فصل۵:نیروگاه های برق آبی

۵-۱-مقدمه.....
۵-۲-پتانسیلهای برق آبی رودخانه های ایران.....
۵-۲-۱-مقدمه.....
۵-۲-۲-حوضه ی کارون.....
۵-۲-۳-حوضه دز.....
۵-۲-۴-حوضه کرخه.....
۵-۲-۵-سایر حوضه ها.....
۵-۳-منحنی دبی حجمی آبی.....
۵-۴-انتخاب مکان مناسب برای نیروگاه های آبی.....
۵-۵-دسته بندی نیروگاه های آابی.....
۵-۶-توربین های آبی.....
۵-۶-۱-مقدمه.....
۵-۶-۲-سرعت دور مخصوص.....
۵-۶-۳-توربین پلتون.....
۵-۶-۴-توربین فرانسیس.....
۵-۶-۵-توربین کاپلان.....
۵-۶-۶-توربین های لوله ای.....
۵-۷-طرح کلی یک نیروگاه.....
۵-۸-نیروگاه تلمبه ذخیره ای.....
۵-۹-پدیده ی کاویتاسیون در نیروگاه های آبی.....
۵-۹-۱-مراحل ایجاد کاویتاسیون.....
۵-۹-۲-ضریب کاویتاسیون.....
۵-۹-۳-کنترل کاویتاسیون.....
۵-۱۰-روند انتخاب مشخصات توربین.....
۵-۱۰-۱-مقدمه.....
۵-۱۰-۲داده های بهره برداری.....
۵-۱۰-۳-محدوده ی ارتفاع ریزش آب.....
۵-۱۰-۴-انتخاب توربین.....

فصل پنجم

نیروگاه‌های برق آبی

۵-۱- مقدمه

برای تأمین انرژی الکتریکی از روش‌های مختلفی می‌توان استفاده نمود که درحال حاضر نیروگاه‌های حرارتی و آبی، بیش‌ترین سهم را در تولید برق جهان دارند. بدلیل مشکلات و محدودیت‌های تولید برق در نیروگاه‌های حرارتی (با سوخت فسیلی یا هسته‌ای) به‌لحاظ مسائل تکنولوژیک، رعایت ضوابط و معیارهای زیست محیطی، محدودیت منابع و ...، در حال حاضر گرایش عمومی تولید برق در جهان، بیش‌تر متوجه احداث نیروگاه‌های برق آبی است. البته در سال‌های اخیر، از میان نیروگاه‌های حرارتی، تنها نیروگاه‌های هسته‌ای مورد توجه بوده‌اند. بر اساس آخرین اطلاعات موجود، در طی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۶، رشد مصرف منابع انرژی در جهان برای انرژی‌های هسته‌ای، گاز طبیعی، برق آبی، نفت، و زغال سنگ، به‌ترتیب برابر ۵۶، ۲۶،۴، ۲۵،۴، ۱۵،۱ و ۵،۳ درصد بوده است. این امر نشان می‌دهد که نیروگاه‌های برق آبی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین انرژی، مورد توجه جدی قرار گرفته‌اند.

پتانسیل برق آبی رودخانه های ایران

مقدمه

ظرفیت بالقوه و عملی تولید انرژی برق آبی در کشور ۵۰ میلیارد کیلووات ساعت در سال است که حدود ۶۰٪ تولید برق کشور را تشکیل می دهد که از میان حوضه آب ریز رودخانه کارون ۳۰ میلیارد

حوضه آب ریز رودخانه کرخه ۶ میلیارد

حوضه آب ریز رودخانه دز ۹ میلیارد

و ۵ میلیارد بازمانده آن مربوط به سایر حوضه ها است .

بدین ترتیب روشن میشود که سرمایه گذاری برروی طرح های برق آبی از جمله ضروریاتی است که باید مدنظر قرار گیرد .

حالا ما به بررسی تک تک حوضه های ابریز می پردازیم .

حوضه کارون

رود خانه کارون با طول ۹۴۰ کیلو متر و حوضه آبریزی ۶۰۰۰۰ کیلومتر مربع به عنوان بزرگترین حوضه ایران است . متوسط دبی سالانه در حدود ۴۵۳ متر مکعب بر ثانیه است . سرچشمه اصلی این رود خانه زرد کوه بختیاری و رشته کوه زاگرس است .

رودخانه کارون بیشترین ظرفیت تولید برق کشور را دارد.

براساس مطالعات پتانسیل های موجود برای احداث نیروگاه های برق آبی برروی این رود خانه حداقل ۱۱ مورد است که به عنوان مثال نیروگاه شهید عباسپور و مسجد سلیمان و کارون و ..... ازاین شمار می باشند.

جدول (۵-۱): مشخصات طرح‌های حوضه‌ی آبریز کارون

نام سد	نام رودخانه	مرحله‌ی اجرایی سد	نوع ساخت سد	ارتفاع از پی m	حجم مخزن $10^6 m^3$	ظرفیت تولید MW	انرژی سالانه GWh
کارون ۱	کارون	در حال بهره‌برداری	بتنی قوسی	۲۰۰	۲۹۰۰	۲۰۰۰	۳۳۰۰
مسجد سلیمان	کارون	در حال بهره‌برداری	سنگریزه‌ای	۱۷۷	۲۳۰	۲۰۰۰	۳۷۰۰
کارون ۳	کارون	در حال بهره‌برداری	بتنی دو قوسی	۲۰۵	۲۷۵۰	۲۰۰۰	۴۱۴۰
کارون ۴	کارون	در حال اجرا	بتنی قوسی	۲۲۲	۲۱۹۰	۱۰۰۰	۲۱۷۰
گتوند	کارون	در حال اجرا	سنگریزه‌ای	۱۷۵	۴۵۳۰	۲۰۰۰	۴۳۰۰
کارون ۵	کارون	در دست مطالعه	بتنی قوسی	۱۸۸	۲۰۱۳	۴۲۲	۱۱۶۹
کارون ۲	کارون	در دست مطالعه	سنگریزه‌ای	۱۳۰	۱۹۷	۱۰۰۰	۱۹۵۰
خرسان ۱	خرسان	در دست مطالعه	سنگریزه‌ای	۱۸۲	۱۲۹۱	۳۹۰	۱۲۲۱
خرسان ۲	خرسان	در دست مطالعه	بتنی قوسی	۲۶۰	۲۳۰۴	۵۸۰	۱۶۸۹
خرسان ۳	خرسان	در دست مطالعه	بتنی قوسی	۱۵۵	۷۷۸	۳۰۰	۱۰۱۴
بازفت	بازفت	در دست مطالعه	بتنی قوسی	۲۰۷	۴۵۰	۲۴۰	۷۵۰

گابیه کارون تقریباً ۱۵۰۰۰ مگاوات است.

حوضه دز

رودخانه دز با طول حدود ۵۰۰ کیلومتر و حوضه ابریزی به وسعت ۲۴۰۰۰ کیلومترمربع دومین رودخانه پرآب ایران می باشد .
دبی متوسط رودخانه در حدود ۲۴۱ مترمکعب بر ثانیه است .براساس مطالعات انجام شده غیر از سد ونیروگاه دز (درحال حاضر با ظرفیت ۵۲۰ مگاوات در حال بهره برداری است) دیگرنیروگاه های برق آبی در دست مطالعه هستند. بدین ترتیب جمع پتانسیل قابل بهره برداری از این رودخانه به حدود ۵۰۰ مگاوات می رسد.
(اطلاعات این سدها ونیروگاه های بر روی انها در جدول ۲-۵ مشخص شده است)

