پذیر باشد.

هدف اصلی در این کتاب بررسی روش های انتقال انرژی در انواع توربوماشین با استفاده از قوانین موجود در مکانیک سیالات و ترمودینامیک است. کتاب با تمرکز بر مباحث تحلیلی، به صورت ساده و روشن تنظیم گردیده تا بتواند بدون پرداختن به مباحث پراکنده و ارائه تئوری‌های پیچیده به مباحث اصلی مطرح شده در توربوماشین و کاربرد این تئوری ها در سیستم های واقعی بپردازد. درنتیجه ابتدا اصول و قوانین کلی را به‌صورت مبسوط مورد بحث قرار داده آنگاه برای درک بهتر، مسائل مختلف را حل نموده و کاربرد آن ها را در صنعت بیان نموده است.

نظر به اینکه در ایام کار، مطالعه و تدریس ضمن برخورد با مسائل غامض و پیچیده یادداشت هایی تهیه شده و در محتوی آنها به تناسب زمان و با کسب اطلاعات جامع تر و جدیدتر تجدید نظر شده است آنها را در کتاب حاضر جمع آوری نموده ایم که بی شک مانند تمامی آثار و مصنوعات زاییده اندیشه بشری خالی از اشکال نخواهد بود. از آنجایی که مولفان صمیمانه معتقدند که مفید واقع شدن یک خدمت علمی بزرگ ترین پاداش قابل انتظار بوده و هدف اصلی توسعه افکار و بالا بردن معلومات و تجارب علمی دانشجویان می باشد، از دانشجویان، متخصصان، صنعت‌گران و اساتید گرامی استدعا داریم در صورت برخورد به مطالب نارسا و یا نشان دادن راه حل بهتر و

علمی تر بر ما منت نهاده پیشنهادات و انتقادات را متذکر گردند تـا در چـاپ هـای بعـدی اصـلاح گردد.

در پایان وظیفه خود می‌دانیم از زحمات سرکار خانم ها مهندس سـحر اسـکندری و مهنـدس زهرا خزائی به علت ویراستاری علمی و ادبی، از آقای مهندس عباس الکائی به علـت بررسـی جداول، انتخاب شکل ها و کنتـرل نهـایی و از حـوزه معاونـت پژوهشـی دانشـگاه صـنعتی نوشیروانی بابل خصوصا جناب آقای دکتر داوود دومیری گنجی که امکان چاپ و انتشار ایـن کتاب را فراهم نموده‌اند و بالاخره از خانواده محترم که اجازه دادند وقت مشترک آنهـا را بـه این کتاب اختصاص دهیم صمیمانه تشکر و قدردانی نماییم.

دکتر مفید گرجی

مهندس میر حسن اسدیان

توربوماشین

مقدمه:

طراحی توربوماشینها از عملی ترین کاربردهای مکانیک سیالات می باشد. به طور کلی توربوماشینها وسایلی هستند که از یک یا چند چرخ که به دور محوری می چرخند تشکیل شده‌اند و در اثر عمل دینامیکی این چرخ با سیالی که در ماشین به طور پیوسته در جریان است، تبادل انرژی صورت می گیرد. در نتیجه به هر دستگاهی که بتواند از یک جریان مداوم سیال انرژی بگیرد و یا به آن انرژی بدهد، توربوماشین گویند. یک توربوماشین شامل: روتور، چرخ یا پروانه، محور و تعدادی پره است و همواره بین دو محیط متفاوت از نظر ارتفاع هندسی (اختلاف فشار) قرارگرفته وانرژی سیال در ورود و خروج از ماشین با یکدیگر متفاوت می باشد. عامل انتقال انرژی بین سیال و ماشین، حرکت دورانی مجموعه پره ها و محور توربوماشین می باشد.

توربوماشین ها از لحاظ انتقال انرژی بر دو دسته اند:

۱- آن دسته که قدرت جذب می کنند تا به سیال انرژی داده و فشار و ارتفاع سیال را بالا برده و یا نیروی پیشرانی به وجود آورند. پمپ ها، کمپرسورها، دمنده ها، فن ها و پروانه های هواپیماها و کشتی ها از این دسته اند.

