



دانشکده مهندسی برق و رباتیک

طراحی کنترلر فازی بهینه جهت احتراق بویلر نیروگاه های بخار

مجتبی کاهنی

استاد راهنما :

دکتر محمد حداد ظریف

شهریور ۱۳۹۰

چکیده:

بهینه سازی مصرف انرژی در سال های اخیر بطور گسترده ای در سطح جهان و ایران مورد توجه قرار گرفته است. نیروگاه ها به عنوان تولید کنندگان انرژی الکتریکی، خود از مصرف کنندگان عمده انرژی نیز می باشند. لذا بهینه سازی مصرف انرژی در نیروگاه ها، به عنوان راهکار موثری در کاهش مصرف سوخت های فسیلی مطرح است.

با توجه به اینکه بخش عمده مصرف انرژی در نیروگاه ها مربوط به پمپ ها و فن های موثر در سیکل تولید است. جایگزینی سیستم قدیمی کنترل دبی با درایوهای الکتریکی می تواند تاثیر بسزایی در کاهش مصرف انرژی داشته باشد. در این پژوهش جایگزینی سیستم کنترل با استفاده از دمپر در خروجی فن دمنده اجباری نیروگاه رامین با درایو اینورتری از دیدگاه فنی و اقتصادی مورد مطالعه قرار گرفت.

جهت بررسی فنی دقت سیستم کنترل، مجموعه فن، درایو و موتور در محیط سیمولینک متلب شبیه سازی شد. نتایج شبیه سازی در پاسخ به تغییرات نقطه کار حاکی از پاسخ گویی مناسب سیستم و ردگیری نقاط تنظیم است.

با توجه به هزینه سنگین نصب درایو روی موتورهای *FD Fan* نیروگاه رامین، سرمایه گذاری در این بخش بایستی توجیه پذیر باشد. جهت محاسبه بازگشت سرمایه، پس از اندازه گیری های میدانی در نیروگاه رامین اهواز، پروفیل بار و اطلاعات طراحی فن، از نرم افزار *Fan Save* استفاده شد. نتایج بیانگر توجیه پذیری اقتصادی بکارگیری درایو در فن دمنده اجباری نیروگاه رامین می باشد.

نکته دیگری که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت، تاثیر استفاده از درایو الکتریکی در افزایش راندمان نیروگاه رامین است. جهت این امر، با استفاده از اطلاعات طراحی، واحد در نرم افزار *Termoflow* شبیه سازی شده و تاثیر تغییر روش کنترل فن، در راندمان مدل تحقیق شد.

فهرست مطالب

فصل اول: تشریح مسئله و مروری بر پژوهش های انجام شده.....	۵
۱-۱ مروری بر پژوهش های انجام شده.....	۶
۲-۱ کنترل دور ماشین القایی قفس سنجابی.....	۷
۳-۱ کنترل دور موتور القایی روتور پیچیده شده.....	۸
۴-۱ تشریح مسئله.....	۹
۵-۱ معرفی درایوهای اینورتری.....	۱۱
۶-۱ معرفی نیروگاه رامین.....	۱۲
۷-۱ شرایط اقلیمی نیروگاه.....	۱۳
۸-۱ دلایل انتخاب <i>FD Fan</i> در این پروژه.....	۱۴
فصل دوم: طراحی کنترل کننده بهینه جهت موتور فن دمنده اجباری نیروگاه رامین.....	۱۸
مقدمه.....	۱۹
۱-۲ مدل سازی.....	۱۹
۲-۲ برنامه ریزی پویا.....	۲۳
۳-۲ رفع مشکل مقادیر میانی به روش فازی.....	۳۰
فصل سوم: شبیه سازی درایو <i>ACS 800</i> شرکت <i>ABB</i> و بررسی تاثیر بکارگیری درایو در نیروگاه.....	۳۵
مقدمه.....	۳۶
۱-۳ شبیه سازی سیستم درایو، موتور و فن در محیط سیمولینک.....	۳۷
۱-۱-۳ شبیه سازی درایو.....	۳۷
۲-۱-۳ شبیه سازی فن.....	۴۱
۳-۱-۳ بررسی نتایج شبیه سازی فن و درایو در محیط سیمولینک.....	۴۲
۲-۳ شبیه سازی نیروگاه در محیط <i>Termoflow</i>	۴۴
۱-۲-۳ معرفی نرم افزار <i>Termoflow</i>	۴۴
۲-۲-۳ اطلاعات طراحی نیروگاه رامین اهواز.....	۴۵
۱-۲-۲-۳ سیکل نیروگاه.....	۴۵

۴۶	۲-۲-۲-۳ مشخصات کلی نیروگاه رامین
۴۹	۳-۲-۲-۳ تجهیزات نیروگاه
۷۲	۳-۲-۳ مقایسه شبیه سازی نرم افزاری با تست عملکرد
۸۱	فصل چهارم: آنالیز اقتصادی
۸۲	مقدمه
۸۲	۱-۴ نتایج اندازه گیری انرژی مصرفی <i>FD Fan</i> در واحد های مختلف نیروگاه رامین اهواز
۸۸	۲-۴ استعلام هزینه
۸۹	۳-۴ آنالیز اقتصادی توسط نرم افزار <i>Fan Save</i>
۹۲	نتایج و پیشنهادات
۹۴	مراجع

تشکر و قدردانی

بر خود لازم می دانم از همسرم بواسطه همکاری های موثر و تحمل سفرهای طولانی مدت من، جهت تکمیل اطلاعات مورد نیاز انجام پروژه نهایت تشکر را بعمل آورم.

راهنمایی و همفکری های بی دریغ اساتید راهنما و مشاور، آقایان دکتر حداد ظریف و دکتر دارابی ، علاوه بر پیشبرد علمی و کیفی، باعث دلگرمی من در انجام پروژه بود. امیدوارم سپاسگزاری صمیمانه من را به عنوان پاسخی ناچیز در قبال زحمات خود بپذیرند.

دستیابی به اطلاعات مورد نیاز تحلیل های این پروژه بدون یاری پرسنل محترم نیروگاه رامین اهواز ممکن نبود. لذا قدردانی خود را از آقایان مهندسین نیل ساز، اسکندری، محمدی، فاضلی زاده، محمدی نصر، حسابی، و همچنین کلیه همکارانشان در بهره برداری نیروگاه رامین اعلام می دارم.

در انتها از گروه بهینه سازی تولید سازمان بهره وری انرژی ایران (سابا)، آقایان مهندسین نجف زاده، بیاتی نیا، کبریائی و حائری که در تامین مالی بخشی از این پروژه و انجام هماهنگی های مورد نیاز جهت برداشت اطلاعات تلاش فراوانی کردند، صمیمانه تشکر می نمایم.

فصل اول

تشریح مسئله و مروری بر پژوهش های انجام شده

۱-۱ مروری بر پژوهش های انجام شده

در قرن گذشته، ماشین های الکتریکی (DC ، القایی و سنکرون) به عنوان تامین کننده نیروی محرکه صنایع مختلف، بطور وسیعی مورد استفاده قرار گرفته اند. با وجود قیمت بالاتر ماشین جریان مستقیم، بواسطه سادگی سیستم کنترل و تجهیزات کانورتر مورد نیاز جهت کنترل دور، در کاربردهای صنعتی ماشین های DC [۱] بطور سنتی برای برآورد خواسته کنترل سرعت مورد استفاده قرار می گرفته اند. با این حال، بزرگترین اشکال بکارگیری ماشین های DC ، کلکتور، جاروبک و نیاز به تعمیر و نگهداری پیوسته آن است. در سویی دیگر، ماشین های AC [۲] بسیار ارزان تر می باشند. در گذشته از ماشین های AC بدلیل پیچیدگی و گرانی کنترل دور، تنها در کاربردهای سرعت ثابت استفاده می شد. لیکن طی ۵۰ سال گذشته تحقیقات گسترده ای جهت توسعه درایوهای موتورهای القایی صورت گرفته است که منجر به کاهش هزینه و افزایش کیفیت پاسوخگویی آن شده است. با توجه به پیشرفت های حاصله، امروزه بکارگیری درایوهای AC در صنعت روند رو به رشدی پیدا کرده است.

پیشرفت های حاصله در زمینه الکترونیک قدرت و میکروالکترونیک، تاثیر چشمگیری در عملکرد و کارایی درایوهای AC گذاشته است. ماشین های AC بر خلاف ماشین های DC کاملاً تزویج شده و غیر خطی بوده و ساختار چند متغیره دارند. لذا کنترل دور ماشین های AC نیازمند بکارگیری الگوریتم های پیچیده کنترل و پردازش سیگنال آنی است. پیشرفت های حاصله این امکان را به صنعتگران ارائه می دهد که با بهره گیری از الکترونیک قدرت، میکروالکترونیک و میکروکامپیوتر کنترل های پیچیده را با هزینه های معقول پیاده سازی نمایند. امروزه با پیشرفت های حاصله، موتورهای AC به عنوان جایگزین موتور های DC ، در بسیاری از کاربردها مطرح شده اند.

موتورهای القایی ارزانترین مدل ماشین الکتریکی بوده و دارای قابلیت اطمینان مناسب جهت کاربردهای صنعتی می باشند. دو مدل موتور القایی در صنعت رایج است:

- موتور القایی قفس سنجابی

- موتور القایی روتور پیچیده شده

موتور قفس سنجابی بدلیل ارزانتر و مقاوم بودن، در توان های مختلف و کاربردهای صنعتی گوناگون مورد استفاده قرار گرفته است.

۱-۲ کنترل دور ماشین القایی قفس سنجابی

روش های مختلف کنترل با نسبت پیچیدگی گوناگون جهت کنترل دور ماشین های القایی قفس سنجابی ارائه شده اند. یک روش آسان و ارزان قیمت، تغییر ولتاژ استاتور در فرکانس ثابت می باشد [۳]. جهت این امر کافی است از تایریستور (یا تریاک) استفاده شود. این روش در کاربردهایی نظیر فن و پمپ مورد استفاده قرار گرفته است.

یک روش مرسوم دیگر در کنترل سرعت موتورهای القایی، تغییر فرکانس استاتور می باشد [۴] بگونه ای که سرعت مطلوب نزدیک به سرعت سنکرون باشد. این امر موجب کوچک شدن لغزش شده و تلفات را در مدار روتور کاهش می دهد. لیکن این روش نیازمند استفاده از مبدل فرکانسی است که تجهیزاتی گران قیمت بشمار می رود. جهت عملکرد مناسب ماشین القایی، پیشنهاد می شود موتور در شار نامی خود کار کند. روش های کنترل غیر مستقیم شار نظیر "فرکانس/ولتاژ" [۵] و کنترل جریان و فرکانس لغزش [۶] در واقع نوعی کنترل فرکانس متغیر می باشند. امروزه این دو روش بطور قابل ملاحظه ای در صنعت مورد استفاده قرار می گیرند.

درايوهای فرکانس متغیر در واقع از سیستم کنترل حلقه باز فرکانس/ولتاژ جهت تنظیم شار ماشین استفاده می کنند. این مدل درايو، جهت کاربردهای معمول مناسب است لیکن سیستم های کنترل حلقه بسته با قابلیت تنظیم لغزش، پس از آن معرفی شده اند که کارایی درايو را بشدت افزایش داده اند. در صورتیکه فرکانس و ولتاژ فاصله هوایی با نسبت یکسان تغییر کنند، شار فاصله هوایی کنترل می شود. هماهنگی بین گشتاور و شار، باعث بیشینه شدن گشتاور تولیدی ماشین در جریان ثابت می شود.

روش دیگری که در تنظیم شار بکار می رود بر پایه ارتباط جریان استاتور و فرکانس لغزش است. این روش برخلاف روش کنترل فرکانس و ولتاژ، مستقل از پارامترهای استاتور نظیر مقاومت و اندوکتانس نشتی بوده ولی با این وجود، قابلیت تنظیم شار حتی در سرعت های پایین را دارا می باشد.

روشهای مطرح شده در بخش قبل، کارایی مناسبی در حالت پایدار دارند. روش کنترل ولتاژ و فرکانس به راحتی قابل پیاده سازی است لیکن کنترل جریان-فرکانس لغزش، نیازمند تنظیم جریان سیستم بوسیله کنترل حلقه بسته بوده و همچنین بایستی سرعت ماشین، بدقت اندازه گیری شود. با این وجود در برخی از کاربردها این روش ها توانایی برآورد پاسخ حالت گذرای مناسب را ندارند. برخی از کاربردها نظیر رباتیک، سیستم های حفر چاه و ... نیازمند پاسخ گویی سریع و دقیق

هنگام تنظیم گشتاور هستند. برای دستیابی به این منظور، ساختار دینامیک ماشین بایستی مد نظر قرار گیرد. ماشین القایی یک تجهیز چند متغیره غیرخطی با تزویج بالا است. تا کنون روش های مختلفی جهت کنترل سریع گشتاور و شار ارائه شده اند [۷-۱۱] که نتایج همگی به استفاده از کنترل میدان گرا (*Field-oriented control*) همگرا می شود. در این روش جریان استاتور به دو بخش تقسیم می شود. نخست جریانی که شار فاصله هوایی را تولید می کند و قسمت بعدی مربوط به جریانی است که گشتاور را تولید می کند. بنابراین، این روش کنترل مستقل گشتاور و شار را برآورده می سازد که بسیار شبیه ماشین تحریک مستقل جریان مستقیم است. اندازه و فاز جریان های استاتور به نحوی کنترل می شوند که بخش شار و گشتاور جریان در شرایط دینامیک و استاتیک غیر کوپل باقی بماند. شرح کامل خطی سازی و دکوپله کردن ماشین القایی در مرجع [۱۲] آورده شده است.

روش های مختلفی جهت بکارگیری کنترل میدان گرا پیشنهاد شده اند که در واقع، می توان آنها را به دو دسته روشهای مستقیم و غیر مستقیم، تقسیم نمود. روش مستقیم نیازمند استفاده از شار می باشد که بایستی با توجه به خروجی های ماشین، محاسبه گردد.

روش غیر مستقیم نیازمند استفاده از شار نمی باشد و با استفاده از پارامترهای موتور فرکانس لغزش جهت دستیابی به شار محاسبه می شود. این روش بدلیل سادگی بکارگیری نسبت به روش کنترل مستقیم، بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

۱-۳ کنترل دور موتور القایی روتور پیچیده شده

در گذشته، موتور القایی قفس سنجابی در کاربردهای سرعت ثابت و موتور القایی روتور سیم پیچیده شده در کاربردهای سرعت متغیر استفاده می شد. با وجود اینکه موتور القایی روتور پیچیده شده گران قیمت تر و ضعیف تر از موتور قفس سنجابی است، اما بواسطه اینکه موتور روتور پیچیده شده توانایی بازیابی توان لغزشی را دارا است، در کاربردهای بزرگ مورد استفاده قرار می گرفت. کنترل دور در ماشین های روتور پیچیده شده به آسانی و با تغییر مقاومت مدار روتور قابل استحصال است. همچنین با پیشرفت الکترونیک قدرت، بکارگیری برشگر نیز جهت کنترل مقاومت مدار روتور پیشنهاد شده است [۱۳]. روش کنترل میدان گرا نیز جهت کنترل موتورهای القایی روتور پیچیده شده معرفی و بررسی شده است [۱۴]، با این تفاوت که بر خلاف موتورهای قفس سنجابی، شار استاتور مورد استفاده قرار می گیرد. از آنجایی که پارامترهای موتورهای روتور پیچیده شده با نسبت کمتری تغییر می کنند، لذا بحث تعیین و یا تخمین پارامترها در این ماشین مطرح نمی شود.