جدول (۵-۲): مشخصاتِ طرح‌های حوضه‌ی آبریز دز

نام سد	نام رودخانه	مرحله‌ی اجرایی سد	نوع ساخت سد	ارتفاع از پی m	حجم مخزن $10^6 m^3$	ظرفیت تولید MW	انرژی سالانه GWh
دز	دز	در حال بهره‌برداری	بتنی قوسی	۲۰۳	۳۳۴۰	۵۲۰	۲۷۵۰
رودبار لرستان	رودبار	در حال بهره‌برداری	سنگریزه‌ای	۱۹۰	۵۱۰	۱۰۰۰	۱۰۵۰
بختیاری	بختیاری	در دست مطالعه	بتنی قوسی	۳۱۵	۴۸۴۴	۱۵۰۰	۲۹۸۴
آبرو	زالکی	در دست مطالعه	بتنی قوسی	۲۱۰	۵۲۰	۳۴۳	۱۰۲۵
زالکی	زالکی	در دست مطالعه	بتنی قوسی	۲۱۰	۱۵۱۷	۴۷۰	۱۳۳۳
سزار ۵	سزار	در دست مطالعه	---	۶۵	---	۱۰۳	۴۰۷
دز ۱	سزار	در دست مطالعه	---	۳۲	---	۱۷۵	۵۸۳
دز ۲	سزار	در دست مطالعه	---	۷۷	---	۴۵۷	۱۴۷۴
دز ۳	سزار	در دست مطالعه	---	۳۸	---	۲۱۶	۷۱۸

رودخانه کرخه

طول رودخانه کرخه حدود ۹۰۰ کیلومتر است که وسعت حوضه ابریزی آن ۹۲۰۰۰ کیلومترمربع و متوسط دبی سالانه درحدود ۱۷۷ مترمکعب بر ثانیه می باشد.
پتانسیل های اصلی موجود برای احداث نیروگاه های برق آبی برروی این رودخانه ۶ مورد است که ازمیان انها طرح سد کرخه به اجرا و مورد بهره برداری در امده و دیگر طرح ها در دست مطالعه یا در مرحله شناخت می باشند.

نام سد	نام رودخانه	مرحله‌ی اجرایی سد	نوع ساخت سد	ارتفاع از پی m	حجم مخزن $10^6 m^3$	ظرفیت تولید MW	انرژی سالانه GWh
کرخه	کرخه	درحال بهره‌برداری	خاکی	۱۲۷	۷۸۰۰	۴۰۰	۱۲۰۰
سازین	سیمره	در حال اجرا	بتنی قوسی	۱۵۷	۱۶۰۹	۳۷۵	۵۷۲
سیمره	سیمره	در حال اجرا	بتنی دوقوسی	۱۷۸	۳۲۲۰	۶۴۰	۸۳۵
پاعلم	کرخه	در دست مطالعه	سنگریزه‌ای	۲۰۰	۳۱۲۷	۴۳۰	۱۱۹۴
تنگ معشوره	کشکان	در دست مطالعه	سنگریزه‌ای	۱۳۷	۱۶۳۹	۱۶۶٫۲	۳۹۷
کرخه ۲	کرخه	در دست مطالعه	بتنی دریچه‌ای	۳۳	۱۴	۲۰۰	۲۶۶
گرماب	سیمره	در مرحله‌ی شناخت	بتنی قوسی	۱۰۰	۷۰۰	۲۵۰	۴۸۰

منحنی دبی حجمی آب :

یکی از مسائل بسیار مهم در احداث هر نیروگاهی میزان دبی حجمی آب ورودی در زمان مختلف از سال می باشد . با توجه به منحنی دبی حجمی سالیانه آب می توان موارد زیر را تخمین زد :

۱-میزان انرژی متوسط سالیانه قابل دسترس

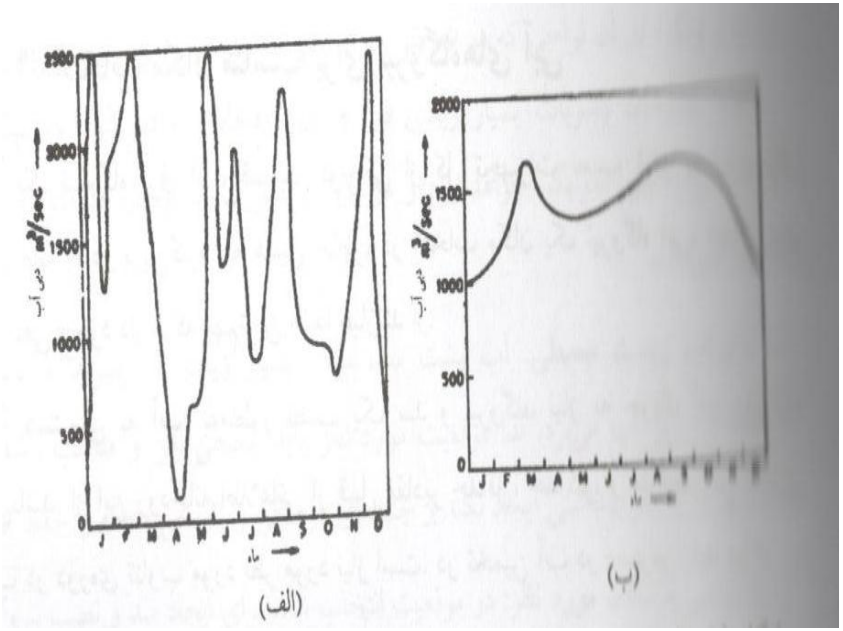
۲- حداقل انرژی سالیانه قابل دسترس

۳- میزان انرژی اضافی و افزایش ذخیره شده آب در پشت سد

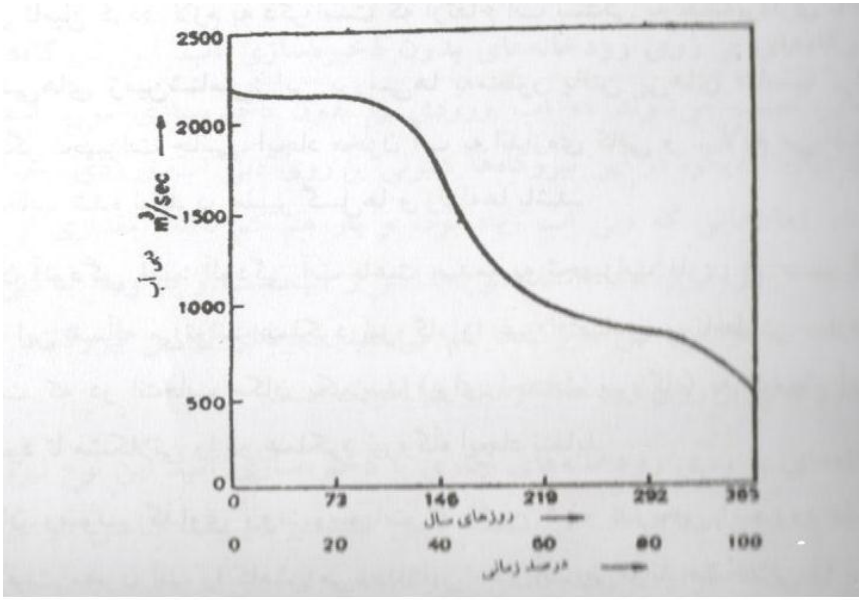
۴- ظرفیت مخزن کنترل سیلاب ها

که برای دستیابی به این اهداف باید بررسی دراز مدتی (حدود ۲۰ سال) بر روی رودخانه ی مورد نظر صورت گیرد .

تا شرایط حداقل و حداکثر دبی اب مشخص شود. که برای این منظور منحنی دبی آب ورودی بر حسب دوره های مختلف از قبیل ساعت- هفته- ماه – سال می شود



در شکل ۱-۵ نحوه تغیرات دبی آب رودخانه هایی با تغییرات اب بسیار زیاد و کم نشان داده شده است اما از این منحنی در مطالعه و طراحی نیروگاه کاربرد زیادی ندارد و باید ان را به صورت منحنی مرتب شده ی دبی حجمی اب مطابق شکل ۲-۵ دراوریم.