۲- آنهایی که از سیال انرژی گرفته قدرت تولید می کنند. در این گونه توربوماشین ها سیال از یک محیط با ارتفاع فشاری (و یا انرژی جنبشی) بیشتر وارد ماشین شده و با انرژی کمتری از آن خارج و قدرت خود را صرف چرخاندن محور ماشین می کند. توربینهای آبی، توربینهای بخار و گاز، توربوجت ها و موتور هواپیماها از این نوع میباشند.

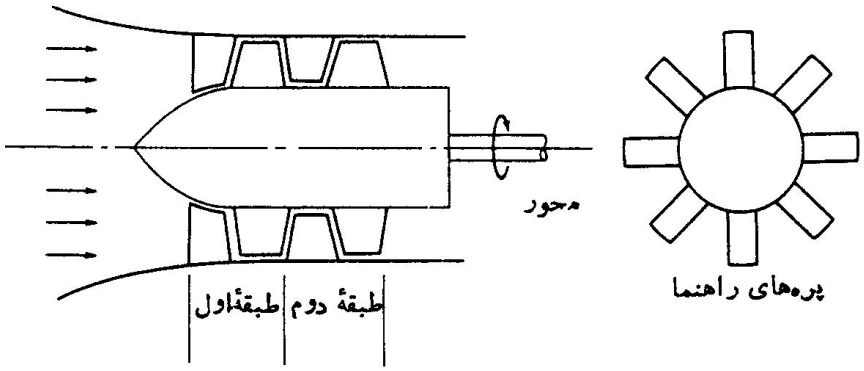
توربوماشین ها را برحسب نوع سیال مورد استفاده در آنها به دو دسته تقسیم بندی میکنند:

۱- توربوماشین هیدرولیکی، که با سیال غیرقابل تراکم مانند آب، روغن و یا سوخت مایع کار می کند و چگالی سیال در فرآیندکار ثابت می ماند. توربین های آبی از این نوع هستند.

۲- توربوماشین حرارتی، که با سیال قابل تراکم مانند هوا یا بخار آب کارکرده و چگالی سیال در فرآیند کار ماشین در اثر تغییر فشار، تغییر می‌کند.

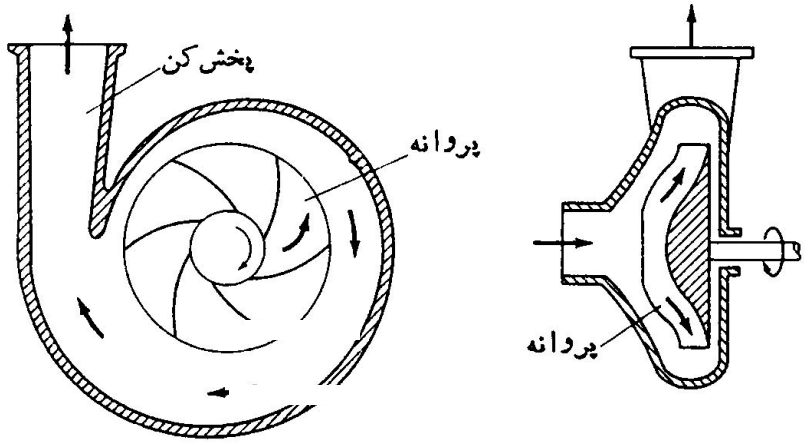
جزء اصلی توربوماشین روتور آن است که مشتمل بر تعدادی پره متحرک بوده و توسط جداره ای از محیط اطراف خود جدا شده و سیال در فضای محدود بین روتور و جداره حرکت می کند. برحسب نوع مسیرجریان در روتور، توربوماشین ها عمدتا بردو دسته اند:

۱- توربوماشین با جریان محوری، که مسیر جریان موازی محور چرخش ماشین می باشد. در شکل (۱) یک کمپرسور جریان محوری که از دو مجموعه پره ساکن و دو مجموعه پره متحرک تشکیل یافته و کمپرسور دو طبقه نامیده می شود نشان داده شده است.



شکل (۱): کمپرسور جریان محوری دو طبقه

۲- توربوماشین با جریان شعاعی، که مسیر جریان درصفحه عمود بر محور چرخش میباشد. شکل (۲) یک پمپ گریز از مرکز را نشان می دهد که آب به طور محوری وارد آن شده و با رسیدن به پروانه، توسط پره ها الزاما حرکت شعاعی گرفته و سپس از قسمت بیرونی خارج می گردد.