تاکنون مطالعات زیادی در خصوص کاربرد استفاده از درایو و کنترل دور موتورهای القایی در صنایع صورت گرفته است. در [۱۵] نتایج نصب درایو با کنترل *DTC* بروی بالابر هیدرولیکی مورد بررسی قرار گرفته است. این تحقیق از نظر سیستم درایو پیشنهادی از محصولات *ABB* و نوع انتخاب سیستم کنترل نزدیک به موضوع این پایان نامه می باشد. همچنین در مراجع [۱۶ الی ۱۸] در خصوص استفاده از درایو در جهت کاهش مصرف انرژی در کاربردهای ماشین های الکتریکی بحث شده است.

در خصوص بکارگیری درایوهای الکتریکی در کاربردهای نیروگاهی نیز هم در خارج کشور [۱۹ الی ۲۱] و هم در داخل کشور [۲۲ الی ۲۴] مطالعات مختلفی انجام شده است. نتایج حاکی از آن است که استفاده از درایو در کاربردهای فن و پمپ می تواند بسیار کارساز باشد.

۴-۱ تشریح مسئله

سطح مصرف انرژی در جهان، پیوسته در حال افزایش است. توسعه صنایع، مکانیزه شدن فرایندها، گسترش جابه جایی و استفاده روز افزون بشر از تجهیزات جهت افزایش رفاه خود، باعث رشد چشمگیر انرژی در سالهای اخیر شده است. این امر موجب شده که در خوش بینانه ترین پیش بینی ها، منابع فسیلی که طی میلیون ها سال تولید شده اند، طی صد سال آینده مصرف شوند. آیا تا به حال به جهان، بدون انرژی های فسیلی اندیشیده اید؟

جهت رفع مشکل تامین انرژی و یافتن جایگزین های مناسب برای سوخت های فسیلی بشر تا کنون تلاشهای فراوانی انجام داده است. استفاده از انرژی خورشیدی، باد، زمین گرمایی و همچنین تلاش برای دست یابی به سوخت هایی که در چرخه های کوتاه زمانی تولید شوند (*Bio fuel*) در دستور کار قرار گرفته است. لیکن مشکل اصلی این جایگزین ها، علاوه بر هزینه های سنگین تولید انرژی، محدود بودن میزان تولید انرژی است و با روشهای کنونی دستیابی به سطح مصرف بشر به این روشها بسیار مشکل و دور از ذهن است.

با توجه به محدودیت انرژی های فسیلی و همچنین نبودن جایگزین مناسب، یکی از مهمترین دغدغه های بشر در سالهای اخیر، استفاده بهینه از منابع سوختی است. در کنار بهینه سازی مصرف انرژی در سمت تقاضا، مانند بهینه سازی

تجهیزات، ماشین آلات، اصلاح الگوی مصرف و همچنین ترویج حمل و نقل عمومی، یکی از اساسی ترین بحث های امروز، بهینه سازی مصرف در سمت تولید است.

نیروگاه ها، به عنوان تولید کنندگان انرژی الکتریکی، خود از مصرف کنندگان عمده انرژی نیز می باشند. در نیروگاه های گازی ۳ الی ۵ درصد انرژی تولیدی صرف مصرف داخلی می شود. این رقم در نیروگاه های بخار چشمگیر تر بوده و به حدود ۵ الی ۸ درصد می رسد. لذا تلاش در بهینه سازی مصرف انرژی در سمت تولید می تواند تاثیر بسزایی در کاهش مصرف انرژی داشته باشد.

سهم عمده مصرف انرژی در نیروگاه های بخار مربوط به فن ها و پمپهای بزرگی است که در فرایند تولید تاثیر گذارند. نیروگاه های موجود در کشور متوسط عمر بالایی دارند و از سیستم های کنترلی قدیمی استفاده می کنند. امروزه با پیشرفت تکنولوژی قابلیت هایی ارائه شده است که می توان به مدد آن، علاوه بر بهبود بهره برداری و کنترل، در کاهش مصرف انرژی نیز گام های بلندی برداشت. یکی از این سیستم ها، استفاده از درایوهای الکتریکی است. امروزه با پیشرفت های حاصله در الکترونیک قدرت، امکان ساخت درایوهای تنظیم سرعت جهت موتورهای با توان بالا نیز بوجود آمده و می توان از این تکنولوژی، در موتورهای پر مصرف نیروگاه های بخار بهره جست.

در سیستم های قدیمی کنترل دبی هوای خروجی فن، که در نیروگاه های کشور بسیار رایج است، از دمپر استفاده می شود. استفاده از دمپر جهت کنترل دبی در حالی که موتور الکتریکی در شرایط معمول در حال کار می باشد مانند این است که جهت کنترل سرعت اتومبیل، در حالی که پدال گاز تا انتها فشرده شده است، از ترمز استفاده شود. این امر موجب تلفات چشمگیر انرژی در این بخش می شود. بکارگیری درایوهای کنترل دور موجب حذف سیستم دمپر شده و دبی هوا با کنترل سرعت الکتروموتور تنظیم می شود.

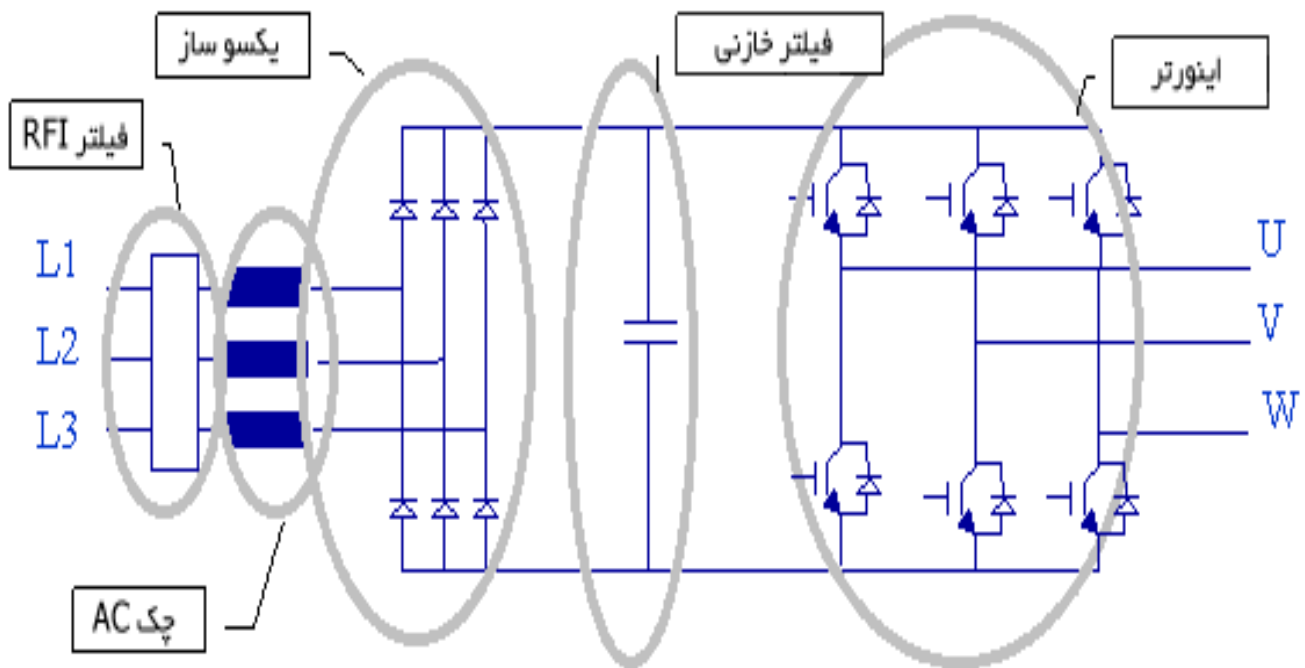
لیکن در جایگزینی این روش دو سوال اساسی فنی و اقتصادی مطرح است. نخست اینکه آیا کنترل سرعت با درایوهای الکتریکی می تواند پاسخ گوی تغییرات مطلوب جهت مانور بار در نیروگاه ها شود. همچنین با توجه به هزینه بالای خرید، نصب و راه اندازی درایوهای دور متغیر، بایستی این جایگزینی از دیدگاه اقتصادی توجیه پذیر باشد. در این پروژه، جایگزینی سیستم کنترل قدیمی *FD. Fan* نیروگاه رامین با درایو سرعت متغیر مورد بررسی قرار گرفته و به سوال های فوق پاسخ داده شده است. در ادامه درایوهای اینورتری و نیروگاه رامین اهواز بطور مختصر معرفی می شوند.

۵-۱ معرفی درایوهای اینورتری

درایوها دستگاههایی هستند که توان ورودی با ولتاژ و فرکانس ثابت را به توان خروجی با ولتاژ و فرکانس متغیر تبدیل می کنند. باید توجه کرد که دور یک موتور تابعی از فرکانس منبع تغذیه آن است. برای این منظور یک درایو نخست برق شبکه را به ولتاژ DC تبدیل کرده و سپس آنرا با استفاده از یک اینورتر مجدداً به ولتاژ AC با فرکانس و ولتاژ متغیر تبدیل میکند. در شکل (۱-۱) قسمتهای اصلی یک درایو ولتاژ پایین نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود اینورتر متشکل از سوئیچهای قدرتی است که در سالهای اخیر تغییرات تکنولوژیکی زیادی پیدا کرده اند. در واقع با معرفی سوئیچهای قدرتی چون $IGBT$ با قیمتهای رو به کاهش، زمینه برای عرضه درایوهای با قیمت مناسب فراهم شده است. در هر حال خاطر نشان می شود که شکل موج خروجی درایو ترکیبی از پالسهای DC با دامنه ثابت است. این موضوع موجب می شود که خود درایو منشاء اختلالاتی در کار موتور شود. برای مثال کیفیت شکل موج خروجی درایو میتواند سبب اتلاف حرارتی اضافی ناشی از مولفه های هارمونیک فرکانس بالا در موتور شده و یا موجب نوسانات گشتاور ($Torque$ Pulsation) در موتور گردد. با این حال درایوهای امروزی بدلیل استفاده از سوئیچهای قدرت سریع این نوع مشکلات را عملاً حذف کرده اند.

درایوهای نسل جدید علاوه بر کنترل دور و کاهش مصرف انرژی، مزیت های دیگری نیز دارند که عبارتند از:

- هارمونیک: در گذشته یکی از عوامل ضعف درایو تأثیرات هارمونیک آن روی موتور و شبکه بوده است. امروزه این مسئله به کلی حل شده و درایوهای جدید بسیار نزدیک به بارهای خطی می باشند.
- ارتباطات: درایوهای امروزی قابلیت اتصال به اینترنت را دارند. لذا از سراسر دنیا قابلیت تنظیم و فرمان دهی دارند.



شکل ۱-۱: ساختمان قسمت های قدرت یک کنترل کننده دور موتور

- انتخاب پمپ یا فن مناسب: در بعضی از کاربردها محاسبه و پیش بینی منحنی بار بسیار پیچیده است. با استفاده از درایو های اینورتری طراح سیستم را با ضریب اطمینان مناسب طراحی کرده و در صورت اختلاف در شرایط واقعی داریو با راندمان مطلوبی سیستم را تطبیق می دهد.

- حذف قسمت های مکانیکی: استفاده از درایو موجب حذف قسمت های کنترلی مکانیکی نظیر کوپلینگ های هیدرولیکی، دمپر، شیر کنترلی ... گشته و با این ترتیب، موجب کاهش هزینه تعمیرات و نگهداری سیستم می شود.

۱-۶ معرفی نیروگاه رامین [۲۵]

نیروگاه حرارتی رامین در ۲۵ کیلومتری جاده اهواز- مسجد سلیمان در کنار روستای ویس و در نزدیکی رودخانه کارون در شمال شرقی اهواز واقع شده است. این نیروگاه مشتمل بر دو نیروگاه است، نیروگاه اول شامل چهار واحد، واحدهای ۱ الی ۴، و نیروگاه دوم شامل دو واحد، واحدهای ۵ و ۶، می باشد. این واحدها با فاصله زمانی حدود ۲۰ سال از یکدیگر ساخته شده اند. عملیات اجرایی نیروگاه اول شامل دو فاز بوده که فاز اول عبارت است از احداث واحدهای ۱ و ۲ و فاز دوم عبارت است از ساخت واحدهای ۳ و ۴ و عملیات اجرایی نیروگاه دوم در قالب فاز سوم و شامل واحد های ۵ و ۶ می باشد. قرارداد فاز اول که جهت طراحی، ساخت، نصب تجهیزات و راه اندازی واحدهای ۱ و ۲ می باشد در مرداد ۱۳۵۳ بین شرکت توانیر و اتحادیه

مرکزی صادرات و واردات کشور شوروی سابق (شرکت تکنوپروم اکسپورت) به امضاء رسید و قرارداد فاز دوم نیز در تیر ماه ۱۳۵۴ فیما بین همان دو شرکت فوق منعقد گردید. در تاریخ ۵۹/۷/۲ بدلیل جنگ تحمیلی کارهای اجرائی و بهره برداری از نیروگاه متوقف و پس از مدتی از اسفند ماه سال ۱۳۶۰ مجدد کارهای ساخت نیروگاه ادامه یافت و این در حالی بود که واحد شماره ۱ نیروگاه رامین در تاریخ ۵۸/۷/۱ تحویل موقت گردید، در تاریخ ۵۹/۷/۲ بدلیل شرایط جنگی منطقه از مدار خارج شد و سپس وارد مدار بهره برداری گشت. واحد شماره ۲ نیروگاه رامین علی‌رغم بعضی از نواقص، بعلت نیاز به نیروی برق، توسط شرکت تکنوپروم اکسپورت در شهریور سال ۶۲ بطور آزمایشی راه اندازی شد. واحد شماره ۳ در تیر ماه ۱۳۷۲ و واحد شماره ۴ نیز در آبان ماه ۱۳۷۴ راه اندازی و با شبکه سراسری پارالل شدند. در سال ۱۳۶۸ سومین قرارداد جهت احداث دو واحد ۳۱۵ مگاواتی دیگر مشتمل بر واحدهای ۵ و ۶ با شرکت تکنوپروم منعقد و کارهای آن در سال ۱۳۷۰ آغاز گشت. واحد شماره ۵ در آذر ماه، سال ۱۳۷۷ و واحد شماره ۶ در سال ۱۳۷۸ راه اندازی و به شبکه سراسری متصل گردیده است. نیروگاه در زمینی به مساحت ۱,۵۳۱,۵۵۰ متر مربع احداث شده است.