انتخاب مکان مناسب برای نیروگاه آبی :

۱-دسترسی به آب
۲- ذخیره آب
۳- ارتفاع اب در پشت سد احداث شده
۴- بررسی های زمین شناسی
۵- میزان آلودگی اب
۶- میزان رسوب گذاری رود
۷- تاثیرات زیست محیطی
۸- دسترسی به مکان مورد نظر

دسته بندی نیروگاه های آبی:

۱-دسته بندی براساس آب رودخانه
الف) نیروگاه های بر روی رودخانه های بدون ذخیره آب
ب) نیروگاه های بر روی رودخانه های جاری با ذخیره آب
ج) نیروگاه مخزنی
۲- دسته بندی براساس نوع بار
الف)نیروگاه بار پایه
ب) نیروگاه بار حداکثر
ج) نیروگاه تلمبه ذخیره
۳- دسته بندی براساس ارتفاع ریزش اب
الف) نیروگاه های با ارتفاع کم آب
ب) نیروگاه های با ارتفاع متوسط آب
ج) نیروگاه های با ارتفاع زیاد آب

توربین های آبی

مقدمه :

توربین های آبی وظیفه ی تبدیل انرژی موجود در آب را به انرژی مکانیکی دارد. توربین های آبی به دو نوع توربین های عکس العملی و ضربه ای تقسیم می شوند .توربین های فرانسیس و پروانه ای از نوع توربین های عکس العملی هستند . توربین های فرانسیس برای ارتفاع ریزش آب متوسط ودبی آب جاری متوسط به کار می روند. ولی توربین های پروانه ای برای ارتفاع ریزش آب کم و دبی آب زیاد مورد استفاده قرار می گیرند .

توربین های ضربه ای دارای پره های متحرکی هستند که سرعت آب با برخورد با آن ها کم میشود ، ولی فشار آب ثابت می ماند . توربین های پلتون دارای این نوع پره ها هستند که برای نیروگاه های باارتفاع ریزش آب زیاد و دبی آب جاری کم به کار میروند .

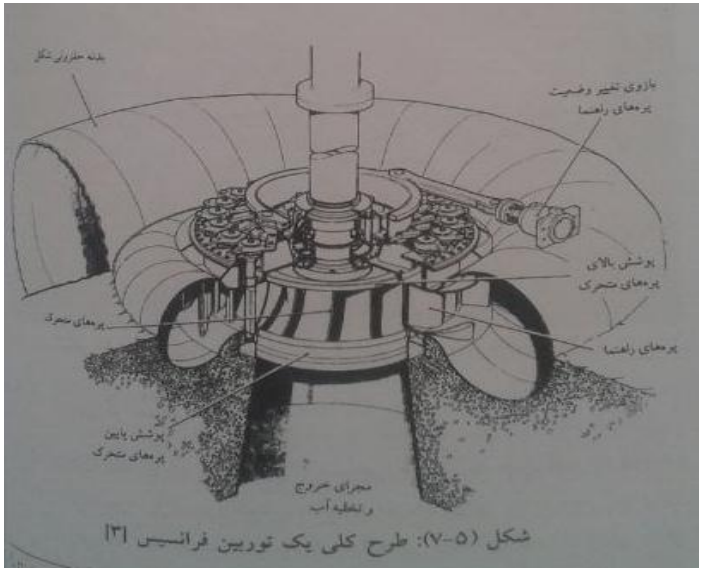
توربین پلتون

این توربین ها در سدهای با ارتفاع ریزش آب زیاد (معمولا بیش تر از ۲۰۰تا ۲۵۰ متر) و جریان آب کم به کار می روند.این نوع توربین ها از نوع ضربه ای می باشند که در یک یا چند نازل موازی ،تمام فشار آب، تبدیل به سرعت می شود.سپس آب با سرعت زیاد از طریق انژکتور و والو سوزنی داخل آن، به سمت قاشقک توربین هدایت میشود. با کنترل موقعیت والو سوزنی می توان دبی آب ورودی به قاشقک های توربین را تنظیم نمود.این عمل،توسط سیستم گاورنر نیروگاه صورت میگیرد .

در مواقع کاهش سریع بار نیروگاه ، باید آب ورودی توسط سوزن وسط انژکتور کم شود که این موضوع ، توسط بسته شدن والو سوزنی انجام میپذیرد . اما این عمل ، باعث ایجاد فشار شدید در لوله های منتهی به انژکتور می شود . برای جلوگیری ازین مشکل ، از وسیله ای به نام منحرف کننده استفاده می شود .منحرف کننده (دفلکتور) در مواقع کاهش سریع بار به سرعت در مقابل آب خروجی از انژکتور قرار می گیرد و سپس باحرکت آرام والو سوزنی وتنظیم دبی آب مورد نیاز مجددا به محل خود برمی گردد.

از نظر تئوری ، حداکثر بازده ی توربین هنگامی اتفاق می افتد که سرعت محور توربین ، نصف سرعت آب پاششی باشد واین موقعی است که پره های متحرک دقیقا ۱۸۰ درجه آب ورودی را برگردانند.البته در این زمان سرعت آب تخلیه صفر است که در عمل .این موضوع امکان پذیر نمی باشد .

توربین فرانسیس



شکل (۵-۷): طرح کلی یک توربین فرانسیس [۳]

این ها نیروگاه های با ارتفاع متوسط ریزش آب، و دبی آب جاری متوسط به کار میرود . آب پشت سد توسط کانال هایی وارد لوله های حلزونی شکل می گردد. سطح مقطع این لوله ها ی حلزونی، مرتبا کاهش می یابد تا سیال آب بتواند با سرعت یکنواختی در تماس با پره های اصلی توربین قرار گیرد. آب با سرعت زیاد، پس از عبور از محفظه ی حلزونی شکل ، توسط پره های راهنما به پره های اصلی برخورد میکند . وظیفه ی پره های راهنما ، افزایش نهایی سرعت آب و جهت دادن مناسب به آب برای برخورد با پره های اصلی می باشد.درجه ی باز شدن این پره ها ، کمیت و جهت آب جاری شده را تغییر می دهد. حد اکثر بازده ی این نوع توربین ها بین ۹۴تا۹۵ درصد می باشد .

توربین کاپلان

خصوصیت اساسی این توربین ها آن است که جریان آب به طور محوری با پره های متحرک برخورد می کند. لوله ی حلزونی شکل و پره های راهنما دارای طرح و عملکردی شبیه توربین های فرانسیس هستند . آب با سرعت زیاد پس از عبور از پره های راهنما و قبل از برخورد به پره های متحرک، جهت محوری پیدا می کند تا حداکثر انرژی خود را به پره های متحرک منتقل نمایند .

عموما محور این نوع توربین ها به صورت عمودی نصب می شود که در این حالت ، مزایای زیر را به همراه خواهند داشت:

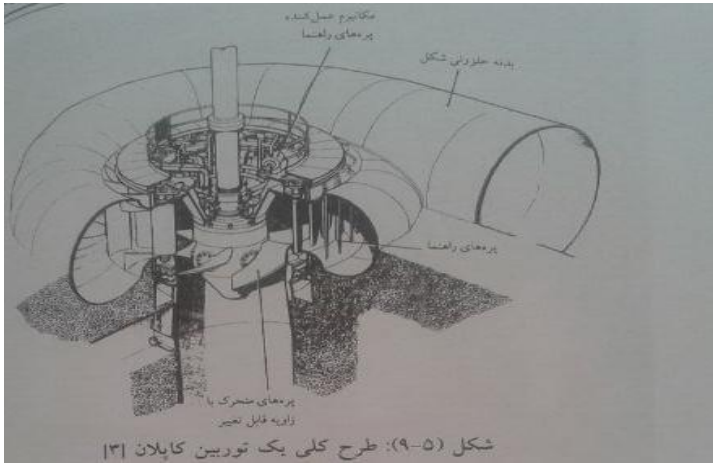
۱- طرح سیستم روغنکاری و یاتاقان ها به سادگی انجام می شود

۲- نصب و تعمیر ژنراتور به آسانی انجام میشود

۳- حفاظت توربین و دیگر لوازم جانبی با انجام بتن ریزی های محکم . انجام می شود

۴- تجهیزات را می توان بر روی سطح بالایی توربین نصب نمود که این موضوع، تعمیرات و نگهداری از تجهیزات را به آسانی مهیا میکند