شکل (۲): پمپ گریز از مرکز

اگر در یک توربوماشین، سیال از تمامی ورودی چرخ وارد ماشین گردد آنرا توربین با تزریق کامل گویند (مانند چرخ توربین فرانسیس)، در این‌گونه توربین ها وقتی سیال در ناحیه بین یک جفت از تیغه ها جریان دارد در فشار استاتیک آن کاهش ایجاد می گردد. در حالیکه اگر سیال فقط از یک قسمت ازسطح ورودی ماشین وارد چرخ گردد آن را توربین با تزریق ناقص گویند (مانند چرخ پلتون). درچرخ پلتون کل تغییر فشار در یک یا چند نازل رخ داده و فشار استاتیک درتمام زمان ها ثابت می ماند. در این‌گونه توربین ها سیال توسط نازلها به روتور آن هدایت می گردد، در این صورت آن را توربوماشین عکس‌العملی نیز گویند. در شکل (۳) تقسیم بندی انواع توربوماشین ها، نشان داده شده است که در طول کتاب نیز به طرز کار، ساختمان و موارد استعمال آنها اشاره خواهد شد.

در نتیجه جدول زیر به دست خواهد آمد:

دبی (متر مکعب در دقیقه)	۰	۹/۲۸	٤/٦٤	۱۸/٥٦	۱۳/۹۲	۲۷/۸	۳۲/۲	۳۷	۳۲/٥
ارتفاع (متر)	۰	۲٦/٥	٤٦/۸	٦۱/٥	٦۹/٥	۷۱/۹	۷٤	۷۳/۳	۷۳/۲
راندمان (درصد)	۰	٥۱	۷٤	۸۳	۸۳	۷٤	٦۰	٤۱	۰

۸-۲: سرعت مخصوص در پمپ ها

براساس روابط (۳۱-۲) و (۳۲-۲) داریم:

$$\frac{D_I^2}{D_{II}^2} = \left(\frac{Q_I}{Q_{II}}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{N_I}{N_{II}}\right)^{-\frac{2}{3}}$$

$$\frac{H_1}{H_{II}} = \frac{(N^2 D^2)_I}{(N^2 D^2)_{II}}$$

با ترکیب دو رابطه فوق خواهیم داشت:

$$\frac{H_I}{H_{II}} = \left(\frac{Q_I}{Q_{II}}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{N_I}{N_{II}}\right)^{-\frac{4}{3}}$$

بعد از مرتب کردن روابط فوق خواهیم داشت:

$$\frac{N_I \sqrt{Q_I}}{H_I^{\frac{3}{4}}} = \frac{N_{II} \sqrt{Q_{II}}}{H_{II}^{\frac{3}{4}}} = cte$$

رابطه فوق نه تنها برای دو پمپ متشابه بلکه برای هر تعداد پمپ متشابه که تحت شرایط یکسانی کار می کنند صادق است. حال اگر پمپی با توان یک اسب بخار بتواند ارتفاع رانشی معادل یک متر ایجاد نماید، با کاربرد رابطه توان در پمپ ها، برای دبی چنین پمپی خواهیم داشت:

$$P = \frac{\gamma\, Q\, H}{75} = \frac{1000 \times Q_S \times 1}{75} = 1$$

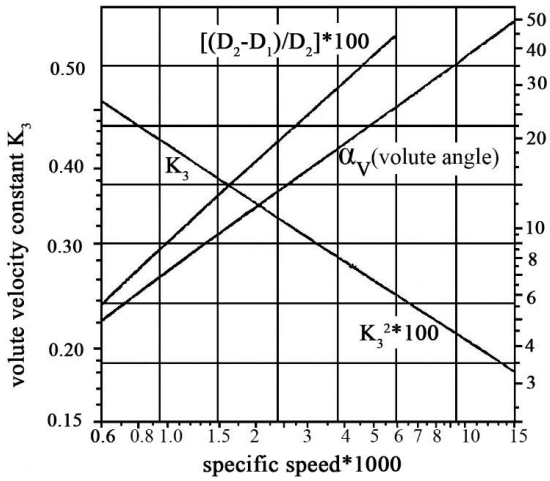
و یا:

$$Q_S = 0.075\ \ m^3/s = 75\ \ l/s$$

در نتیجه خطوط جریان مارپیچ های لگاریتمی می باشد.