شکل ۱-۲ نیروگاه رامین اهواز

۷-۱ شرایط اقلیمی نیروگاه

اطلاعات آب و هوا و شرایط جغرافیایی محل نیروگاه به قرار زیر است:

بیشینه درجه حرارت محیط	،	+۵۴
کمینه درجه حرارت محیط	،	-۷
درجه حرارت متوسط هوا	،	۲۴/۸
متوسط رطوبت نسبی	%	۴۶
درجه حرارت ماکزیمم هوا در طرح	،	۴۷
درجه حرارت متوسط آب کارون	،	۲۱
حداکثر سرعت باد	n	۱۸
بیشینه ارتفاع آب کارون نسبت به سطح دریا	m	۲۲/۶
کمینه ارتفاع آب کارون نسبت به سطح دریا	m	۱۴
ارتفاع زمین نیروگاه از سطح دریا	m	۲۳/۵

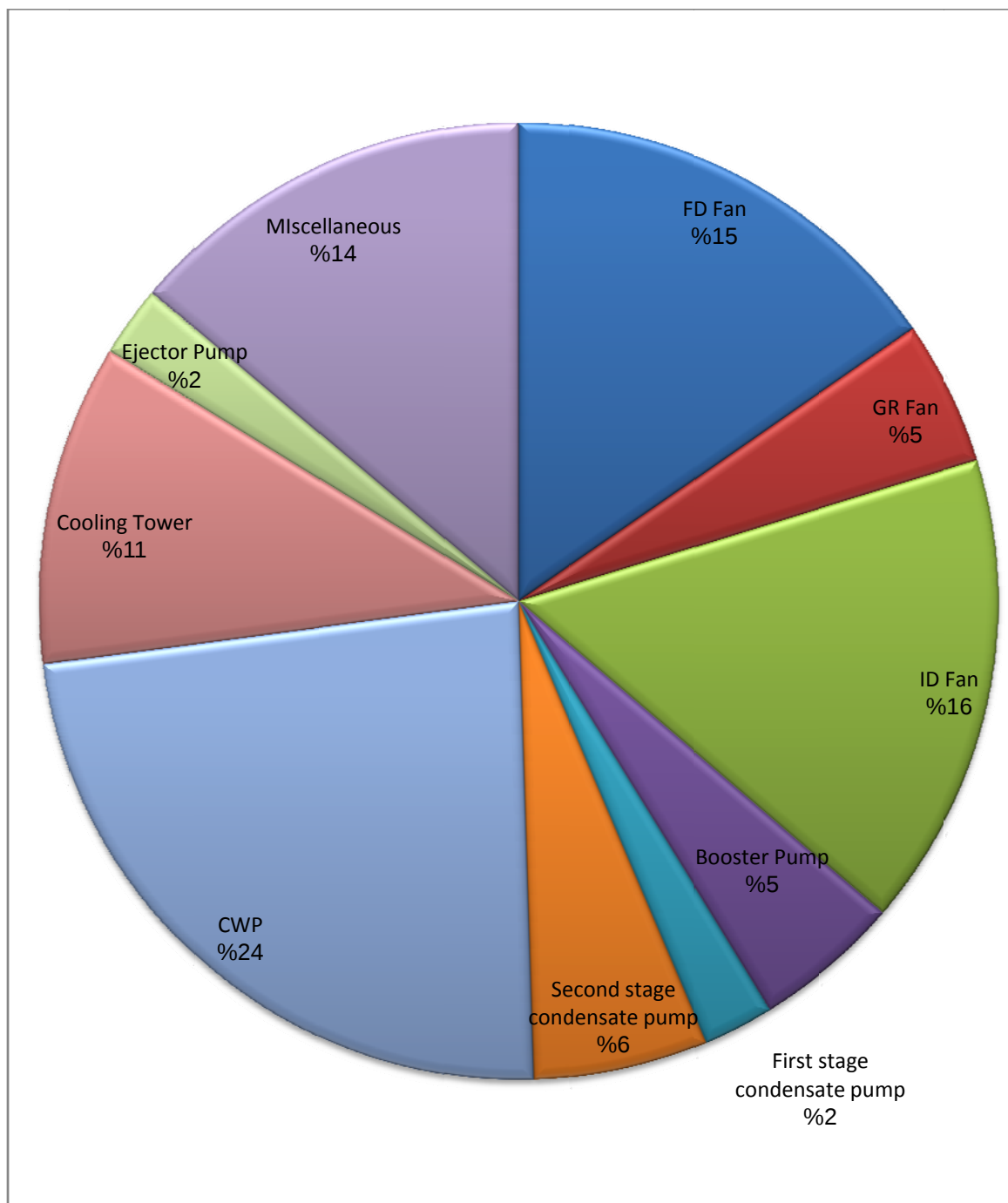


شکل ۱-۳ نمایی از نیروگاه رامین اهواز

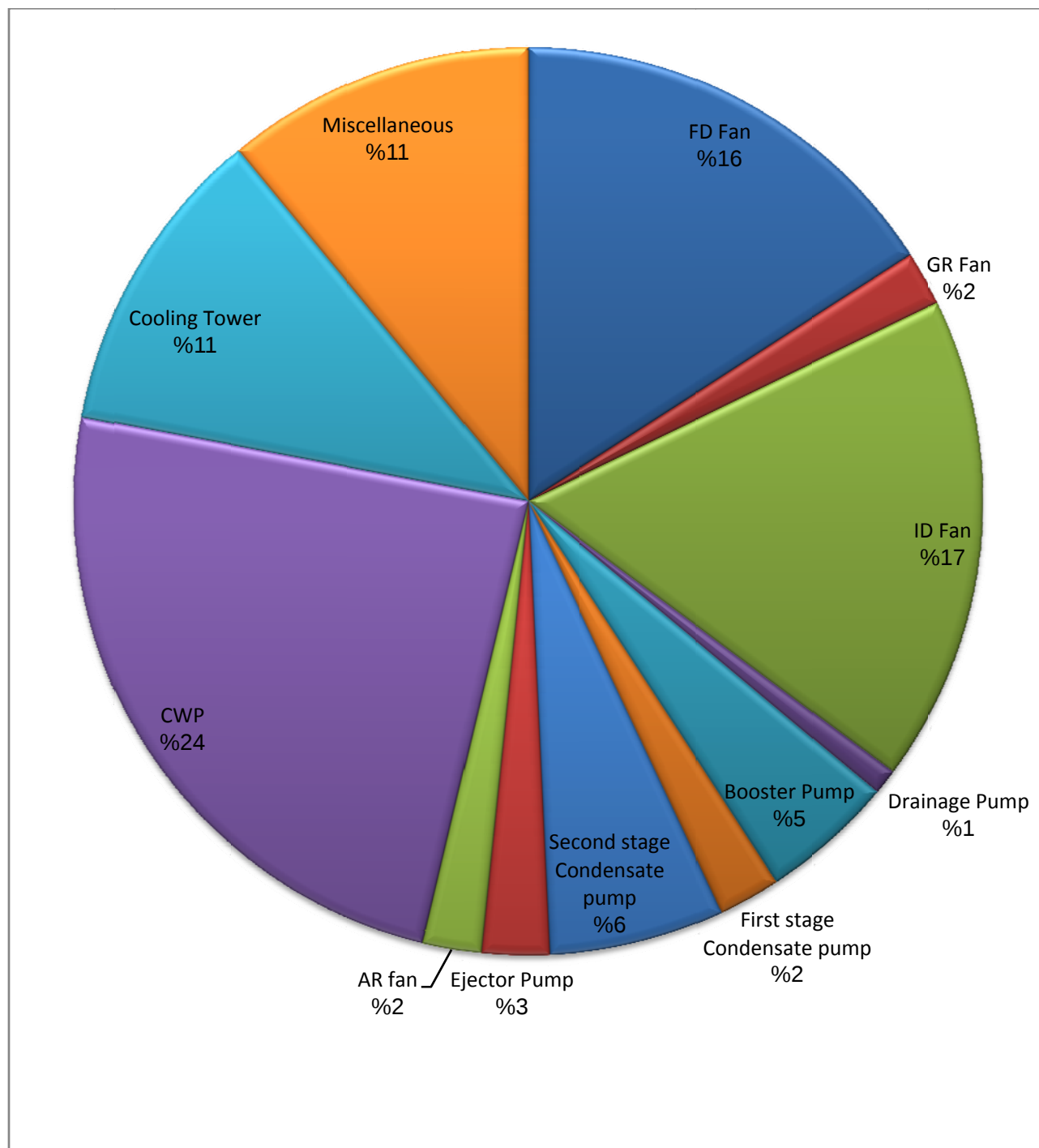
۸-۱ دلایل انتخاب *FD Fan* در این پروژه

مهمترین دلایل انتخاب *FD Fan* جهت انجام مطالعات به شرح زیر می باشند:

- میزان انرژی مصرفی: اندازه گیری های انجام شده از میزان مصرف انرژی در قسمت های مختلف نشان می دهد فن دمنده اجباری به همراه *ID Fan*، بزرگترین مصرف کننده انرژی، از نوع فن در نیروگاه رامین اهواز می باشند. در شکل ۴-۱ نحوه توزیع انرژی مصرفی در تجهیزات واحد ۱ به عنوان نمونه از نیروگاه اول و در شکل ۵-۱ سهم انرژی مصرفی تجهیزات مختلف واحد ۵ به عنوان نمونه از نیروگاه دوم آورده شده است.
- ساعت کارکرد در سال: این فن از جمله تجهیزاتی است که در تمامی زمان های کارکرد واحد بایستی در مدار باشد، لذا پیش بینی می شود تصحیح روش کنترل در این فن بسیار موثر باشد.



شکل ۴-۱ سهم مصرف انرژی هر کدام از مصرف کنندگان عمده واحد ۱



شکل ۱-۵ سهم مصرف انرژی هر کدام از مصرف کنندگان عمده واحد ۵

فصل دوم

طراحی کنترل کننده بهینه جهت موتور

فن دمنده اجباری نیروگاه رامین

مقدمه

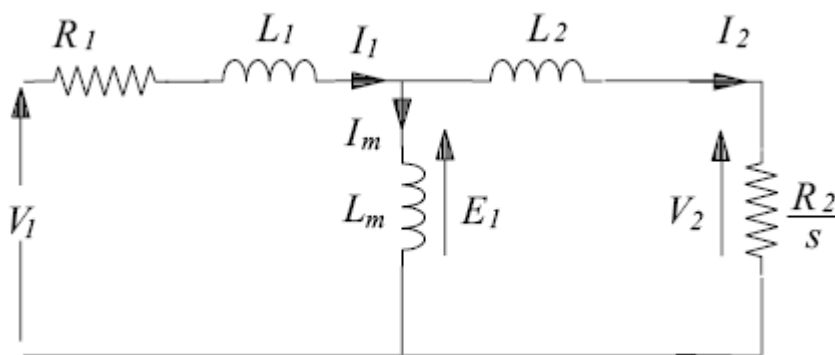
یکی از مهمترین دغدغه های طراحی کنترل کننده جهت کنترل دور فن دمنده اجباری نیروگاه، کاهش انتگرال خطای تنظیم است. این امر موجب بطور مستقیم موجب کاهش مصرف انرژی می گردد. در این بخش کنترل کننده بهینه جهت حداقل نمودن تابعی هزینه زیر ارائه می شود.

$$J = \int_0^T (u(t) - \tau(t))^2 dt$$

که در آن $u(t)$ سیگنال کنترل و $\tau(t)$ گشتاور الکتروموتور می باشد.

۱-۲ مدل سازی

مدل استاتیک ماشین القایی بصورت زیر می باشد [۱].



شکل ۱-۲ مدل ماشین القایی

با توجه به مدل فوق داریم:

$$V_1 = R_1 I_1 + L_1 \frac{dI_1}{dt} + L_2 \frac{dI_2}{dt} + \frac{R_2}{s(t)} I_2$$

$$V_1 = R_1 I_1 + L_1 \frac{dI_1}{dt} + L_m \frac{d(I_1 - I_2)}{dt}$$

و یا به عبارت دیگر:

$$\begin{bmatrix} L_1 & L_2 \\ L_1 + L_m & -L_m \end{bmatrix} \dot{I} = \begin{bmatrix} -R_1 & -\frac{R_2}{s(t)} \\ -R_1 & 0 \end{bmatrix} I + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} V_1$$

در این سیستم تمامی پارامترها به غیر از $s(t)$ معلوم است. جهت برآورد $s(t)$ می توان از روابط اساسی مکانیکی فن استفاده نمود [۳۳]:

$$\tau = K \omega_m(t)^2$$

از طرفی در موتورهای القایی

$$\tau = \frac{P_d}{\omega_m(t)}$$

اگر توان منتقل شده به فاصله هوایی را P_g بنامیم طبق مدل ارائه شده

$$P_g = 3 I_2^2 \frac{R_r}{s}$$

اگر تلفات مسی $(3 I_2^2 R_r)$ را از توان منتقل شده به فاصله هوایی کسر کنیم، توان قابل استفاده در شفت الکتروموتور قابل محاسبه است.

$$P_d = 3 I_2^2 R_r \frac{(1-s)}{s}$$

و نیز داریم [۱]:

$$\tau = \frac{3 I_2^2 R_r \frac{(1-s)}{s}}{\omega_m}$$

و با توجه به تعریف لغزش:

$$s = \frac{\omega_s - \omega_m(t)}{\omega_s}$$

عبارت فوق بصورت زیر ساده می شود:

$$K \omega_m(t)^2 = \frac{3 I_2^2 R_r}{\omega_s - \omega_m(t)}$$

از این رابطه $\omega_m(t)$ بر حسب $I_2(t)$ قابل استحصال است. با استفاده از $\omega_m(t)$ نیز لغزش قابل محاسبه می باشد. لذا در ادامه، سرعت شفت و لغزش را به عنوان تابع $I_2(t)$ بیان می شود.

$$\omega_m(t) = g(I_2(t))$$

$$s(t) = f(I_2(t))$$

همچنین با توجه به محاسبه ω_m ، تابعی هزینه بصورت زیر قابل بیان است.

$$J = \int_0^T (u(t) - K g(I_2(t))^2)^2 dt$$

از این روابط نتیجه می شود که الکتروموتور القایی سیستمی غیرخطی و وابسته به زمان است. در ادامه، جهت بدست آوردن کنترل بهینه از روش برنامه ریزی پویا استفاده خواهد شد.