۵- غوطه ور نمودن پره های متحرک زیر دم آب خروجی به منظور از بین بردن کاویتاسیون، در مقایسه با غوطه ور نمودن مجموعه ی کامل با حداقل هزینه ی عمرانی همراه خواهد بود



شکل (۵-۹): طرح کلی یک توربین کاپلان [۳]

توربین های لوله ای

توربین های کاپلان به طور وسیعی در رودخانه ها مورد استفاده قرار می گیرند . در این نوع رودخانه ها، ارتفاع آب بسیار کم است . البته این طرح با مشکلاتی از جمله موارد زیر همراه است :

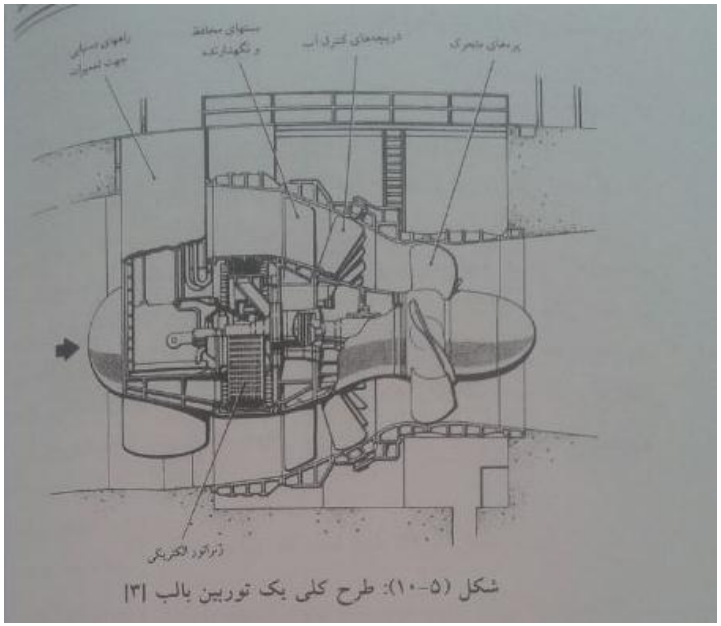
- غوطه ور کردن سیستم گردنده ی توربین در داخل آب نیاز به حفاری دارد این موضوع هزینه ی زیادی را به همراه دارد

- تغییرات متعدد جهت آب در لوله های باریک اتفاق می افتد و این موضوع باعث طراحی سیستم تیوپ می شود که خود باعث افزایش تلفات هیدرولیکی می گردد.

انواع این توربین هارا می توان به صورت زیر بیان نمود :

۱- توربین بالب ۲- توربین تیوب ۳- توربین ریم ژنراتور

۱- توربین بالب



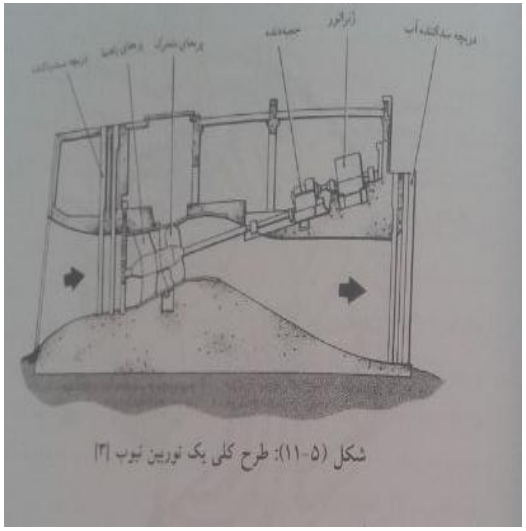
شکل (۵-۱۰): طرح کلی یک توربین بالب [۳]

پره های متحرک توربین در انتهای آن قرار گرفته اند و پره های راهنما قبل از توربین نصب می شوند شکل بدنه ی این توربین ها باید به طور مناسبی طراحی شوند تا تلفات هیدرولیکی آب به حداقل خود کاهش می یابد . انواع مختلف طرح های این نوع توربین ها به سه صورت است : نوع اول آن که پره های متحرک روتور و پره های راهنما قابل تنظیم باشند. نوع دوم دارای پره های راهنمای قابل تنظیم و پره های چرخنده ثابت می باشد. نوع سوم دربرگیرنده ی پره های راهنمای ثابت و پره های چرخنده ی متغیر است.

این نوع توربین ها بر روی رود خانه های کوچک نصب می شوند و در نتیجه ، دارای قدرت بسیار کمی هستند . ژنراتور به همراه توربین در داخل محفظه ی اصلی توربین واقع می شوند و کل این محفظه در داخل آب قرار می گیرد.

۲- توربین تیوب

دو عیب اساسی در توربین های بالب وجود دارد : اولا به خاطر فضای کم محفظه ی توربوژنراتور، نگه داری از ژنراتور با مشکل همراه است . ثانیا اینرسی بسیار کم قسمت های چرخشی در شبکه های تولیدی ، ممکن است باعث ایجاد مسائل و مشکلاتی از قبیل عدم سنکرونیزم یا تغییرات فرکانس و سرعت ژنراتور شود.
باتوجه به این دلایل ، توربین تیوب به گونه ای طراحی می شود که فاقد مشکلات فوق باشد، به این ترتیب که به منظور دسترسی بهتر به ژنراتور ،آن را در خارج از مسیر آب قرار می دهند و انرژی چرخشی از طریق یم محور بلند و یک جعبه دنده به محور ژنراتور منتقل می شود.در این حالت، کنترل فرکانس ژنراتور به راحتی امکان پذیر خواهد بود. البته در این توربین ها، مشکلات دیگری از قبیل دراز بودن محور انتقالی و نیز ترتیب یاتاقان ها به وجود می آید.



شکل (۵-۱۱): طرح کلی یک توربین تیوب [۲]

توربین ریم ژنراتور

پره های گردنده ی توربین به وسیله ی یک حلقه ی محیطی پوشیده می شوند که قطب های الکتریکی ژنراتور محصور می گردد.