البته در عمل پهنای لوله حلزونی با شعاع زیادتر گردیده و مولفه V_r سریعتر کم شده و خطوط خوابید ەتر از مارپیچ های لگاریتمی خواهد شد. در پمپ های جدید و مدرن سرعت متوسط در تمام مقاطع لوله حلزونی ثابت مانده و توسط معادله زیر بیان می گردد:

$$\overline{V_v} = K_3\sqrt{2gH} \qquad (۲-۸۵)$$



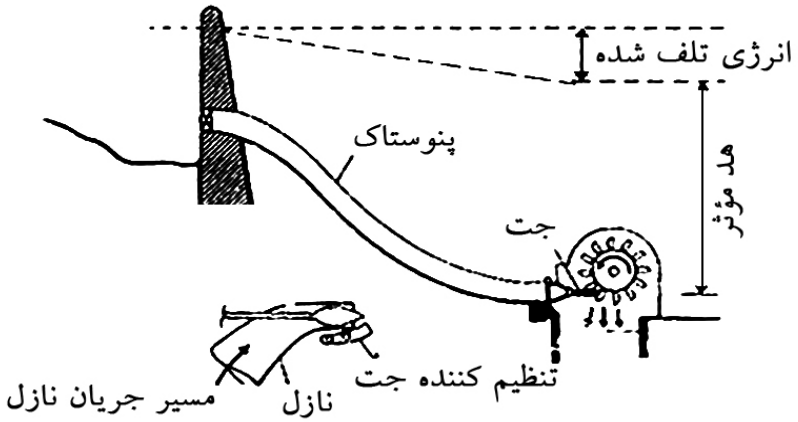
شکل (۲-۲۸): مقدار K_3 برای طراحی لوله حلزونی[۲۵]

مقدار K_3 از شکل (۲-۲۸) قابل محاسبه می باشد.

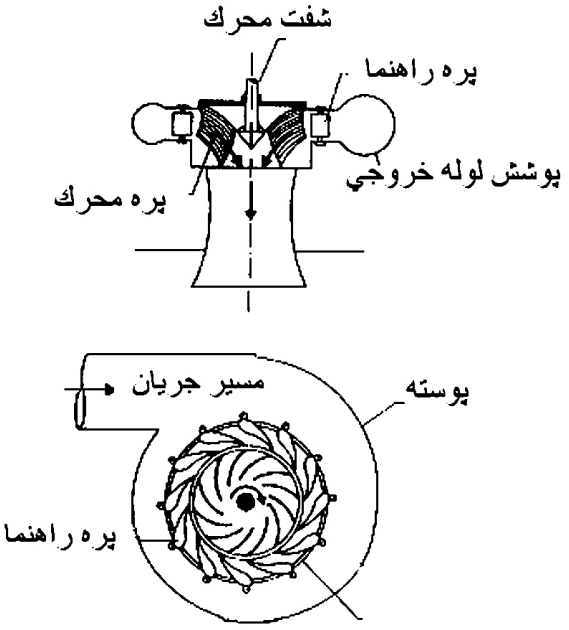
با توجه به اینکه با زیاد شدن سرعت مخصوص مقدار K_3 کم می گردد نتیجه می گیریم که برای یک دبی و ارتفاع معین، ازدیاد سرعت مخصوص موجب کاهش سرعت متوسط گردیده و در نتیجه سطح مقطع لوله حلزونی باید بزرگتر گردد.

۲- زاویه حلزونی (α_V)

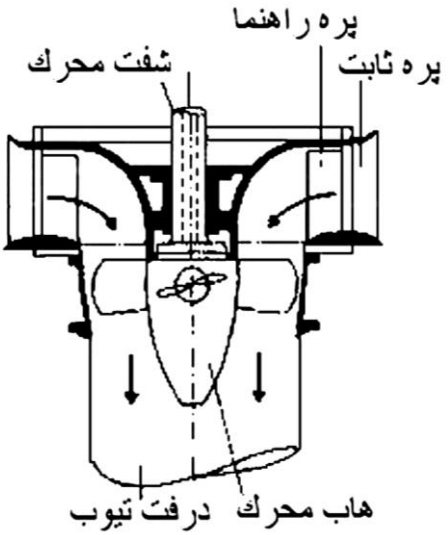
لبه لوله حلزونی طوری طراحی می گردد که مماس بر سرعت مطلق خروجی چرخ متحرک باشد. شکل (۲-۲۸) مقدار زاویه α_V را بر حسب سرعت مخصوص نشان می‌دهد.