پارامترهای مدار معادل الکتروموتور فن دمنده اجباری نیروگاه رامین به شرح زیر است:

مقاومت معادل استاتور	۱/۴۸ میلی اهم	اندوکتانس معادل استاتور	۰/۲ میلی هانری
مقاومت معادل روتور	۰/۹۳ میلی اهم	اندوکتانس معادل روتور	۰/۲ میلی هانری
اندوکتانس متقابل	۸/۵ میلی هانری		

با جایگزینی در معادله

$$\begin{bmatrix} L_1 & L_2 \\ L_1 + L_m & -L_m \end{bmatrix} \dot{I} = \begin{bmatrix} -R_1 & -\frac{R_2}{s(t)} \\ -R_1 & 0 \end{bmatrix} I + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} V_1$$

داریم: $s(t) = f(I_2(t))$ با تعریف

$$10^{-3} \begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 \\ 8.7 & -8.5 \end{bmatrix} i = 10^{-3} \begin{bmatrix} -1.48 & -0.92/f(I_2(t)) \\ -1.48 & 0 \end{bmatrix} I + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} V_1$$

و معادلات فضای حالت سیستم به صورت زیر است.

$$i = \begin{bmatrix} -3.743 & -2.27/f(I_2(t)) \\ -3.657 & -2.33/f(I_2(t)) \end{bmatrix} I + 10^3 \begin{bmatrix} 2.53 \\ 2.47 \end{bmatrix} V_1$$

که البته بایستی توجه گردد که با توجه به تحمل ولتاژ عایق سیم پیچی ها و جریان عبوری از هادی ها، محدودیت های

زیر مورد توجه قرار گیرد:

$$0 \leq V_1 \leq 6500$$

$$0 \leq I_1 \leq 4000$$

$$0 \leq I_2 \leq 4000$$

در صورتیکه که دستگاه فوق بصورت معادلات تفاضلی نوشته شود داریم:

$$\begin{aligned} \frac{I_1(t + \Delta t) - I_1(t)}{\Delta t} &= -3.743I_1(t) - \frac{2.27I_2(t)}{f(I_2(t))} + 2530V_1(t) \\ \frac{I_2(t + \Delta t) - I_2(t)}{\Delta t} &= -3.657I_1(t) - \frac{2.33I_2(t)}{f(I_2(t))} + 2470V_1(t) \end{aligned}$$

که می توان بسادگی و با توجه به Δt مطلوب، بصورت گسسته بازنویسی گردد.

همچنین تابعی معیار نیز بصورت زیر بازنویسی می شود.

$$\sum_{k=1}^N (u(k) - K g(I_2(k))^2)^2$$

جهت محاسبه ضریب گین فن (K)، می توان از اطلاعات نامی فن استفاده کرد.

$$P = \frac{W}{s} = \frac{F r \theta}{s} = \tau \omega_n$$

کافی است با توجه به اطلاعات فصل ۱، مقدار ضریب را در حالت نامی بدست آوریم:

$$\text{سرعت نامی} = 975 \text{ rpm} = 102.1 \text{ rad/s}$$

در نتیجه

$$\tau = \frac{P}{\omega_n} = \frac{1400 \text{ kW}}{102.1 \text{ rad/s}} = 13712 \text{ N.m}$$

پس

$$K = \frac{\tau}{\omega_n^2} = 1.315$$

۲-۲ برنامه ریزی پویا

پس از انتخاب تابعی معیار برای یک سیستم، وظیفه بعدی تعیین تابع کنترلی است که این تابعی معیار را حداقل نماید. دو روش برای بدست آوردن حداقل اینگونه توابع بکار گرفته می شود.

- اصل حداقل یابی پونتریاگن (*the minimum principle of Pontryagin*)

- برنامه ریزی پویای بلمن (*Bellman's dynamic programming*)

روش تغییراتی پونتریاگن منجر به مسئله غیرخطی با شرایط حدی در دو نقطه مجزای ابتداء و انتها می گردد که با حل آن کنترل بهینه حاصل خواهد شد. در این پروژه روش برنامه ریزی پویا که به یک معادله تابعی منجر خواهد شد و در حل آنها از کامپیوتر استفاده می شود، مورد بررسی قرار می گیرد.

اصل بهینگی پایه و اساس برنامه ریزی پویا می باشد. برای آشنایی با این اصل فرض کنید برای رسیدن به c از نقطه آغازین a ، به ناچار بایستی از نقطه b گذر گردد. در اینصورت ثابت می شود اگر مسیر $a-c$ با حداقل هزینه طی شود، هزینه مسیر $b-c$ بهینه می باشد [۲۶].

یک سیستم مرتبه n -ام غیر متغیر با زمان با معادلات وضعیت زیر بیان میشود.

$$\dot{X}(t) = a(x(t), u(t))$$

می خواهیم قانون کنترلی را بدست آوریم که تابعی معیار زیر را که در آن t_f مشخص است حداقل کند

$$J = h(X(t_f)) + \int_0^{t_f} g(x(t'), u(t)) dt$$

کنترل های قابل قبول محدودیت دارند که در مجموعه U باشند، یعنی $u \in U$. ابتدا سیستم پیوسته را با تقسیم فاصله زمانی به N جزء مساوی، به سیستم غیر پیوسته زیر تبدیل می کنیم.

$$\frac{X(t + \Delta t) - X(t)}{\Delta t} \approx a(X(t), u(t))$$

و یا

$$X(t + \Delta t) = X(t) + \Delta t a(X(t), u(t))$$

با استفاده از روش خلاصه نویسی داریم:

$$x(k + l) = x(k) + \Delta t a(x(k), u(k))$$

که بصورت زیر نمایش داده می شود:

$$x(k + l) = a_D(x(k), u(k))$$

اگر به همین ترتیب روی تابعی معیار نیز عمل شود داریم

$$J = h(x(N \Delta t)) + \int_0^{\Delta t} g dt + \int_{\Delta t}^{2\Delta t} g dt + \dots + \int_{(N-1)\Delta t}^{N\Delta t} g dt \quad)$$

این رابطه برای یک Δt کوچک به صورت زیر در خواهد آمد

$$J \approx h(X(N)) + \Delta t \sum_{k=0}^{N-1} g(x(k), u(k))$$

که به شکل زیر نشان داده خواهد شد

$$J = h(X(N)) + \sum_{k=0}^{N-1} g_D(x(k), u(k))$$

حال با تبدیل سیستم به یک سیستم منقطع، لازم است که قانون کنترل $u^*(x(N-1), N-1), \dots, u^*(x(l), l), u^*(x(0), 0)$ را از سیستم داده شده توسط معادله که تابعی معیار آن در داده شده است تعیین نمود. اکنون می توان معادلات توالی را بدست آورد.

با تعریف زیر شروع می کنیم

$$J_{NN}(x(N)) = h(x(N))$$

J_{NN} مقدار تابعی معیار یا هزینه مربوطه برای رسیدن به وضعیت نهائی $x(N)$ است. حال تعریف زیر را مینویسیم

$$\begin{aligned} J_{N-1,N}(x(N-1), u(N-1)) &= g_D(x(N-1), u(N-1)) + h(x(N)) \\ &= g_D(x(N-1), u(N-1)) + J_{NN}(x(N)) \end{aligned}$$

که مقدار تابعی معیار یا هزینه مربوطه برای عملکرد در فاصله زمانی $(N-1)\Delta t \leq t \leq N\Delta t$ است. همچنین رابطه فوق هزینه مربوطه به پروسه یک مرحله است که وضعیت اولیه آن $x(N-1)$ باشد. چون مقدار $x(N)$ از طریق معادلات به مقادیر $u(N-1), x(N-1)$ بستگی دارد، لذا مقدار $\int_{N-1,N}$ فقط به $u(N-1), x(N-1)$ وابسته است، پس می توان آن را بصورت زیر نوشت

$$J_{N-1,N}(x(N-1), u(N-1)) = g_D(x(N-1), u(N-1)) + J_{NN}(a_D x(N-1), u(N-1))$$

در نتیجه هزینه بهینه مربوطه عبارتست از

$$J_{N-1,N}^*(x(N-1)) = \min_{u(N-1)} \{g_D(x(N-1), u(N-1)) + J_{NN}(a_D(x(N-1), u(N-1)))\}$$

میدانیم که انتخاب بهینه $u(N-1)$ به $x(N-1)$ بستگی خواهد داشت، بنابراین کنترل حداقل کننده را با

$$u^*(x(N-1), N-1)$$

هزینه مربوط به عملکرد در دو ناحیه انتهایی بوسیله رابطه زیر مشخص میشود.

$$\begin{aligned} J_{N-2,N}(x(N-2), u(N-2), u(N-1)) &= \\ &= g_D(x(N-2), u(N-2)) + g_D(x(N-1), u(N-1)), \\ &= g_D(x(N-2), u(N-2)) + J_{N-1,N}(x(N-1), u(N-1)), \end{aligned}$$

که مجددا وابستگی $x(N)$ به $x(N-1)$ و $u(N-1)$ مورد استفاده قرار گرفته است. باید دقت کرد که $J_{N-2,N}$ هزینه مربوط به پروسه دو مرحله ای با وضعیت اولیه $x(N-2)$ می باشد. سیاست بهینه دو ناحیه آخر از رابطه زیر بدست می آید.

$$\begin{aligned} J_{N-2,N}^*(x(N-2)) \\ = \min_{u(N-2), u(N-1)} \{g_D(x(N-2), u(N-2)) + J_{N-1,N}(a_D(x(N-1), u(N-1)))\} \end{aligned}$$

اصل بهینگی در مورد این پروسه دو مرحله ای بیان مبدا ردکه هر چه وضعیت اولیه $x(N-2)$ و تصمیم اولیه $u(N-2)$ باشد، تصمیم یا کنترل باقیمانده $u(N-1)$ باید در مقایسه با مقدار $x(N-1)$ که از اعمال $u(N-2)$ نتیجه می شود بهینه باشد، بنابراین

$$\begin{aligned} J_{N-2,N}^*(x(N-2)) \\ = \min_{u(N-2)} \{g_D(x(N-2), u(N-2)) + J_{N-1,N}^*(a_D(x(N-1), u(N-1)))\} \end{aligned}$$

چون $x(N-1)$ توسط معادلات وضعیت به $x(N-2)$ و $u(N-2)$ بستگی دارد، لذا $J_{N-2,N}^*$ فقط وابسته به $x(N-2)$ است، پس

$$\begin{aligned} J_{N-2,N}^*(x(N-2)) \\ = \min_{u(N-2)} \{g_D(x(N-2), u(N-2)) + J_{N-1,N}^*(a_D(x(N-1), u(N-1)))\} \end{aligned}$$

برای یک پروسه سه مرحله ای که وضعیت اولیه آن $x(N-3)$ باشد، هزینه مربوطه به سه مرحله آخر بصورت زیر بدست می آید.

$$\begin{aligned} J_{N-3,N}^*(x(N-3)) \\ = \min_{u(N-3)} \{g_D(x(N-3), u(N-3)) + J_{N-2,N}^*(a_D(x(N-2), u(N-2)))\} \end{aligned}$$

اگر به همین طریق در جهت عکس ادامه دهیم، برای یک پروسه K مرحله ای خواهیم داشت

$$J_{N-k,N}^*(x(N-k)) = \min_{u(N-k), u(N-k+1), \dots, u(N-1)} \{h(x(N)) + \sum_{k=N-k}^{N-1} g_D(x(k), u(k))\}$$

که با اعمال اصل بهینگی بصورت زیر در خواهد آمد

$$J_{N-k,N}^*(x(N-k)) = \min_{u(N-k)} \{g_D(x(N-k), u(N-k)) + J_{N-(k-1),N}^*(a_D(x(N-k), u(N-k)))\}.$$

معادله فوق یک رابطه توالی می باشد، بدین معنی که با دانستن $J_{N-(k-1),N}^*$ که هزینه مربوط به سیاست بهینه مرحله $(k-1)$ ام است میتوان هزینه مربوط به سیاست بهینه مرحله k ام را تولید نمود. برای یک پروسه، ابتدا با پروسه صفر مرحله ای شروع کرده و $J_{NN}^* = J_{NN}$ را تولید می کنیم. سپس هزینه بهینه را برای یک پروسه یک مرحله ای با استفاده از J_{NN}^* بدست آورده و این روش را ادامه می دهیم.

تحقق معادله توالی یک مفهوم مهم دیگری بنام اصل شمول (*imbedding principle*) را آشکار می کند. میدانیم $J_{N-k,N}^*(x(N-k))$ هزینه مربوط به حداقل ممکن برای k مرحله آخر یک پروسه N مرحله ای با مقدار وضعیت $x(N-k)$ در شروع مرحله $(N-K)$ ام میباشد، ضمناً $J_{N-k,N}^*(x(N-k))$ حداقل هزینه ممکن برای یک پروسه k مرحله ای با وضعیت اولیه ای که بصورت عددی برابر مقدار $x(N-k)$ است نیز می باشد. این بدین معنی است که سیاست بهینه و حداقل هزینه های مربوطه به یک پروسه k مرحله ای شامل است در نتایج یک پروسه N مرحله ای به شرط آنکه $N \geq k$ باشد.

در زیر روش محاسباتی برنامه ریزی پویا برای تعیین سیاستهای بهینه جمع بندی می شود.

سیستمی توسط معادله تفاضلی زیر داده شده یا تقریب زده می شود.

$$x(k+1) = a_D(x(k), u(k)); \quad k = 0, 1, \dots, N-1$$

میخواهیم قانون کنترلی که تابعی معیار زیر را حداقل کند بدست آوریم

$$J = h(x(N)) + \sum_{k=0}^{N-1} g_D(x(k), u(k))$$

همچنانکه نشان داده شد، کاربرد برنامه ریزی پویا در این مسئله منجر به معادله توالی زیر

$$J_{N-k,N}^*(x(N-k)) = \min_{u(N-k)} \{g_D(x(N-k), u(N-k)) + J_{N-(k-1),N}^*(a_D(x(N-k), u(N-k)))\};$$

$$K = 1, 2, \dots, N$$

با مقدار اولیه

$$J_{NN}^*(x(N)) = h(x(N))$$

خواهد شد.

پاسخ این معادله توالی، قانون کنترل بهینه یا سیاست بهینه $u^*(x(N-k), N-k)$ برای $k=1, 2, \dots, N$ خواهد بود که در اثر اعمال تمام کنترلرهای قابل قبول به هر یک از مقادیر وضعیتهای قابل قبول بدست آمده است. بمنظور عملی بودن روش محاسباتی لازم است که مقادیر وضعیتها و کنترلرها به تعداد محدودی سطوح مختلف، کوانتیزه شوند. برای مثال اگر سیستم مرتبه دوم باشد، در شبکه مقادیر وضعیتها درجه دوم، s_1 تعداد کل نقاط محور x_1 و s_2 تعداد نقاط محور x_2 میباشد. s_1 و s_2 توسط رابطه زیر تعیین میشوند.

$$s_r = \frac{x_{rmax} - x_{rmin}}{\Delta x_r} + 1; \quad r = 1, 2$$

که در آن Δx_r چنان تعیین میگردد که فاصله $x_{rmax} - x_{rmin}$ شامل تعداد صحیحی نقطه باشد. برای یک سیستم مرتبه n -ام تعداد نقاط شبکه وضعیتها برای هر زمان $t = k\Delta t$ بصورت

$$S = s_1 \cdot s_2 \cdot \dots \cdot s_n$$

است که

$$s_r = \frac{x_{rmax} - x_{rmin}}{\Delta x_r} + 1; \quad r = 1, 2, \dots, n$$

خواهد بود و فرض میشود که نسبت $[x_{rmax} - x_{rmin}] / \Delta x_r$ عدد صحیحی باشد. بطریقی مشابه روش فوق، مقادیر کنترلهای قابل قبول کوانتیزه میشوند. اگر C تعداد کل مقادیر کوانتیزه شده $u(k)$ باشد، داریم

$$C = c_1 \cdot c_2 \cdot \dots \cdot c_m$$

که در آن

$$C_q = \frac{u_{qmax} - u_{qmin}}{\Delta u_q} + 1; \quad q = 1, 2, \dots, m$$

در مطالب زیر، $x^{(i)}(k)$ که در آن $(i = 1, 2, \dots, S)$ و $u^{(j)}(k)$ که در آن $(j = 1, 2, \dots, C)$ است نشان دهنده مقادیر وضعیتها و کنترلهای قابل قبول کوانتیزه شده در زمان $t = k\Delta t$ میباشند.