از خصوصیات این توبوژنراتور می توان به موارد زیر اشاره کرد

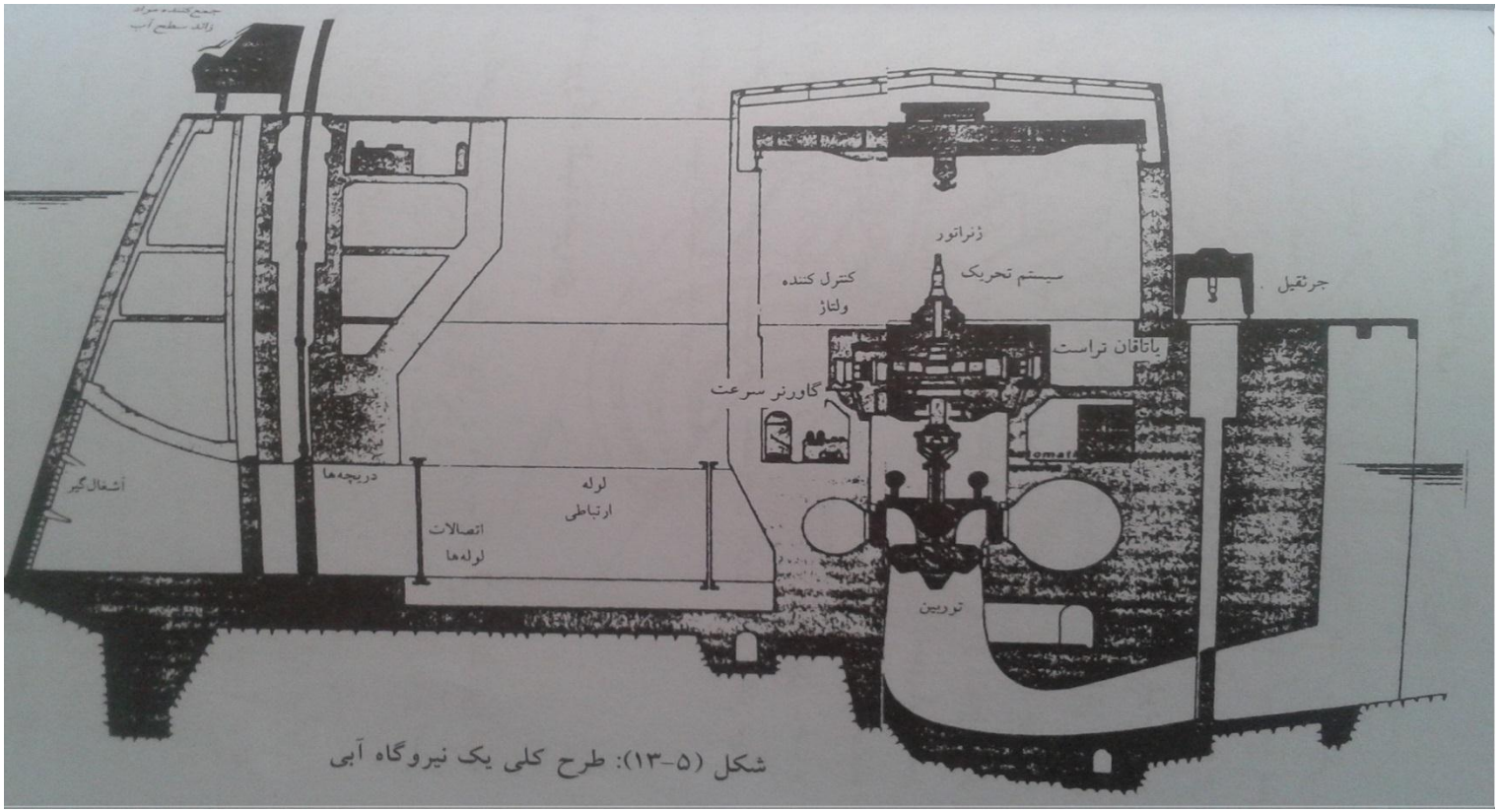
۱- دسترسی به ژنراتور بسیار راحت است و به خاطر قطر بزرگ سیستم چرخنده ، اینرسی آن بسیار زیاد خواهد بود. ودر نتیجه مشکلی از نظر ناپایداری محور وجود ندارد

۲- به منظور جلوگیری از نفوذ آب به قسمت های الکتریکی ژنراتور ، نیاز به لایه های پوششی می باشد تا بین حلقه ی چرخشی توربین و بدنه ی ثابت مجرای آب قرار بگیرد

۳- با استفاده از پره های غیر قابل تنظیم ، هزینه ی این واحد ها در مقایسه با دیگر توربین های لوله ای قابل رقابت می باشد.با توجه به محدوده ی بسیار کم بالاترین بازده ی این توربین ها، و برای استفاده ی بهینه از انژی آب ، باید در قسمت خروجی سیستم از تعداد زیادی توربوژنراتور استفاده شود ویا اینکه پره های چرخنده قابل تنظیم باشند

طرح کلی یک نیرو گاه آبی

در یک نیروگاه آبی با تجهیزات عمرانی ، مکانیکی و برقی آب جمع شده در پشت سد وارد کانال ها و مجاری عبور آب توربین می شود قبل از ورود آب به این کانال ها باید تمام مواد زائد و شناور موجود در آب در ابتدای کانال گرفته شود با عبور آب از کانال های انتقال ، سرعت و فشار آن به حد مناسبی میرسد تا باریزش بر روی پره های توربین ، حداکثر انرژی ازآب سد به توربین منتقل شود . بااتصال محور توربین به محور ژنراتور ، تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی صورت میگیرد . باتوجه به اینکه در اکثر نیروگاه های آبی محور توربین و ژنراتور عمودی است برای نگهداری ازین محور از یاتاقان تراست استفاده می شود در کنار ژنراتور و برای کنترل ولتاژ و فرکانس ، باید از گاورنر های سرعت و سیستم تحریک استفاده نمود.در قسمت بالایی محفظه ی اتاق ژنراتور ، جرثقیل بزرگی برای حمل و نقل تجهیزات نصب شده است.



شکل (۵-۱۳): طرح کلی یک نیروگاه آبی

۸- نیروگاه تلمبه ذخیره ای

نیروگاه تلمبه ذخیره ای به منظور تبدیل و ذخیره سازی انرژی الکتریکی شبکه به صورت انرژی پتانسیل آب در ارتفاع بالا و بالعکس به کار می روند .مزایا و دلایل اصلی برای کاربرد این نیروگاه ها را میتوان به صورت زیر بیان کرد:

الف)برای تولید انرژی الکتریکی در زمان بار حداکثر شبکه ی مورد استفاده قرار می گیرد.

ب)این نیروگاه ها دارای راه اندازی سریعی (نسبت به نیروگاههای حرارتی)برای تامین بار حداکثر شبکه هستند.البته زمان راه اندازی این نیروگاه ها مشابه موتورهای دیزلی و توربین های گازی است ولی بازده ی نیروگاه های تلمبه ذخیره ای بسیار مناسب است.

ج)در سیستم هایی که شامل نیروگاههای حرارتی هستند با وجود نیروگاه های تلمبه ذخیره ای میزان ذخیره چرخان سیستم و مساله راه اندازی گرم نیروگاه ها کاهش می یابد.

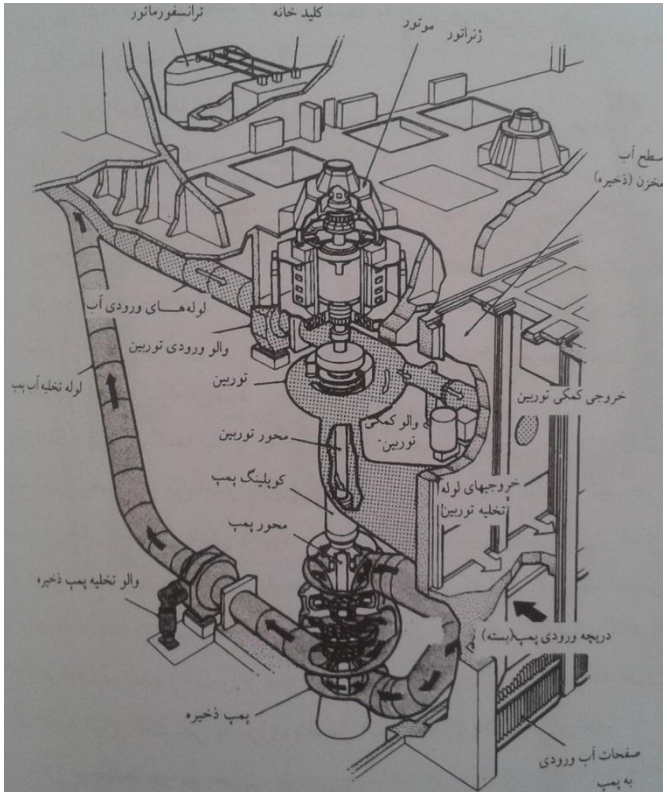
د)این نیروگاه ها موضوع تنظیم فرکانس شبکه را در مواقع تغییرات ناگهانی بار شبکه به شکل مطلوبی مهیا می کنند .

ه)کاربرد این نیروگاه ها منحنی بار شبکه را یکنواخت تر می کند .این موضوع به این صورت مهیا میشود که در مواقع بار پایه شبکه پمپ های موجود در نیروگاهای تلمبه ذخیره ای با صرف انرژی آب را از ارتفاع پایین به ارتفاع بالا منتقل می کنند .البته این موضوع باعث افزایش بار پایه ی شبکه می شود.سپس در مواقع بار حداکثر شبکه این نیروگاهها با استفاده از انرژی پتانسیل آب موجود در مخزن بالایی انرژی الکتریکی تولید می کنند و در تامین بار حد اکثر شبکه سهیم می شوند .این موضوع باعث کاهش ذخیره چرخان شبکه می شود.