شکل (۱-۳): توربین پلتون (توربین ضربه‌ای) [۱۰]



شکل (۲-۳): توربین فرانسیس [۱۰]



شکل (۳-۳): توربین کاپلان [۵]

توربین های عکس العملی، از لحاظ جهت جریان آب در چرخ به انواع مختلف زیر تقسیم می گردند:

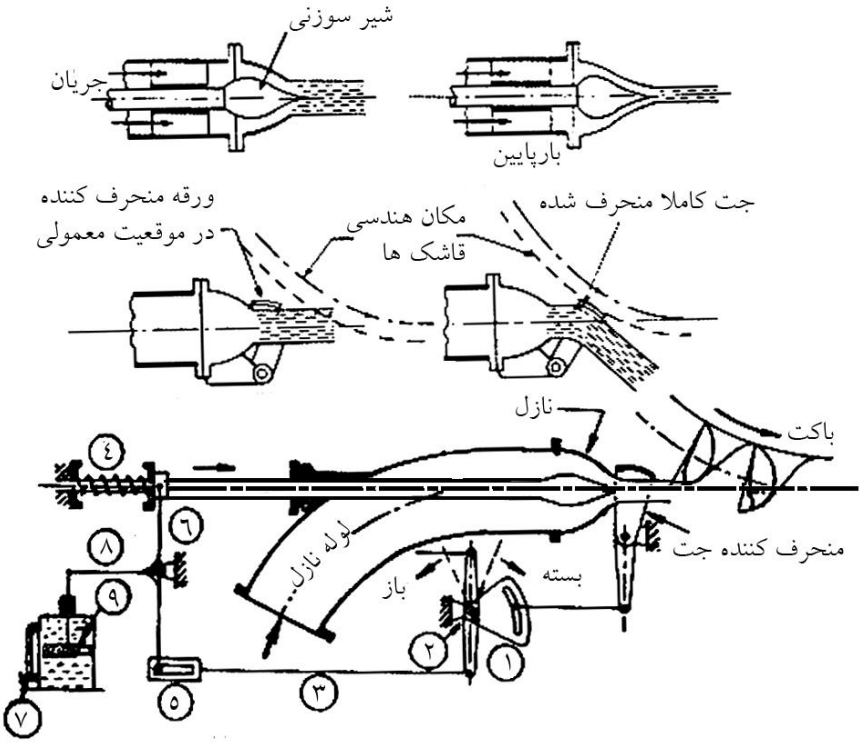
۱- اگر جریان آب شعاعی باشد، توربین را با جریان شعاعی گویند. اگر آب از محیط خارجی چرخ داخل شده و به طرف مرکز چرخ جاری گردد توربین را با جریان شعاعی به طرف داخل گویند. اگر آب از مرکز داخل شده و به طرف خارج جریان یابد توربین را شعاعی به طرف خارج گویند.

۲- اگر آب به موازات محور توربین جریان داشته باشد، توربین را با جریان محوری گویند.

۳- اگر قسمتی از جریان آب شعاعی و قسمت دیگر محوری باشد توربین را با جریان مختلط گویند.