گام اول در روش محاسباتی، محاسبه مقادیر $J_{NN}^*(x^{(i)}(N))$ به ازای $(i = 1, 2, \dots, S)$ می باشد که باید جهت شروع پاسخ معادله توالی بکار رود.

سپس $k=1$ قرار داده شده و با قرار دادن $i=1$ در زیر برنامه ای که (subroutine) نقاط $u^{(j)}(N-k)$ را تولید می کند اولین نقطه وضعیت انتخاب می شود. آنگاه هر مقدار کنترل $u^{(j)}(N-k)$ به ازای $(j = 1, 2, \dots, C)$ در وضعیت $x^{(i)}(N-k)$ جهت تعیین مقدار وضعیت بعدی $x^{(i,j)}(N-k+1)$ که برای تعیین مقدار مناسب $J_{N-(k-1),N}^*(x^{(i,j)}(N-k+1))$ در حافظه کامپیوتر بکار می رود اعمال می گردد. اگر $x^{(i,j)}(N-k+1)$ درست در روی یک مقدار شبکه قرار نگیرد، میان یابی لازم می آید. با بکار بردن این مقدار $J_{N-(k-1),N}^*(x^{(i,j)}(N-k+1))$ میتوان مقدار تابعی زیر را برآورد کرد.

$$C_{N-k,N}^*(x^{(i)}(N-k), u^{(j)}(N-k)) = g_D(x^{(i)}(N-k), u^{(j)}(N-k)) + J_{N-(k-1),N}^*(x^{(i,j)}(N-k+1))$$

این تابع حداقل هزینه مربوط به عملکرد در k مرحله انتهائی یک پروسه N مرحله ای با فرض اعمال کنترل $u^{(j)}(N-k)$ در وضعیت $x^{(i)}(N-k)$ می باشد. ایده این است که مقدار $u^{(j)}(N-k)$ که باعث ایجاد $J_{N-k,N}^*(x^{(i)}(N-k))$ که حداقل $C_{N-k,N}^*(x^{(i)}(N-k), u^{(j)}(N-k))$ است را بیابیم. لازم است فقط کمترین مقدار

$C^*_{N-k,N}(x^{(i)}(N-k), u^{(j)}(N-k))$ و کنترل مربوطه در حافظه کامپیوتر نگهداری شود، بنابراین با اعمال هر کنترل به مقدار $x^{(i)}(N-k)$ مقدار $C^*_{N-k,N}(x^{(i)}(N-k), u^{(j)}(N-k))$ بدست آمده را با متغیری که در حقیقت حداقل مقادیر نظیر بدست آمده قبلی است و به نام *COSMIN- the COST which is the MINimum* می باشد، مقایسه شده و اگر این مقدار کمتر از مقدار قبلی باشد (و یا *COSMIN*) مقدار بدست آمده جایگزین مقدار *COSMIN* میشود. کنترل مقدار *COSMIN* نیز بنام متغیر *UMIN* ذخیره می گردد. طبیعتاً وقتی *COSMIN* تغییر میکند *UMIN* نیز تغییر می نماید.

بعد از اینکه تمام مقادیر کنترل در وضعیت $x^{(i)}(N-k)$ بکار گرفته شدند، اعدادیکه در *COSMIN* و *UMIN* ذخیره شده اند، به ترتیب به ستونهای بنامهای $UOPT(N-k, l), COST(N-k, l)$ تبدیل میشوند. آرگومانهای $(N-k)$ و l نشاندهنده ارتباط این مقادیر با وضعیت $x^{(i)}(N-k)$ می باشند.

روش فوق برای تمام مقادیر کوانتیزه شده وضعیتها ادامه یافته و سپس k یکی اضافه شده و عمل ادامه می یابد تا $k=N$ گشته آنگاه ستونهای $UOPT(N-k, l), COST(N-k, l)$ به ازاء $k=1, 2, \dots, N$ و $l=1, 2, \dots, S$ نوشته می شوند.

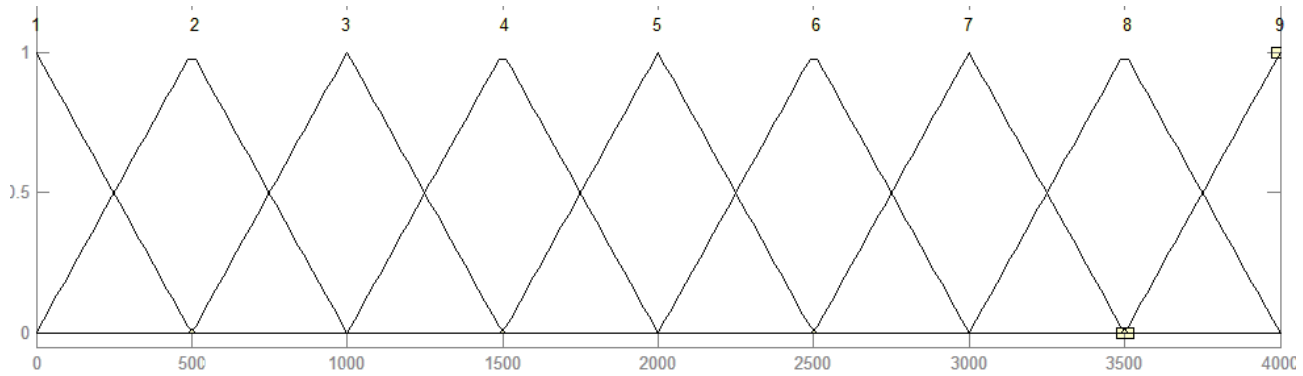
نتیجه روش محاسباتی عددیست برای کنترل بهینه و حداقل هزینه یا حداقل مقدار تابعی معیار در هر نقطه در یک شبکه $(n+1)$ بعدی وضعیت- زمان. بمنظور محاسبه مجموعه کنترل بهینه برای شرایط اولیه معلوم، به محل ذخیره مربوط به شرایط اولیه مشخص شده وارد شده و کنترل $u^*(0)$ و حداقل تابعی معیار را استخراج می کنیم. سپس با حل معادله وضعیت، وضعیت سیستم در $k=1$ که از اعمال $u^*(0)$ و در $k=0$ حاصل شده را تعیین می کنیم. نتیجه $x(1)$ مجدداً برای ورود به جدول و بدست آوردن $u^*(1)$ بکار گرفته شده و عمل ادامه می یابد.

۲-۳ رفع مشکل مقادیر میانی به روش فازی

در روش برنامه ریزی پویا بواسطه بکارگیری شبکه محدودی از مقادیر وضعیت ها و کنترل، ممکن است هنگام استفاده از اطلاعات ذخیره شده برای محاسبه مجموعه کنترل بهینه، وضعیت به محلی غیر از نقاط شبکه منتقل شود. در این پروژه، جهت رفع این مشکل از الگوریتمی ابتکاری بر مبنای تئوری فازی استفاده شده است.

بر اساس نحوه گسسته سازی وضعیت ها، توابع تعلق زیر (که مقادیر گسسته وضعیت ها، مراکز آنها می باشند.) برای

مجموعه I_1 و I_2 تعریف می گردد.



شکل ۲-۲ توابع تعلق جریان I_1 و I_2

فرض کنید x_1 و x_2 بترتیب مقادیر وضعیت های I_1 و I_2 باشند. جهت انتخاب مناسبترین نماینده وضعیت، از میان

نقاط شبکه، α تعریف اشتراک فازی (T نرم) بکار گرفته می شود.

با استفاده از T نرم ضرب جبری، مقادیر زیر را محاسبه می کنیم.

$$t(I_1^1(x_1), I_2^1(x_2))$$

$$t(I_1^2(x_1), I_2^1(x_2))$$

⋮

$$t(I_1^9(x_1), I_2^1(x_2))$$

$$t(I_1^1(x_1), I_2^2(x_2))$$

⋮

$$t(I_1^9(x_1), I_2^9(x_2))$$

بیشترین مقدار T نرم های فوق، در واقع بیانگر تابع تعلق از مجموعه I_1 و I_2 می باشد که مناسبترین نماینده x_1 و

x_2 می باشند. لذا نقطه تلاقی مراکز این دو تابع، در مرحله بعدی برنامه ریزی پویا جایگزین x_1 و x_2 می گردد.

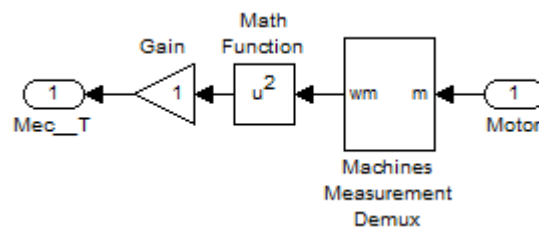
جهت روشن تر شدن مسئله، فرض کنید پس از شروع از وضعیت اولیه $I_1(0)$ و $I_2(0)$ ، کنترل بهینه وضعیت ها را ملزم می دارد که به شرایط $I_1(1) = 3433A$ و $I_2(1) = 3201A$ ، منتقل گردند. T نرم توابع تعلق معدل با نقاط مختلف شبکه گسسته وضعیت ها، با توجه به ورودی های فوق در جدول زیر آمده است.

T نرم									
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0.080	0.518	0
	0	0	0	0	0	0	0.054	0.348	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0

با توجه به جدول فوق، ماکزیمم تعلق اشتراک مربوط به توابع I_1^8 و I_2^7 می باشد. لذا مراکز توابع فوق یعنی (۳۰۰،۳۵۰۰) به عنوان $I(1)$ انتخاب شده و در ادامه مراحل بهینه سازی، مورد استفاده قرار می گیرد.

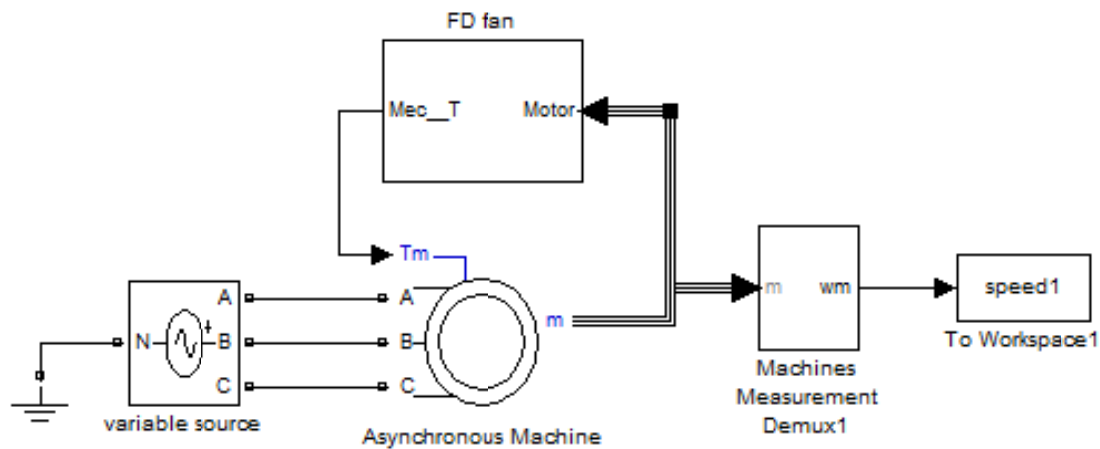
۲-۴ شبیه سازی و مقایسه نتایج کنترل

در ابتدا با استفاده از روابط مکانیکی مطرح شده در ابتدای فصل فن را شبیه سازی می کنیم:



شکل ۲-۳: مدل فن

سپس سیستم کنترل حلقه باز کنترل سرعت را که با استفاده از روابط ارائه شده بصورت بهینه طراحی شده است، به سیستم اعمال می کنیم.



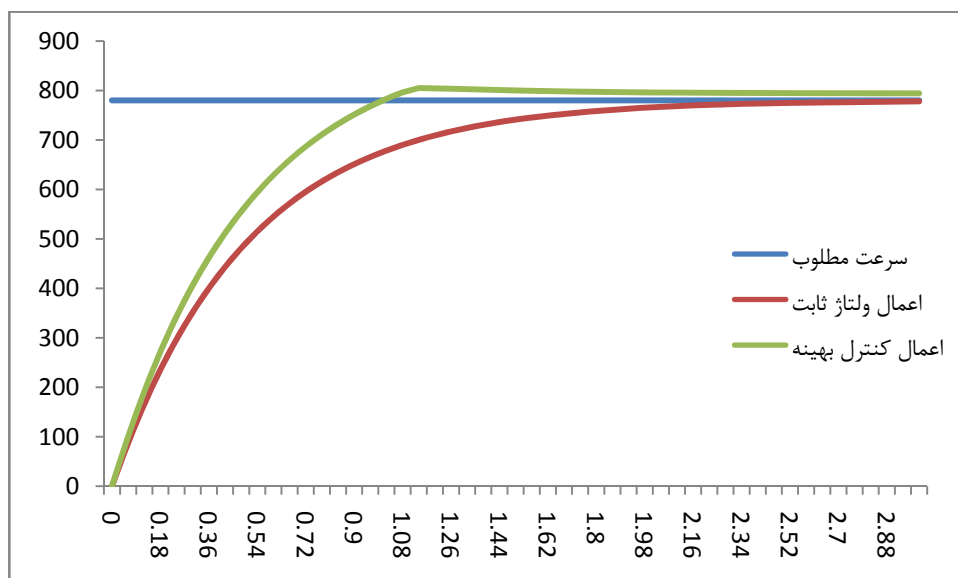
شکل ۲-۴: مدل سیستم

طراحی ابتدایی کنترل دور بوسیله کنترل ولتاژ استاتور بر اساس رابطه زیر انجام می پذیرد:

$$T_a = \frac{3R_r V_s^2}{s\omega_s [(R_s + R_r/s)^2 + (X_s + X_r)^2]}$$

که در آن با توجه به سرعت مطلوب، گشتاور معادل محاسبه می گردد و سپس طبق رابطه فوق ولتاژ استاتور تعیین می گردد. در نمودار زیر تنظیم سرعت موتور FD فن به دو روش فوق صورت پذیرفته و مورد مقایسه قرار می گیرد. نتایج بیانگر بهبود پارامترهای کنترلی با استفاده از کنترل بهینه به روش برنامه ریزی پویا می باشد.