برای عملکرد این نیروگاهها نیاز به دو دریاچه یا دو مخزن ذخیره ی آب می باشد .به منظور تولید الکتریسیته اب از دریاچه بالایی به سمت توربین جاری می شود و با انجام کار در ان در دریاچه (مخزن) پایینی ذخیره می شود.این حالت در زمان بار حداکثر شبکه به اجرا در می اید در زمان های غیر از بار حد اکثر شبکه این نیروگاهها به صورت یک پمپ الکتریکی در امده و اب را از مخزن پایین به سمت مخزن بالا منتقل می کند.در واقع در این حالت انرژی الکتریکی به انرژی پتانسیل آب در مخزن بالا تبدیل می شود.

این نوع نیروگاهها در دو حالت طراحی و ساخته می شوند:در حالت اول ساختار توربین و موتور پمپ جدا از هم می باشند.در حالت دوم توربین و موتور پمپ دارای یک ساختار هستند و اصطلاحا به ان توربو پمپ می گویند.به عبارت دیگر توربو پمپ برای انتقال اب از مخزن بالا به پایین به صورت توربین و برای انتقال اب از مخزن پایین به بالا به صورت پمپ در می اید.

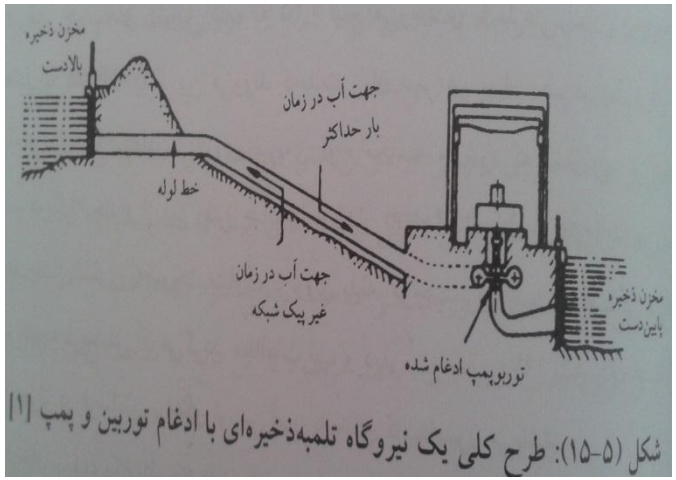
طرح برش خورده ی نیروگاههای از نوع اول در شکل (۵-۱۴) نشان داده شده است.



شکل (۵-۱۴): طرح کلی یک نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای با توربین و پمپ مجزا [۲]

همان گونه که در شکل اسلاید قبل مشخص است محور توربین و پمپ با هم به یک ماشین سنکرون متصل هستند که این ماشین می تواند به صورت ژنراتوری (در موقع کارکرد توربین) و به صورت موتوری (به منظور کار کرد پمپ)کار کند.در این شکل مسیر جریان اب برای عملکرد توربین-ژنراتور با جهت های تو خالی و مسیر جریان اب برای عملکرد موتور-پمپ با جهت های تو پر نشان داده شده است.

در نوع دوم این نیروگاه ها پمپ و توربین با هم ادغام میشوند .به عبارت دیگر از نظر هندسی توربین های فرانسیس را می توان به شکل بهینه ای برای پمپ کردن و به چرخش در اوردن به منظور تولید طراحی نمود.مزیت مطلوب این نیروگاهها ان است که هزینه این نوع توربو پمپ ها نسبت به توربین و پمپ های مجزا کم تر است و دیگر نیازی به قرار گرفتن کلاج بین توربین و پمپ نمی باشد .هم چنین با توجه به یکی شدن توربین و پمپ دیگر نیازی به لوله های مجزا و رابط با مخزن ها برای توربین و پمپ نمی باشد و می توان از لوله های مشترک برای هر دو عمل انتقال آب استفاده نمود.البته در این حالت بازده توربو پمپ برای عملکرد به صورت پمپ یا توربین حدود ۱٪کم تر از بازده این وسیله در حالت کار دائم به صورت پمپ یا توربین می باشد.بازده توربو پمپ های با قدرت بالا به صورت پمپ ۹۳-۹۲٪و در حالت توربین به مقدار ۹۴-۹۳٪شکل (۵-۱۵) بیانگر طرح کلی این نوع نیروگاه ها می باشد.



شکل (۵-۱۵): طرح کلی یک نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای با ادغام توربین و پمپ [۱]

۹- پدیده کاویتاسیون در نیروگاههای آب۱

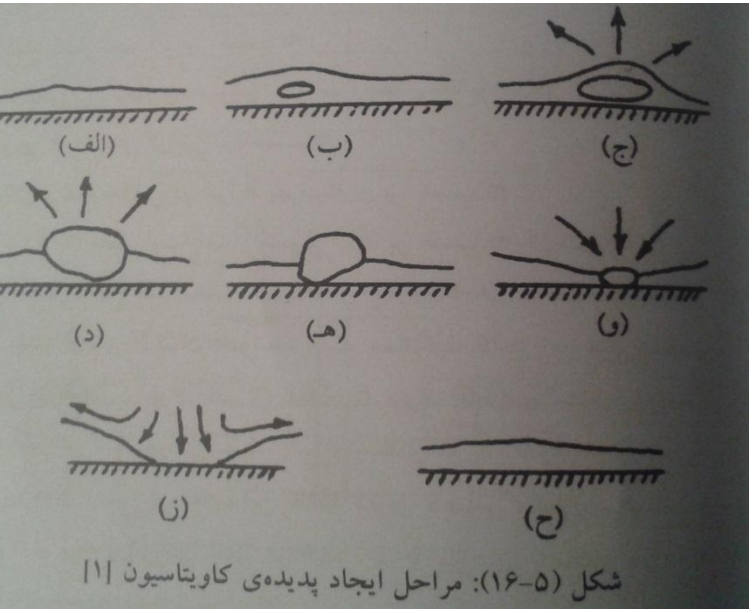
- مراحل ایجاد کاویتاسیون

در حین عبور اب از لوله ی هدایت آب (محفظه حلزونی شکل)اطراف پره های هادی و دریچه ها و هم چنین خود توربین ها و لوله ی تخلیه آب ممکن است پدیده ای رخ دهدکه به کاویتاسیون موسوم است و چگونگی به وقوع پیوستن و کنترل آن به سادگی قابل درک نمی باشد .

پدیده کاویتاسیون زمانی اتفاق می افتد که فشار موضعی از فشار بخار سیال مایع در حال حرکت کم تر شود.در چنین حالتی حباب هایی که نشان دهنده ی ذرات تبخیر شده می باشند در داخل مایع پدیدار می گردد.در اثر ایجاد و از بین رفتن مستمر این حباب ها پدیده ای فرسایشی بر روی بدنه ی قطعات مذکور ایجاد می گردد .

ایجاد پدیده کاویتاسیون از بسیاری جهات شبیه پدیده جوش می باشد .در پدیده جوش نیز زمانی که در اثر افزایش دمای مایع فشار به بالای بخار اشباع میرسد حباب های بخار در جداره ی ظرف پدیدار شده شروع به رشد می نمایند.

مکانیزم حرارت منتقل شده توسط تشکیل حباب و سپس حرارت منتقل شده از حباب به مایع در شکل (۵-۱۶) مشخص گردیده است که به ترتیب اسلاید بعد شرح داده میشود.



شکل (۵-۱۶): مراحل ایجاد پدیده‌ی کاویتاسیون [۱]

الف)مایع مجاور دیوار حرارت داده می شود(درجه حرارت دیوار بالاتر از درجه حرارت اشباع مایع می گردد).

ب)یک ذره ی بخار در محل برجستگی ها و یا شکاف های کوچک دیواره ظاهر می گردد که بعدا رشد می کند تا به حباب تبدیل گردد.

ج)با رشد حباب ایجاد شده این حباب مایع مجاور دیواره را شکافته و مایع خارجی (مایع سردتر)را مطابق شکل در جهتی که با علامت پیکان نشان داده شده است به طرف خارج هدایت می کند .