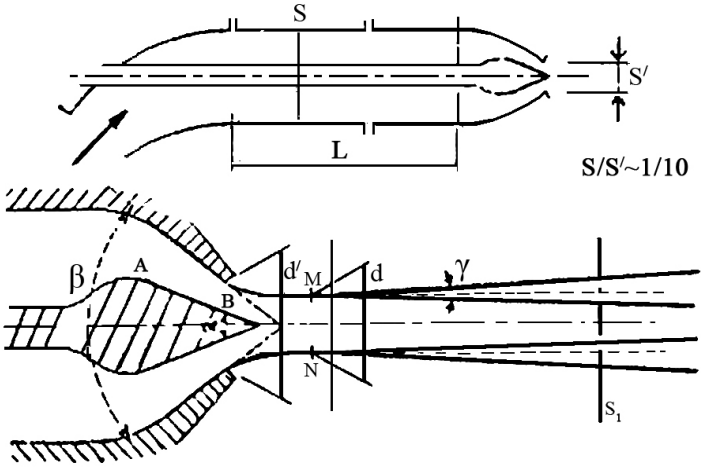
۱- لوله ورودی و افشانک

مطابق شکل (۳۱-۳) ورود آب به چرخ توربین توسط لولـه ورودی کـه بـه یـک افشـانک منتهـی می شود انجام می گیرد. محور فواره در صفحه چرخ متحرک توربین قرار داشته و مماس بـر دایـره متوسط پره ها می باشد. تنظیم دبی آب توسط یک سوزن مخروطی که در وسط افشانک قـرار دارد انجام می گیرد که این سوزن توسط دستگاه های مکانیکی و یا الکتریکی بـه جلـو و عقـب رفتـه و بدون اینکه افت زیادی در جریان ایجاد نماید دبی خروجی را کنترل می کند. بسته شـدن افشـانک باید تدریجی باشد تا فشار زیاد آب موجب خرد شدن آن نگردد.



شکل (۳۱-۳): تنظیم کننده دبی جریان در نازل [۲۵]

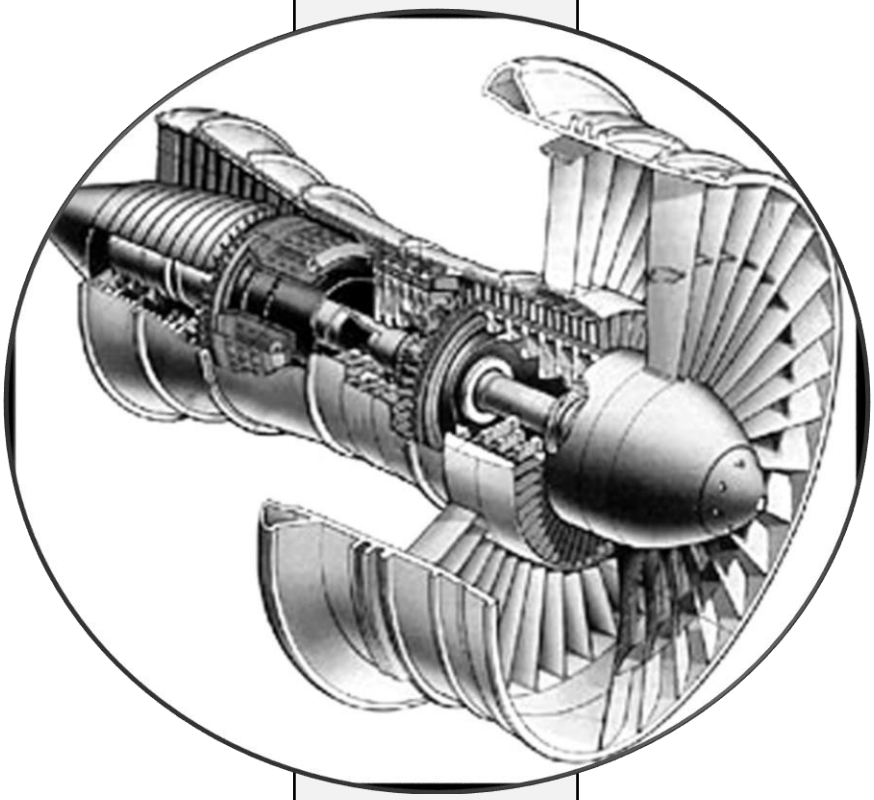
برای جلوگیری از سرعت گرفتن چرخ متحرک موقع قطع ژنراتور باید امتداد فواره آب راتوسط یک منحرف‌کننده (deflector) تغییر داده بعدا دبی را به صفر رساند. برای جلوگیری از افت زیاد انرژی باید انحنای لوله ورودی را کمتر نموده و در لوله ورودی یک شیر قرار داد تا بازدید و یا تعمیر افشانک امکان پذیر باشد. جنس افشانک باید از فولاد باشد تا تحمل فشارهای زیاد را داشته باشد. جنس سوزن باید از فولاد گالوانیزه بوده و سطوح تماس با آب صیقلی و صاف باشد. برای منظم بودن جریان در خروج از افشانک قبل از قسمت مخروطی شکل، یک قسمت مستقیم در نظر می گیرند که سطح مقطع این قسمت مستقیم باید ده برابر سطح مقطع فواره باشد (شکل ۳۲-۳)