ذکر این نکته ضروری است که بواسطه گسسته سازی ولتاژ، خطای حالت دائم اجتناب ناپذیر است و در برخی موارد ممکن است، حتی زمان نشست تعریف نگردد. لذا افزایش نقاط شبکه در بهبود جواب تاثیر بسزایی دارد.



شکل ۲-۵: کنترل سرعت الکتروموتور *FD Fan*

فصل سوم

شبیه سازی درایو *ACS 800* شرکت *ABB* و بررسی تاثیر بکارگیری درایو در نیروگاه

مقدمه

همانگونه که در فصل اول اشاره شد، دبی هوای فن توسط دمپر در خروجی کنترل می شود. کنترل هوای ورودی محفظه احتراق در مصرف بهینه انرژی سوخت های فسیلی بسیار حائز اهمیت می باشد. عدم ورود هوای کافی موجب احتراق ناقص سوخت می شود که این امر موجب عدم استفاده کامل از انرژی سوخت و آلودگی محیط زیست می گردد. از طرفی وجود هوای اضافه که با دمای محیط وارد محفظه احتراق شده است باعث می شود حجم عظیمی از انرژی که موجب افزایش دمای هوای اضافی شده است از دودکش خارج گردد. لذا کنترل دقیق حجم هوای ورودی بویلر جهت کاهش تلفات انرژی امری ضروری است. جهت بهینه سازی مصرف انرژی روش کنترل نیز موثر است. مرسوم ترین روش های کنترل حجم هوای ورودی بویلر استفاده از دمپر و کنترل سرعت الکتروموتور می باشند و یکی از مهمترین دغدغه های بکارگیری *VSD* در نیروگاه، توانایی کنترل در شرایط تغییر توان تولیدی واحد است. تغییر توان تولیدی واحد، منجر به تغییرات عمده در تمامی بخش ها شده و نقطه کار الکتروموتورهای موثر در سیکل را به شدت جا به جا می کند. لذا اولین شرط سیستم کنترل مناسب جهت فرآیندهای نیروگاهی، توانایی پاسخ گویی به این تغییرات است.

در فصل دوم، روشی بر مبنای کنترل بهینه موتور *FD* فن ارائه شد. لیکن در بازار درایوهای الکتریکی، درایو با مشخصات فوق بصورت صنعتی تولید نشده است. لذا جهت عملی و صنعتی شدن تحقیقات، در بخش نخست این فصل، درایو مناسب از شرکت *ABB* (که به روش کنترل میدان گرا سرعت را تنظیم می کند) و *FD Fan* نیروگاه در محیط نرم افزار سیمولینک متلب مدل شده و عملکرد سیستم در پاسخ به نقاط تنظیم مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

همچنین مورد دیگری که در این فصل به آن پرداخته می شود، بررسی میزان اثر بخشی استفاده از درایو تنظیم سرعت جهت کنترل فن دمنده اجباری نیروگاه رامین در افزایش راندمان واحد است. جهت نیل به این مقصود، پس از جمع آوری اطلاعات طراحی نیروگاه رامین، کل واحد در محیط نرم افزار *Termoflow* شبیه سازی شده است. نتایج حاصله نشان دهنده تاثیر چشمگیر تغییر روش کنترل در افزایش راندمان نیروگاه رامین اهواز است.

۳-۱ شبیه سازی سیستم درایو، موتور و فن در محیط سیمولینک

۳-۱-۱ شبیه سازی درایو

همانگونه که ذکر شد، استفاده از درایو کنترل مستقیم گشتاور، که سیستم مرسوم در صنعت می باشد، جهت کنترل

دور موتور فن دمنده اجباری در این پروژه استفاده شد. این درایو دارای پنج زیر سیستم اساسی است:

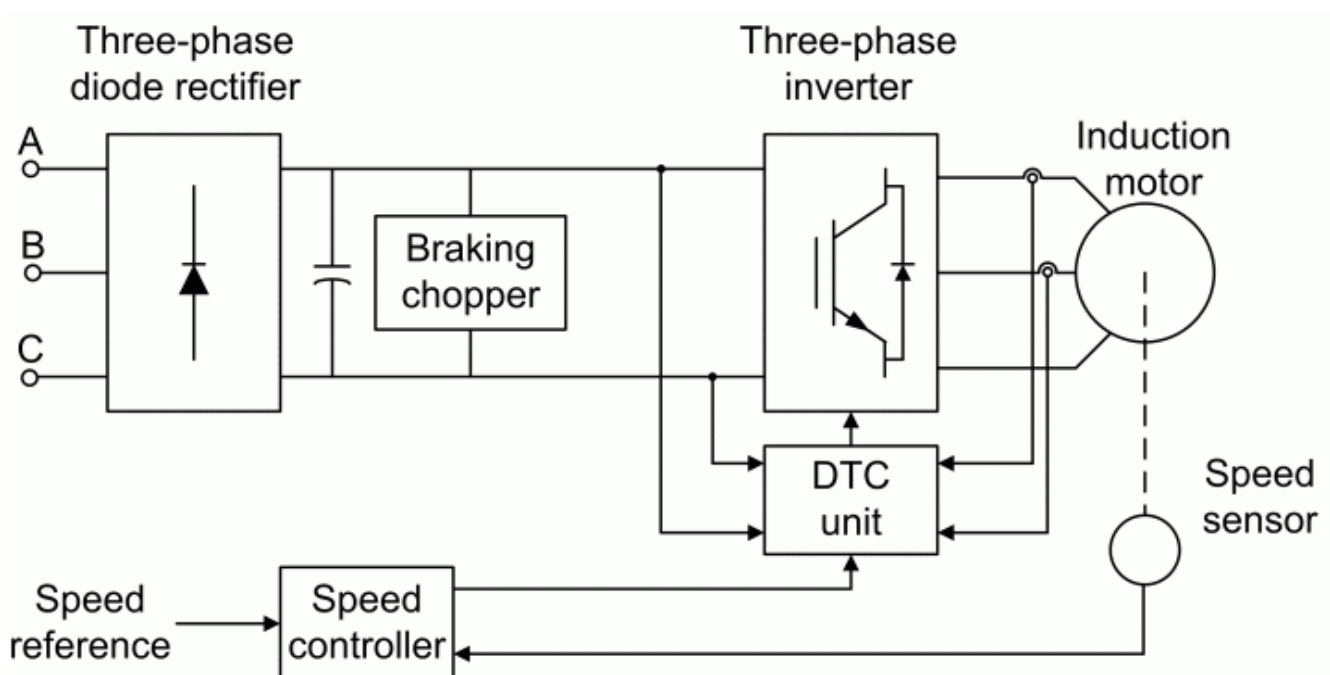
- قسمت کنترل مستقیم گشتاور و شار

- یکسوساز

- برشگر ترمزی

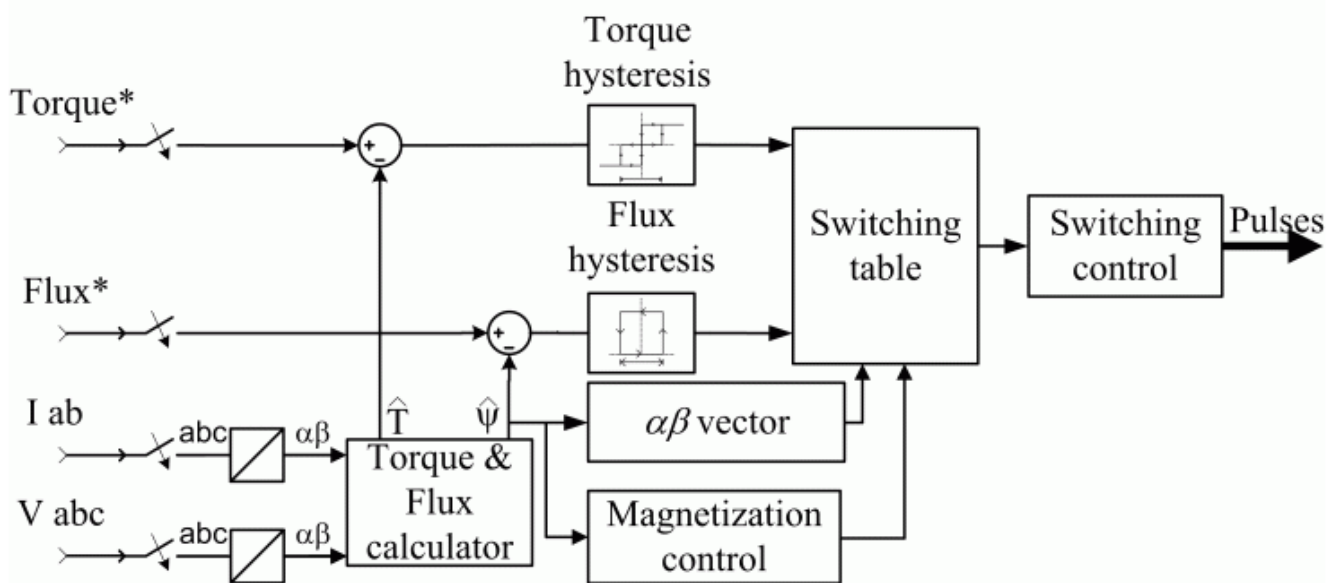
- اینورتر

- کنترلر سرعت



شکل ۳-۱: شمای کلی درایو کنترل مستقیم گشتاور و شار

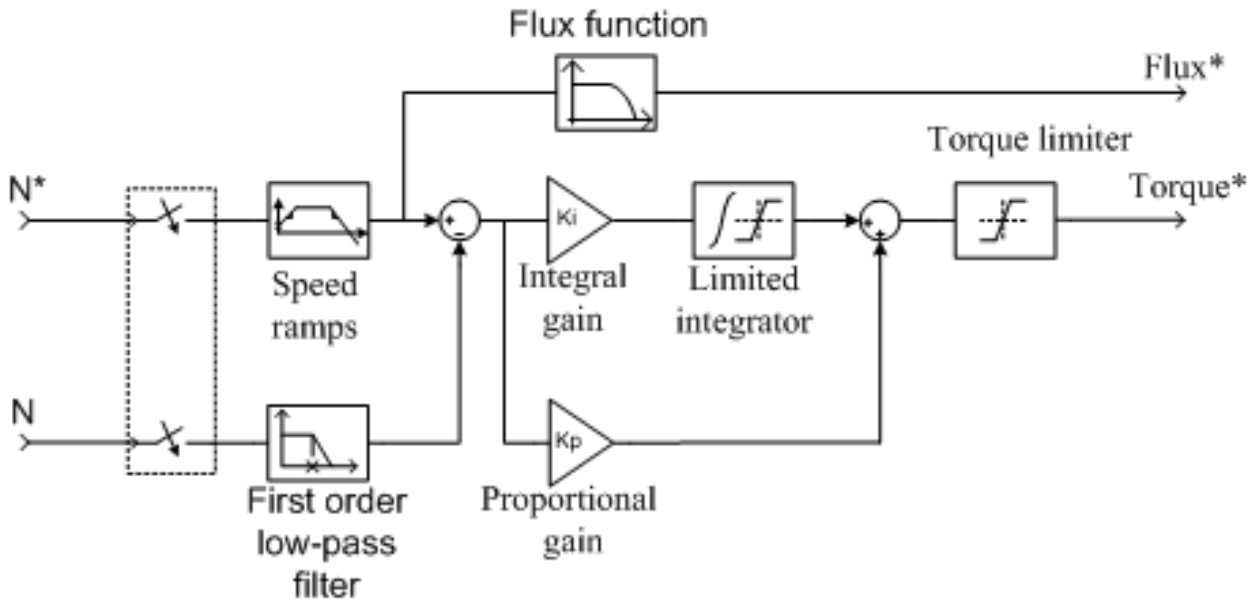
در قسمت کنترل مستقیم گشتاور و شار، گشتاور و شار موتور، با استفاده از روابط اساسی ماشین های الکتریکی محاسبه شده و پس از مقایسه با مقادیر مطلوب، بردار ولتاژ مناسب توسط قسمت کلید زنی تولید می شود. بلوک کنترل کلید زنی که در شکل زیر مشخص است وظیفه کنترل فرکانس را دارد تا از محدوده مشخصی تجاوز نکند.



شکل ۳-۲: شمای قسمت کنترل مستقیم گشتاور و شار

یکسوساز مرسوم در این مدل درایو، یکسو سازهای دیودی می باشند و چاپر نیز جهت جذب انرژی برگشتی از الکتروموتور بکار می رود. اینورتر نیز که بطور معمول از ترانزیستورهای قدرت *IGBT* ساخته شده است برق جریان مستقیم را تبدیل به برق جریان متناوبی می کند که خواسته های قسمت کنترل مستقیم گشتاور و شار را با تغییر سطح ولتاژ و فرکانس برآورده سازد.

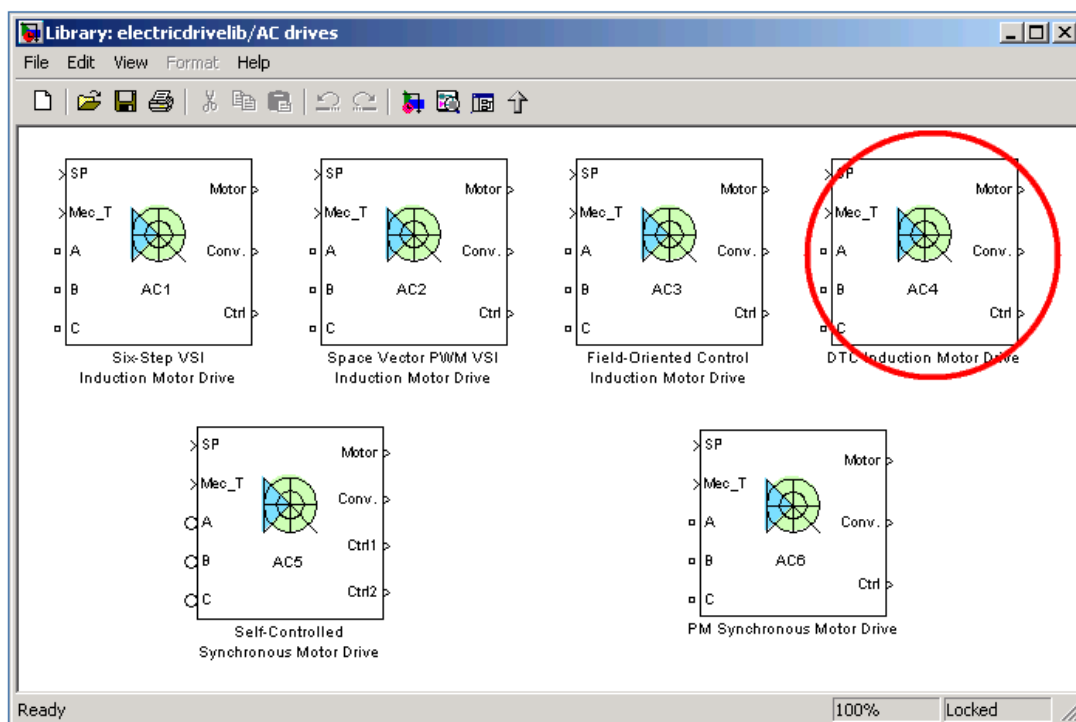
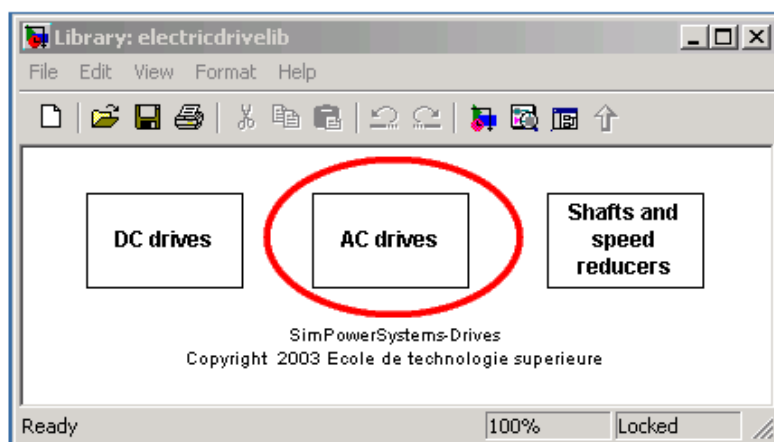
سیستم کنترل مرسوم در این درایو، کنترل دیجیتالی *PI* است. تنظیم مناسب ضرایب ثابت و انتگرال گیر در این کنترل کننده، موجب کنترل مناسب دبی در این پژوهش می شود.