د)در این حالت حباب با مایع سردتر تماس پیدا میکندولی کماکان به رشد خود ادامه می دهد .البته درجه حرارت آن کاهش می یابد اما رشد ان (به علت دریافت حرارت کم تر بر واحد حجم)آهسته تر خواهد بود.

ه)در این حالت حباب به حدی رشد کرده است که حرارت دریافتی (که از طریق هدایت از سطح حرارت دهنده می گیرد)کم تر از حرارتی است که (در اثر تبخیر یا عمل جابجایی)به مایع سرد می دهد.

و)در این مرحله نیروی اینرسی (رانش)کاهش می یابد و موجب می گردد تا مجددا از حجم حباب کاسته شود .این کاهش نیرو تا حدی است که حباب ناپدید گردد.

ز)با از بین رفتن حباب نیروی اینرسی موجود در مایع سرد(که موجب در هم ریختن و از بین بردن حباب شده است)باعث می شود تا این مایع با سرعت زیادی به بدنه ی سطح حرارت دهنده بر خورد کند.

ح)در این حالت دوباره لایه مایع مجاور سطح حرارت دهنده به حالت پایدار میرسد و سیکل فوق تکرار می گردد.

۲- ضریب کاویتاسیون توما

یکی از پارامترهای مهمی که در کارخانه های ساخت توربین و در صنایع در زمینه پدیده کاویتاسیون به کار گرفته می شود معروف به ضریب کاویتاسیون توما است .این ضریب یکی از عوامل بسیار مهم در انتخاب توربین می باشد که به صورت زیر به دست می اید:

(۴-۵) که در این رابطه

σP =ضریب کاویتاسیون(سیگما دستگاه)

H_a =ارتفاع فشار اتمسفربرحسبmmHg

H_V=رتفاع فشار بخار آب بر حسب ml

H_S=فاصله ی بین دهانه ی خروجی یا خط وسط پره ها با حد اقل سطح پایین دست آب خروجی از دهانه ی توربین بر حسب m

H=حد اکثر ارتفاع خالص در شرایط بهره برداری بر حسب m

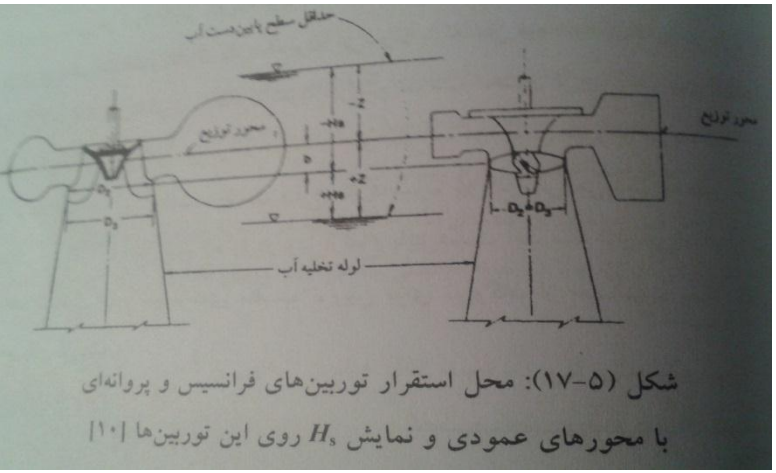
$$\sigma P = \frac{Ha - Hv - Hs}{H}$$

در جدول (۵-۷)مقدار ارتفاع فشار اتمسفر(H_S)بر حسب mبیان شده است.

ارتفاع m	H_a .mmHg	H_a m H_2O
۰	۷۶۰	۱۰٫۳۵۱
۵۰۰	۹۹/۷۱۵	
۱۰۰۰	۰۷/۶۷۴	
۱۵۰۰	۱۶/۶۳۴	
۲۰۰۰	۱۸/۵۹۶	۱۲۰/۸
۲۵۰۰	۰۷/۵۶۰	۶۲۸/۷
۳۰۰۰	۷۵/۵۲۵	۱۶۰/۷
۳۵۰۰	۱۵/۴۹۳	۷۱۶/۶
۴۰۰۰	۲۱/۴۶۲	۹۲۵/۶

هم چنین مقادیر ارتفاع فشار بخار آب (H_V)در جدول (۵-۸)مشخص شده است .
در شکل (۵-۱۷) مقدار ارتفاع H_S نشان داده شده است.همان گونه که در این شکل مشخص است در توربین فرانسیس از نوع محوری مقدار Hمعرف فاصله ی سطح پایین دست آب تا قسمت ته توربین می باشد.

دما c	H_V m
۵	۰۸۹/۰
۱۰	۱۲۵/۰
۱۵	۱۷۴/۰
۲۰	۲۳۹/۰
۲۵	۳۲۴/۰



شکل (۵-۱۷): محل استقرار توربین‌های فرانسیس و پروانه‌ای با محورهای عمودی و نمایش H_s روی این توربین‌ها [۱۰]

۳-کنترل کاویتاسیون

راه های متعددی برای کنترل کاویتاسیون وجود دارد ولیکن موثرترین روش این است که سیستم توربین به گونه ای طراحی و انتخاب شود که ضریب کاویتاسیون ویا سرعت از حد مجاز تجاوز نکند۰ البته انجام این عمل بستگی به هزینه های احداث خواهد داشت ۰در بسیاری از موارد یک لایه مقاوم در مقابله با کاویتاسیون بر روی فلز اصلی جوش داده میشود۰ موقعیت محل و وسعت این نواحی از طریق ساخت مدل و انجام آزمایش های تجربی بر روی آن بدست می آید۰

در روش غیر مستقیم کنترل کاویتاسیون میتوان با تعیین محدوده ی تغیرات سرعت توربین اثرات کاویتاسیون را کنترل نمود

۱۰- روند انتخاب مشخصات دوربین

۱-مقدمه

داده های مورد نیاز در انتخاب توربین آبی را میتوان شامل ارتفاع قابل دسترس آب میزان دبی منحنی تغییرات سطح ÷ایین دست آب ارتفاع موقعیت نصب دمای آب میزان تقاضای بار نیازمندی های بهره برداری و کیفیت آب دانست۰بعد از انجام مطالعات اولیه و برآورد امکان ساخت سد و نصب توربین نیاز به مطالعات بهینه سازی انجام طرح میباشد۰

۲ - داده های بهره برداری

از مهمترین داده های مورد نیاز بهره برداری در انتخاب توربین میتوان به موارد زیر اشاره نمود:

۱) ارتفاع آب پشت سد

۲) ارتفاع سطح پایین دست آب

۳) ارتفاع حداکثر اب

۴) ارتفاعهای موثر توربین شامل ارتفاع حداکثر- ارتفاع متوسط- ارتفاع حداقل برای ظرفیت قابل قبول و ارتفاع کمتراز حداقل

۵) ارتفاع طراحی شده برای سد

۶) ارتفاع نامی برای سد

۷) ترتیب پیش نهادی کلی

۳ – محدوده ی ارتفاع ریزش اب

اولین قدم در انتخاب نوع توربین محدوده ی تقریبی ارتفاع ریزش آب است۰در جدول(۵-۹) نوع توربین مناسب با ریزش های متفاوت نشان داده شده است۰

البته ارتفاع ارائه شده در جدول مذکور قطعیت کاملی ندارد ودر بعضی مواقع هم پوشانی میشوند و حتی در شرایط خاص هم مبتوان از این محدوده ها خارج شد۰

جدول(۵-۹) محدوده ی تقریبی ارتفاع ریزش آب با توجه به نوع توربین

نوع توربین	ارتفاع ریزش آب بر حسب
ضربه ای	۱۵۰-۱۷۰۰
فرانسیس	۱۵ -۲۶۰
پروانه ای	۳ -۷۵

- انتخاب توربین

مراحل انتخاب توربین به صورت زیر میباشد:

۱. ارتفاع خالص ریزش آب و خروجی مورد نظر را انتخاب کنید.

۲. نوع توربین را تعیین نمایید.