شکل (۳۲-۳) : سوزن افشانک در توربین پلتون

برای اینکه بتوان دبی جریان را کاملا قطع نمود، قطر حداکثر سوزن باید بزرگتر از قطر خروجی افشانک (d') باشد. زاویه سر سوزن افشانک (α) بین ۲۰ تا ٦۰ درجه و زاویه β نیز حدود ٤۰ تا ٦۰ درجه بوده و روابط زیر برقرار می باشد:

فصل چهارم : توربین گاز – موتور هواپیما



مقدمه

توربین گاز که توربوماشینی با سیّال قابل تراکم می باشد درمیان کلیه وسایل تولید کننده قدرت مکانیکی، بهترین و اقتصادی ترین است و امروزه به دلیل کاربرد وسیع آن در تولید انرژی در نیروگاه ها، حرکت کشتی ها، در حمل و نقل تجاری و حمل و نقل هوایی اهمیت فراوانی یافته است. تولید موتورهای توربین گاز با نیروی کششی زیاد این امکان را فراهم ساخته است تا هواپیماهای مسافری و جنگی با سرعت مافوق صوت ساخته شوند. بعضی از هواپیماهای مسافری با موتورهای توربوفن می توانند مسافت های بالاتر از ۱۲۰۰۰ کیلومتر را بدون سوخت‌گیری مجدد طی نمایند. تکامل توربین های بخار و موتورهای احتراق داخلی در قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم میلادی، و راندمان نسبتا بالای این گونه موتورها و تولید گسترده آنها موجب گردید که کار بر روی توربین گاز از اهمیت قابل توجه ای برخوردار نگردد. استفاده از موتورهای پیستونی در هواپیما و ضرورت پرواز هواپیما به ارتفاعات بالاتر و نیاز به استفاده از سوپر شارژر (پرخورانی) و استفاده از کمپرسور در اینگونه موتورها باز هم کار و تحقیق بر روی توربین‌های گازی را به تعویق انداخت. از اوایل قرن نوزدهم میلادی اختراعات و تحقیقات بر روی موتورهای توربینی شروع شد ولیکن به علت عدم اطلاع از علم آیرودینامیک و عدم گسترش علم متالورژی در ایجاد و طراحی آلیاژهایی که بتواند حرارت و تنش های زیاد را تحمل نمایند موجب شد که راندمان اینگونه ماشین ها از موتورهای دیگر کمتر گردد. در سال ۱۸۰۸ یک توربین گازی توسط یک انگلیسی بنام جان بامبل (John Bumbell) طراحی گردید که درآن فقط پره های روتور به کار گرفته شده و لیکن از پره های استاتور استفاده نشده است و در نتیجه مزایای توربین چند طبقه را نداشته است. درسال

برای توربین پرفشار که کمپرسور را بگرداند معادله زیر را داریم:

$$T_{04}-T_{05}=\frac{C_{p\alpha}}{\eta_m C_{pg}}(T_{03}-T_{02})=\frac{1005\times 396.3}{0.99\times 1147}=350.3^{\circ}K$$

و برای توربین کم فشار که فن را می گرداند خواهیم داشت:

$$T_{05}-T_{06}=(B+1)\frac{C_{p\alpha}}{\eta_m C_{pg}}(T_{02}-T_{01})=\frac{4\times 1005\times 49.7}{0.99\times 1147}=176^{\circ}K$$

$$T_{05}=T_{04}-(T_{04}-T_{05})=1300-350.3=949.7^{0}K$$

$$T_{06}=T_{05}-(T_{05}-T_{06})=949.7-176=773.7^{0}K$$

برای تعیین P_{06} داریم:

$$\frac{P_{04}}{P_{05}}=(\frac{T_{04}}{T_{05}})^{\frac{n}{n-1}}=(\frac{1300}{949.7})^{\frac{1}{0.225}}=4.02$$

$$\frac{P_{05}}{P_{06}}=(\frac{T_{05}}{T_{06}})^{\frac{n}{n-1}}=(\frac{949.7}{773.7})^{\frac{1}{0.225}}=2.48$$

$$P_{04}=P_{03}-\Delta P_{0b}=19-1.25=17.75\ \ bar$$

$$P_{06}=\frac{P_{04}}{\frac{P_{04}}{P_{05}}\times\frac{P_{05}}{P_{06}}}=\frac{17.75}{4.02\times 2.48}=1.78\ \ bar$$