شکل ۳-۳: سیستم کنترل سرعت

درایو کنترل مستقیم گشتاور و شار، جزو سیستم های پیش فرض کتابخانه سیستم قدرت سیمولینک متلب می باشد. لذا تنها کافی است در پنجره دستورات عبارت *electricdrivelib* را وارد کرده و مطابق روند نشان داده شده در شکل ۲-۴، بلوک مربوط انتخاب شود. اطلاعات مربوط موتور، کنترل کننده و تجهیزات الکترونیک قدرت با توجه به اطلاعات الکتروموتور فن دمنده اجباری نیروگاه رامین اهواز و همچنین دیتا شیت درایو متناسب با این موتور از محصولات شرکت *ABB* در قسمت های مربوط در این بلوک وارد می شود. سپس منبع ولتاژ سه فاز مناسب را از کتابخانه *Electrical Sources* انتخاب نموده و سه فاز ورودی درایو را به آن متصل می کنیم. ضمناً مقادیر ولتاژ و فرکانس *FD Fan* در نیروگاه رامین، به ترتیب ۶۳۰۰ ولت و ۵۰ هرتز می باشد که بایستی در صفحه مشخصات منبع ولتاژ، وارد شود.

پس از ورود اطلاعات واقعی موتور الکتریکی محرک *FD Fan* و تنظیم کنترل کننده، سرعت های دلخواه، به عنوان ورودی به *SP* متصل می کنیم.



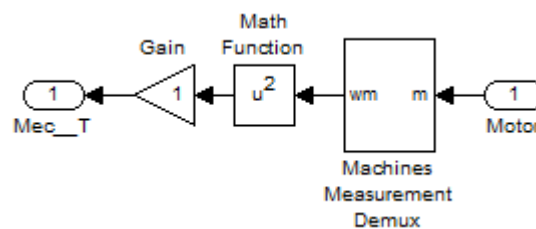
شکل ۳-۴: انتخاب درایو مناسب جهت شبیه سازی

۳-۱-۲ شبیه سازی فن

شبیه سازی فن در محیط سیمولینک با توجه به رابطه زیر در خصوص ارتباط سرعت چرخش فن و گشتاور مکانیکی، که در مرجع [۲۷] مطرح شده است، انجام گرفت.

$$T_{mec} = K \cdot \omega_n^2$$

در ابتدا از کتابخانه *Machines* بلوک *Measurement Demux* را انتخاب و به خروجی موتور که در بلوک درایو مشخص است، متصل می کنیم. با تنظیم خروجی *Measurement Demux* روی سرعت موتور، و اضافه کردن بلوک توان دوم و گین از کتابخانه استفاده های متداول سیمولینک، مدل فن آماده است.



شکل ۳-۵: مدل فن

حال بایستی ضریب گین را مشخص کنیم. داریم:

$$P = \frac{W}{s} = \frac{F r \theta}{s} = \tau \omega_n$$

کافی است با توجه به اطلاعات فصل ۱، مقدار ضریب را در حالت نامی بدست آوریم:

$$\text{سرعت نامی} = 975 \text{ rpm} = 102.1 \text{ rad/s}$$

در نتیجه

$$\tau = \frac{P}{\omega_n} = \frac{1400 \text{ kW}}{102.1 \text{ rad/s}} = 13712 \text{ N.m}$$

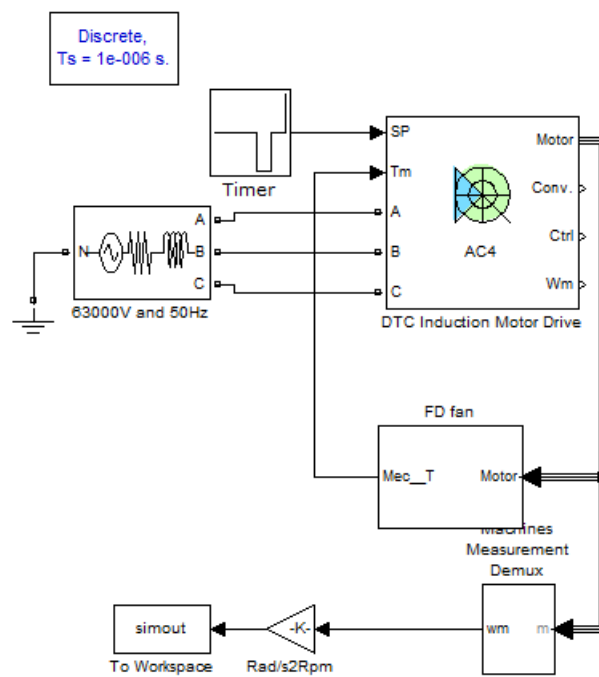
پس

$$K = \frac{\tau}{\omega_n^2} = 1.315$$

۳-۱-۳ بررسی نتایج شبیه سازی فن و درایو در محیط سیمولینک

جهت بررسی سیستم کنترل، مدل سیستم (شکل ۶-۳) تحت ورودی نقطه تنظیم طبق که طبق جدول زمانبندی زیر به

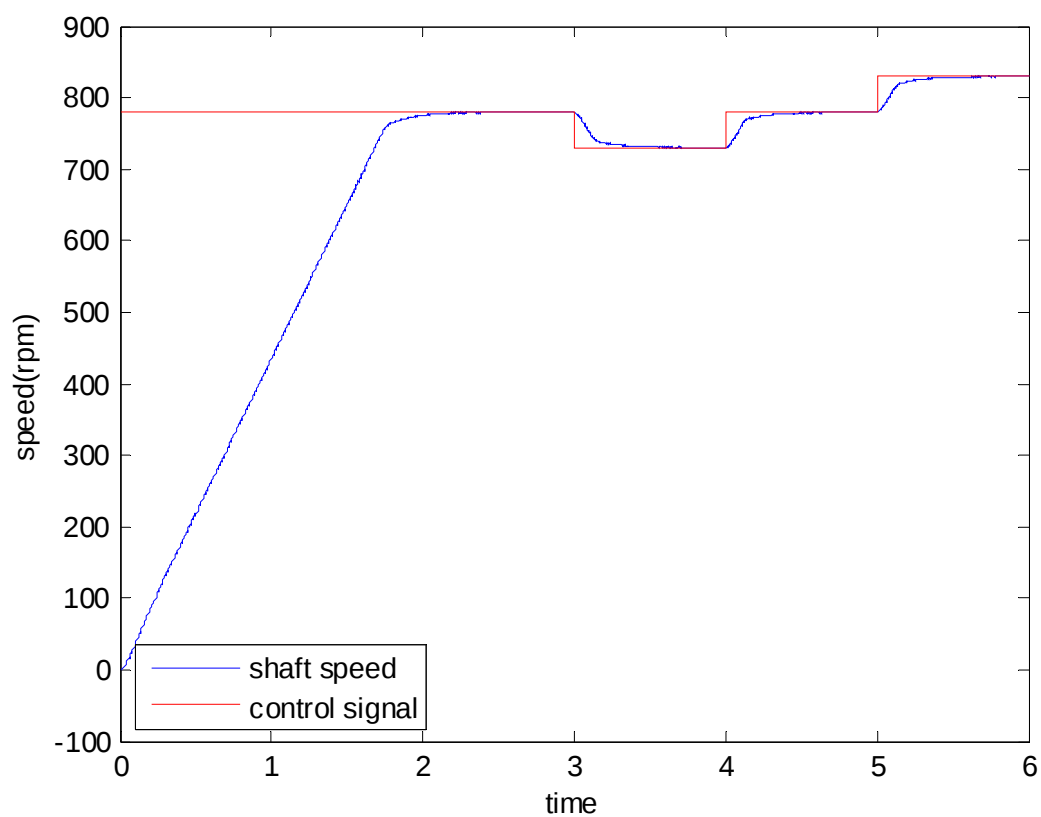
آن اعمال می شود، بررسی شد. نتایج، در شکل ۷-۳ شرح داده شده است.



شکل ۶-۳: مدل کامل سیستم درایو، موتور و فن

جدول ۳-۱: برنامه اعمال ورودی های نقطه تنظیم

سرعت مطلوب (rpm)	زمان (ثانیه)
۷۸۰	۰ الی ۳
۷۳۰	۳ الی ۴
۷۸۰	۴ الی ۵
۸۳۰	۵ الی ۶



شکل ۳-۷: بررسی عملکرد سیستم کنترل

نتایج شبیه سازی حاکی از عملکرد مناسب سیستم کنترل در تنظیم نقطه کار است. همچنین زمان پاسخ گویی و رفتار دینامیکی سیستم، به عنوان اساسی ترین دغدغه های بهره برداری، بسیار مناسب می باشد. با توجه به اینکه تغییرات بار در نیروگاه بسیار کندتر از تغییرات اعمال شده در این شبیه سازی است، می توان با اطمینان کامل از توانایی کنترل دور و دبی توسط درایو، از این تکنولوژی در *FD Fan* نیروگاه رامین استفاده نمود.

۲-۳ شبیه سازی نیروگاه در محیط *Termoflow*

سنجش عملکرد واحدهای نیروگاهی، راندمان تولید است. در این بخش نیروگاه در محیط نرم افزار *Termoflow* مدل شده و تاثیر تغییر روش کنترل در راندمان واحد مورد بررسی قرار می گیرد. جهت شبیه سازی دقیق نیاز است اطلاعات طراحی واحد بطور کامل جمع آوری شده و جهت سحت سنجی مدل، نتایج شبیه سازی با تست عملکرد واحد، مقایسه گردد.

۱-۲-۳ معرفی نرم افزار *Termoflow*

برای شبیه سازی نیروگاه از نرم افزار *Thermoflow* ویرایش ۱۷ استفاده شده که جهت طراحی و شبیه سازی نیروگاه-های حرارتی بکار می رود. این نرم افزار طی گذشت ۱۴ سال و صرف ۱۳۰,۰۰۰ نفر ساعت توسط تیمی از مهندسين مجرب تکمیل شده است.

این نرم افزار شامل دو دسته ماژول بوده که دسته اول برنامه های تک منظوره (*Application Specific*) می باشد و اختصاصا بر روی یکی از انواع نیروگاهها متمرکز می شود و مدلهای پیش فرضی در این زمینه وجود دارد. این ماژولها علاوه بر محاسبات تعادل گرمایی، مشخصات فیزیکی تجهیزات را نیز دربر دارد. از مزایای استفاده از این ماژولها این است که برای مدل مورد نظر قبل از طراحی کلیه جزئیات لازم در نظر گرفته می شود و به روش منطقی و منظم در نرم افزار وجود دارد. تنها محدودیت استفاده از این نوع ماژول محدودیت ذاتی مدل موجود در برنامه است و کاربر تنها قادر به تغییر جزئیاتی می باشد که نرم افزار به وی اجازه می دهد. بنابراین در این قسمت مدل اصلی و اولیه تولید و در ماژولهای قابل انعطاف

متناسب با شرایط، کامل می گردد. دسته دوم ماژول قابل انعطاف (*Fully Flexible*) می باشد که نرم افزار قادر به تحلیل طیف وسیعی از مسائل می باشد و کاربر با استفاده از بلوکهای موجود در نرم افزار در محیطی انعطاف پذیر و بدون محدودیت قادر به ساخت یا تکمیل مدل مورد نظر می باشد. استفاده از این ماژول مستلزم زمان و ورودی های بیشتر است.

در شبیه سازی نیروگاه رامین اهواز طرح اولیه توسط ماژول *Steam Pro* (از دسته ماژول های تک منظوره) که برای سیکل بخار بکار می رود تهیه و جهت اضافه کردن جزئیات و تکمیل نمودن این طرح به ماژول *Thermoflex* (از دسته ماژول های قابل انعطاف) انتقال و پس از تحلیل های مورد نیاز خروجی ها در حالت های مختلف مورد نظر حاصل شده است.

۳-۲-۲ اطلاعات طراحی نیروگاه رامین اهواز

۳-۲-۲-۱ سیکل نیروگاه

خلاصه ای از چرخه آب و بخار در شرایط عادی بهره برداری:

آب کندانس پس از خروج از کندانسور وارد کندانسیت پمپ های مرحله اول می شود. تعداد این پمپ ها سه دستگاه بوده که دو پمپ در حال کار و پمپ سوم بصورت *Stand by* می باشد. آب کندانس پس از پمپ های مرحله اول به واحد پالایش مجدد آب رفته و بعد از خروج ، وارد پمپ های کندانس مرحله دوم می گردد. تعداد این پمپ ها نیز سه دستگاه بوده که دو پمپ در حال کار و سومی بصورت رزرو می باشد. آب پس از عبور کندانسیت پمپ ها به هیترهای فشار ضعیف می رسد. تعداد این هیترها ۴ دستگاه می باشد. بین هیتر ۲ و ۳ یک کندانسور اواپراتور برای میعان بخارها اواپراتور وجود دارد. پس از هیترهای فشار ضعیف آب وارد هوازدا می گردد. آب تغذیه پس از عبور از هوازدا وارد بوستر پمپ ها می شود، این پمپ ها شامل سه دستگاه بوده که یکی رزرو و دو پمپ در حال کار می باشند. آب کندانسیت پس از آن به پمپ های آب تغذیه (*Feed water pumps*) می رسد. این پمپ ها شامل یک دستگاه پمپ توربینی (*Turbo feed pump*) و دو دستگاه پمپ الکتریکی می باشد. پمپ تغذیه توربینی پمپ اصلی آب تغذیه در کارکرد نرمال بوده و دارای ظرفیت $1,100 \text{ ton/hr}$ است که تغذیه بخار پمپ توربینی از زیرکش شماره ۳ توربین انجام می گیرد.