۳. با توجه به ضریب k به دست آمده از جدول(۵-۶) سرعت مخصوص وابسته به بند اول و دوم را به صورت روبرو محاسبه کنید. $Ns=K/\sqrt{H}$ (۵-۵)

۴. سرعت چرخش توربین رابه دست آورید

$$N=\frac{Ns.H^{1.25}}{\sqrt{Pt}}$$ (۶-۵)

که در این رابطه

N= سرعت چرخش توربین برحسبrpm

Ns= سرعت مخصوص توربین برحسبrpm

H= ارتفاع خالص ریزش آب بر حسب m

Pt= قدرت خروجی نامی توربین بر حسب k w

۵. سرعت چرخشی واحد را به نزدیکترین سرعت سنکرون استاندارد اصلاح کنید.نزدیکترین سرعت هیدرو ژنراتور به صورت زیر محاسبه میشود.

$$N=\frac{120\times f}{\text{تعدادقطبها}}$$

که f فرکانس شبکه بر حسبHz میباشد وتعدادقطب ها هم قابل تقسیم بر ۲ یا ترجیحا ۴ میباشد.

۶.سرعت مخصوص را برای سرعت سنکرون انتخاب شده محاسبه نمایید.

$$Ns=\frac{N.Pt^{0.5}}{H^{1.25}}$$

۷)قطر دهانه ی تخلیه آب در چرخنده ی توربین را تعیین کنید.

$$D=\frac{84.47\times\varphi.H^{0.5}}{N}$$

که در این رابطه

D= قطر دهانه ی تخلیه بر حسب m

φ = تغییرات سرعت در دهانه ی تخلیه

H= ارتفاع خالص ریزش آب بر حسب m

N= سرعت چرخش توربین بر حسبrpm

لازم به ذکر است که تغییرات سرعت در دهانه ی تخلیه برای توربیت های فرانسیس پروانه ای و ضربه ای به صورت زیر محاسبه می گردند :

(۵-۱۰) برای توربین فرانسیس

$\Phi=0.0234\times Ns^{2.3}$

(۵-۱۱)برای توربین پروانه ای

$\Phi=0.0258\times Ns^{2.3}$

(۵-۱۲)برای توربین ضربه ای (پلتون) $\Phi=0.46$

۸)قطر خارجی یک پره (چرخنده)پلتون را محاسبه کنید:

$D_0=(1.028+0.0137n_{SJ})D$ (۵-۱۳)

که در این رابطه :

D_0=قطر خارجی پره (چرخنده)بر حسب m

n_{SJ}= $\left(\frac{P}{i}\right)^{0.5}\frac{N}{H^{1.25}}$ سرعت مخصوص برای هر انژکتور (تزریق کننده ی اب)=n_{SJ}

P=قدرت خروجی توربین بر حسب KW

I=تعداد انژکتورهای توربین

۹)مقدار ضریب کاویتاسیون را محاسبه کنید .این ضریب برای توربین های پروانه ای و فرانسیس $\sigma=\frac{Ns^{1.6}}{29000}$ به صورت روبرو محاسبه میشود (۵-۱۶)

۱۰)موقعیت استقرار توربین را توسط رابطه ی زیر تعیین کنید :

$Hs=Ha-Hv-\sigma .H$ (۵-۱۵)

که در این رابطه :

Hs=فاصله ما بین قطر D2و حد اقل سطح پایین دست آب بر حسب m(با توجه شکل(۵-۱۷)

D2=حد اقل قطر پره های توربین بر حسب m /این قطر در شکل (۵-۱۷) مشخص شده است .

b=فاصله ما بین قطر D2و محور مرکزی لوله پخش کننده ی اب بر حسب m

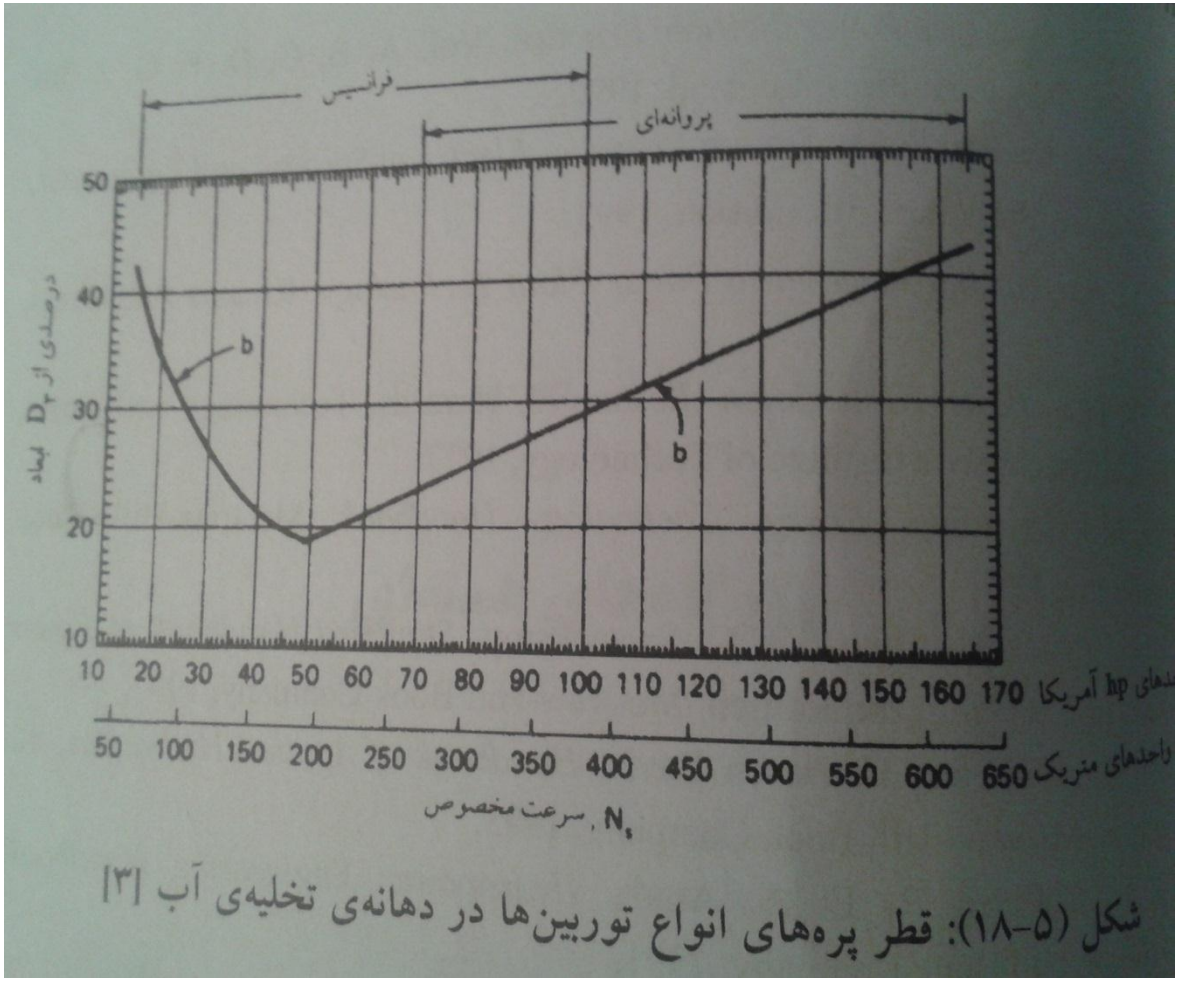
D3=قطر پره ها در دهانه ی تخلیه آب این قطر را می توان با استفاده از شکل (۵-۱۸) مشخص نمود .

Z=فاصله بین محور مرکزی لوله ی پخش کننده و حد اقل سطح پایین دست آب بر حسب متر

Ha=فشار هوا برای عملکرد در حداقل ارتفاع پایین دست آب بر حسب mmHg

Hv=قشار بخار آب در شرایط حد اکثر دمای آب

H=حد اکثر ارتفاع ریزش آب بر حسب m



شکل (۵-۱۸): قطر پره‌های انواع توربین‌ها در دهانه‌ی تخلیه‌ی آب [۳]