در نتیجه، نسبت فشار شیپوره جریان گرم برابر است با:

$$\frac{P_{06}}{P_a}=1.78$$

و نسبت فشار بحرانی برابر است با:

$$\frac{P_{06}}{P_c}=\frac{1}{[1-\frac{1}{0.95}(\frac{1.33-1}{1.33+1})]^{\frac{1.33}{0.33}}}=1.914$$

$$\frac{P_{06}}{P_C}\rangle\frac{P_{06}}{P_a}$$

با توجه به اینکه نسبت فشار بحرانی از نسبت فشار شیپوره جریان گرم بیشتر می باشد در نتیجه شیپوره در حالت خفگی قرار نداشته و $P_7 = P_a$ و از آنجا خواهیم داشت:

$$T_{06}-T_7 = \eta_J T_{06}[1-\left(\frac{1}{\frac{P_{06}}{P_\alpha}}\right)^{\frac{k-1}{k}}] = 0.95\times 773.7[1-(\frac{1}{1.78})^{\frac{0.33}{1.33}}] = 98.5^0 K$$

$$C_7 = [2C_{Pg}(T_{06}-T_7)]^{\frac{1}{2}} = [2\times 1147\times 98.5]^{\frac{1}{2}} = 476\ \ m/s$$

$$\dot{m}_h = \frac{\dot{m}}{B+1} = \frac{115}{4} = 28.75\ \ Kg/s$$

$$T_h = 28.75 \times 476 = 13700\ N$$

و نیروی رانش کل برابر خواهد شد با:

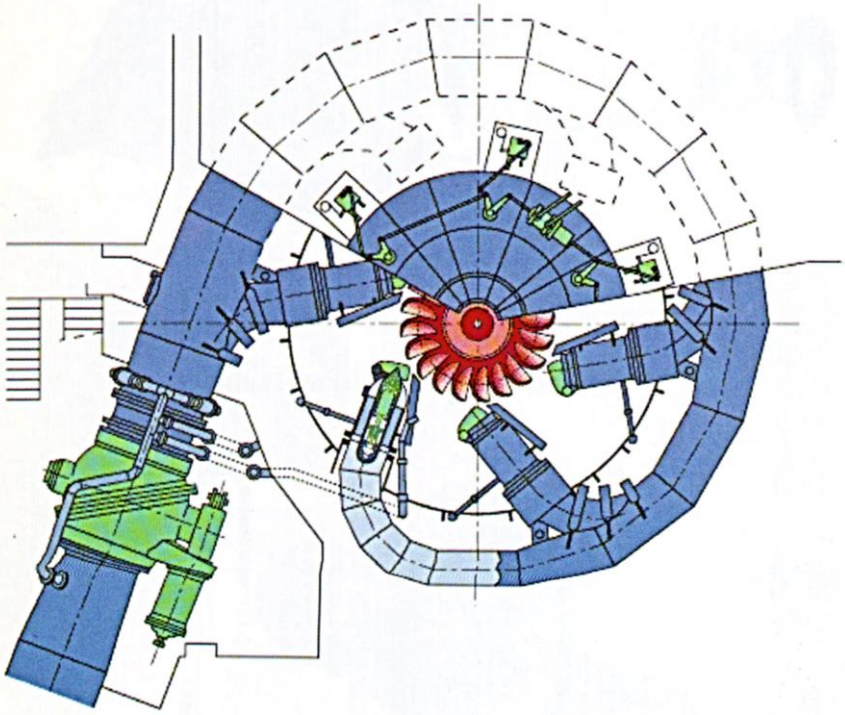
$$T=T_c + T_h = 25300 + 13700 = 39000\ N$$

پروژه۳: (محاسبه مراحل مختلف توربوفن)

یک موتور توربوفن در عدد ماخ ۰/۹ در ارتفاع ۱۰ کیلومتری از سطح زمین با فشار ۰/۲۶ اتمسفر و درجه‌حرارت ۵۶- درجه سانتیگراد در حال کار کردن است. این موتور دارای نسبت انشعاب برابر ۳ بوده و شدت جریان هوای داغ عبوری از توربین برابر ۲۰ kg/s می باشد. شیپوره خروجی برای جریان اصلی و جریان کنار گذر، همگرا بوده و راندمان قسمتهای مختلف عبارتند از:

پیوست ها و شکل ها

pelton wheel has one or more free jets



Pelton wheels are the preferred turbine for hydro-power, when the available water source has relatively high hydraulic head at low flow rates.