پمپ های تغذیه الکتریکی هر کدام دارای ظرفیت 560 ton/hr بوده و هر دو فقط در حالت اضطراری و راه اندازی واحد استفاده می شوند. آب تغذیه پس از عبور از پمپ های فوق الذکر وارد هیترهای فشار قوی می شود. تعداد این هیترها سه دستگاه است. بعد از هیترهای فشار قوی آب وارد بویلر می شود. در بویلر ابتدا آب از اکونومایزر گذشته و در لوله های آب

پخش می گردد . در این مرحله آب تغییر فاز داده ، تبدیل به بخار می شود. این بخار پس از گذشتن از سوپر هیتر پلاتن و سوپر هیترهای مرحله اول و دوم با دمای 545°C و فشار 255 kgf/cm^2 بویلر را ترک می کند ،بعد از گذشتن از *Stop Valve* ها و شیرهای کنترلی وارد توربین شده و سپس از مراحل مختلف توربین گذشته و وارد کندانسور شده و چرخه ادامه می یابد.

۳-۲-۲- مشخصات کلی نیروگاه رامین

مشخصات اولیه و کلی تجهیزات نیروگاه :

بویلر

نوع بویلر: فوق بحرانی، با پمپ سیرکولاسیون

تعداد و نوع مشعل: ۱۶ عدد- متقابل

فشار بخار تولیدی: 245 kgf/cm^2

درجه حرارت بخار تولیدی: 454°C

میزان بخار تولیدی: 1070 ton/hr

تجهیزات جانبی بویلر: ۲ فن دمش، ۲ فن مکش، ۲ فن سیرکولاسیون هوا، ۲ فن سیرکولاسیون دود، ۲ پیش گرمکن دوار هوا .

توربین

نوع توربین: سه مرحله ای و یک محوره

تعداد سیلندرها: ۳ عدد (سیلندر فشار قوی ،متوسط و ضعیف)

قدرت اسمی توربین: 315 MW

فشار بخار ورودی به توربین: 245 kgf/cm^2

درجه حرارت بخار ورودی به توربین: 545 oX

مقدار بخار ورودی به توربین: 1000 ton/hr

تصفیه خانه

ظرفیت تصفیه خانه: $120 m^3/h$

تعداد فیلترهای ته نشینی: ۴ عدد

تعداد فیلترهای سه بستری (مکانیکی): ۳ عدد

تعداد فیلترهای کاتیونی (مرحله اول): ۴ سری (دو تایی)

تعداد فیلترهای کاتیونی (مرحله دوم): ۳ سری

کاربرد: تولید آب نرم

برج خنک کن

نوع برج خنک کن: تر با دیفیوزرهای فلزی و بتونی

نوع صفحات خنک کننده: ایرانی

میزان کاهش درجه حرارت: $9/4^{\circ}C$

ژنراتور

توان ظاهری: 371 MVA

توان اکتیو: 315 MW

جریان تحریک دربارنامی ژنراتور: 3020 A

ولتاژ تحریک دربار نامی ژنراتور: 466 V

دور نامی: 3000 rpm

سیستم خنک کننده: استاتور با آب و روتور با هیدروژن

ضریب قدرت: ۰/۸۵

ولتاژ خروجی: 20 kV

ترانسفورماتور داخلی

نوع ترانسفورماتور : سه فاز 40 MVA

نسبت تبدیل: $6/3\text{ kV}/230\text{ kV}$

تعداد ترانسفورماتور مصرف داخلی رزرو: هر دو واحد یک دستگاه

نسبت تبدیل: $6/3\text{ kV}/230\text{ kV}$

ترانسفورماتور 10 MV : یک دستگاه

نسبت تبدیل و کاربرد: $6/3\text{ kV}/33\text{ kV}$ جهت تغذیه از شبکه 33 kV

سیستم آب تغذیه

تعداد هیترهای فشار قوی برای هر واحد: ۳ هیتر

تعداد هیترهای فشار ضعیف برای هر واحد: ۴ هیتر

تعداد و ظرفیت پمپ تغذیه الکتریکی برای هر واحد: ۲ پمپ با ظرفیت $560\text{ m}^3/\text{h}$

تعداد و ظرفیت پمپ تغذیه توربین بخار برای هر واحد: ۱ پمپ با ظرفیت $1100\text{ m}^3/\text{h}$

ترانسفورماتور اصلی

نوع ترانسفورماتور: سه فاز 400 MVA

نسبت تبدیل: 242/20 kV

اتصال به شبکه سراسری

نیروگاه رامین از طریق ۲ پست انتقال 230 kV در فاز ۱ و ۲ (واحد های ۱ تا ۴) و فاز ۳ (واحد های ۵ و ۶) به شبکه 230 kV پست های اهواز ۲ و شمال غرب متصل شده و انرژی تولیدی در این نیروگاه از طریق ۷ خط که به ترتیب از ۵ و ۲ خط 230 kV می باشد، منتقل می گردد.

۳-۲-۲-۳ تجهیزات نیروگاه

بویلر

بویلر نیروگاه رامین مدل $\pi\Pi1000/255$ و از نوع فوق بحرانی (*Super critical*) دارای دو دستگاه پمپ سیرکولاسیون (*Boiler circulating pump*) می باشد. احتراق بویلر از نوع رودرو (*Face to Face*) است که توسط ۱۶ مشعل (از هر طرف ۴ مشعل که در دو طبقه قرار گرفته اند) انجام می شود. سوخت اصلی گاز و سوخت اضطراری مازوت می باشد. ظرفیت بویلر برای نیروگاه اول ۱۰۰۰ تن در ساعت است درحالیکه برای نیروگاه دوم تا ۱۰۷۰ تن در ساعت نیز قابلیت افزایش دارد. بخار خروجی با دمای ۵۴۵ درجه سانتیگراد و فشار 255 kgf/cm^2 می باشد. کوره به شکل Π بوده که دیواره های آنرا لوله های آب (*Water walls*) تشکیل داده است. از طرف دیگر کوره دارای یک اکونومایزر (*Economizer*) در آخرین قسمت آن و در مسیر خروجی گازهای احتراق می باشد. سوپر هیترهای کوره به بدین ترتیب آرایش شده اند که یک سوپر هیتر معلق اولیه از نوع تابشی در قسمت بالای کوره و دو سوپر هیتر ثانویه همرفتی در ناحیه کانال خروجی می باشد. ری هیت متشکل از یک قسمت اولیه در کانال پایین رونده گازهای خروجی و یک بخش ثانویه در ناحیه افقی می باشد. هر بویلر دارای دو فن دمشی (*Forced draft fan*)، دوفن مکشی (*Induced draft fan*)، دوفن بازچرخش

هوا (Recirculating Forced draft fan) و دو فن بازچرخش گاز (Recirculation induced draft fan) است. همچنین بویلر دارای دو پیش گرمکن هوا از نوع دوار با محور عمودی (Regenerative air heater) یا ژانگستروم می باشد. کنترل درجه حرارت بخار ری هیت توسط بازچرخش گاز انجام و در صورت کافی نبودن با پاشش آب صورت می گیرد. مسیر دود و هوا به این صورت است که هوا از دو طرف و بوسیله دو دمپر وارد *F.D.Fan* می شود. این دمپرها بوسیله یک محرک الکتریکی مشترک فرمان می گیرند. دو جریان هوای ورودی به فن در داخل ، مشترک شده و یک جریان هوا از فن خارج می شود. پس از آن هوا از یک سری پیش گرمکن بخاری عبور می کند. از این پیش گرمکن ها در هنگام بهره برداری نرمال استفاده نمی شود. پس از آن هوا به *RAH* می رسد. قبل و بعد از *RAH* دمپرها قطع کننده نصب شده اند بعد از عبور از *RAH* هوای گرم بوسیله دو کانال محیطی و محاطی به مشعلها هدایت می شود. وقتی که بویلر با سوخت مایع کار می کند، هوا در دو مرحله گرم می شود. یکی در ایرهیتر و دیگری با به گردش درآوردن هوای گرم خروجی از *RAH*. این کار درجه حرارت ثابت دود خروجی بویلر را تضمین می کند. عمل به گردش در آوردن دود بوسیله فن موسوم به *Air Recirculation Fan* انجام شده که هوا را از خروجی *RAH* به ورودی آن دوباره به گردش در می آورد. قبل و بعد از این فن نیز دمپرهایی در نظر گرفته شده است.

در بارنامی بویلر، هوا تا 70°C گرم می شود هنگام کم کردن بار ، این درجه حرارت به 90 الی 100 درجه می رسد. همچنین بویلر دارای دو فن مکنده هوا (*Induced draft fan*) می باشد که بعد از *RAH* نصب می باشند. بعد از اکونومایزر دود وارد یک کانال مشترک شده و از آنجا به *RAH* هدایت می گردد که جلوی *RAH* دو قسمت شده و بوسیله دو کانال به *RAH* و از آنجا به مکش *I.D.Fan* می رود. قبل و بعد از *RAH* دمپرهایی وجود دارد. همچنین بعد از اکونومایزر، دود بوسیله دو *G.R.Fan* ری سیر کوله شده و با هوای گرم مخلوط می گردد. این مخلوط به کانال محیطی مشعلها وارد می شود، قبل و بعد از این فن ها هم دمپرهایی برای قطع فن در نظر گرفته شده است.



شکل ۳-۸ بویلر

مشخصات فنی بویلر به شرح زیر است:

۱۰۷۰	ton/hr	ظرفیت نامی بخار
۲۵۵	kgf/cm^2	فشار بخار اصلی
۵۴۵	°C	درجه حرارت بخار اصلی
۱۵۰	°C	درجه حرارت دود (سوخت مایع)
۶۹۷۰۰	kg/hr	مصرف سوخت مایع

سرعت سوخت گاز در خروجی نازل ها

۲۱۴	m/s	• سرعت سوخت گاز در کانال محیطی
۲۱۴	m/s	• سرعت سوخت گاز در کانال مرکزی

مشخصات فنی مشعل به شرح زیر است:

۴/۳۶	ton/hr	دبی مشعل (نامی) OIL
------	----------	---------------------

دبی مشعل (نامی) $m^3/hr \text{ GAS}$ ۴۲۰۶

سرعت هوا:

در کانال داخلی m/s ۴۵/۰

در کانال بیرونی m/s ۵۳/۴

مشخصات فنی فن های بویلر

F.D.fan

قطر پره mm ۲۵۲۰

ماکزیمم سرعت مجاز rpm ۱۰۰۰

ظرفیت m^3/hr ۵۷۵۰

درجه حرارت هوای محیط °C ۲۵

فشار خروجی kgf/m^2 ۴۹۵

دور کاری rpm ۹۸۰-۷۵۰

راندمان % ۸۵

قدرت kW ۱۴۰۰

موتور الکتریکی

نوع DA30-2-18-59-6/8T

ولتاژ V ۶۰۰۰

سرعت rpm ۹۸۰/۷۵۰

قدرت kW ۱۲۵۰/۶۸۰

A.R.fan

دبی m^3/hr ۱۰۶۰۰۰
 فشار kgf/m^2 ۱۸۳
 حداکثر سرعت مجاز rpm ۱۰۰۰
 سرعت کاری rpm ۷۵۰
 حداکثر درجه حرارت ورودی $^{\circ}C$ ۴۰۰
 راندمان % ۸۱

G.R.fan

دبی m^3/hr ۲۵۶۰۰۰
 فشار خروجی kg/m^2 ۳۹۳
 حداکثر دور rpm ۷۵۰
 درجه حرارت دود $^{\circ}C$ ۳۴۳
 حداکثر راندمان % ۸۰
 مدل موتور الکتریکی DA30-15-59-8
 ولتاژ V ۶۰۰۰
 شدت جریان A ۸۲
 قدرت موتور kW ۷۰۰

I.D.fan

ظرفیت	m^3/hr	۸۳۲۰۰۰
فشار خروجی از فن در درجه	kg/m^2	۳۵۴
حرارت $122^{\circ}C$		
دور موتور	rpm	۴۹۵
مدل موتور الکتریکی		DA30-1910-12T
قدرت موتور الکتریکی	kW	۱۲۵۰
ولتاژ	V	۶۰۰۰
دور موتور الکتریکی	rpm	۵۰۰
ماکزیمم درجه حرارت دود	$^{\circ}$	۲۰۰

توربین

تمامی توربین ها در نیروگاه اول مدل $K-300/240$ و در نیروگاه دوم مدل $K-315/240$ می باشد که با دور $3000rpm$ و جهت بکار انداختن ژنراتور AC استفاده می شود. توربین ها از نوع پشت سر هم بوده و شامل سه سیلندر با سه خروجی و ری هیت می باشد. این توربین دارای ۸ انشعاب بوده که بخارهای هر انشعاب در قسمت های مختلف واحد مورد استفاده قرار می گیرد. تمام جریان بخارهای متراکم شده (*Condensate*) توربین توسط چگالنده آن جمع آوری می شود.



شکل ۳-۹ سالن توربین

بخار اصلی بعد از اینکه از ۱۲ مرحله توربین فشار قوی گذشت به ری هیت رفته و سپس به توربین فشار متوسط وارد می گردد. بعد از طی ۱۲ مرحله توربین فشار متوسط، حدود دو سوم بخار خروجی از طریق دو لوله به توربین فشار ضعیف وارد شده و پس از طی ۵ مرحله در جهت مثبت و ۵ مرحله در جهت منفی به کندانسور وارد می شود. باقیمانده بخار نیز پس از عبور از آخرین مرحله فشار متوسط وارد مرحله فشار ضعیف (که بر روی شفت توربین فشار متوسط نصب شده و با آن دارای پوسته مشترکی می باشد) شده و سپس به کندانسور می ریزد.

مشخصات فنی توربین :

۳۰۰۰	rpm	سرعت روتور
۲۴۰	kgf/cm^2	فشار بخار اصلی
۵۴۰	°	درجه حرارت بخار اصلی
۴۵	kgf/cm^2	فشار بخار بعد از HPC
۳۰۸	°	درجه حرارت بخار بعد از HPC

طراحی کنترلر فازی بهینه جهت احتراق بویلر نیروگاه های بخار

فشار بخار بعد از ری هیت

۴۰ kgf/cm^2

ظرفیت نامی بخار توربین

۱۰۰۰ ton/hr (برای نیروگاه دوم تا ۱۰۱۰ ton/hr)

بار ماکزیمم توربین بدون سیستم احیاء :

جدول ۲-۲ بار ماکزیمم توربین در حالت های مختلف

وضعیت سیستم احیاء	توربوفیدپمپ	دو الکتروفیدپمپ
گروه HPH خارج از مدار	۲۹۰ MW	۳۰۲ MW
گروه LPH خارج از مدار	۲۷۶ MW	۲۸۸ MW
هر دو گروه خارج از مدار	۲۵۵ MW	۲۶۷ MW

کندانسور

کندانسور واحدها از نوع سطحی مدل $D3200-33$ می باشد. این کندانسور برای کندانسه کردن بخار توربین ، ایجاد و نگهداری خلاء بکار می رود. کندانسور شامل یک پوسته با دو مجموعه تیوب جداگانه است و به سه قسمت خروجی توربین فشار ضعیف متصل است (دو قسمت LP و یک قسمت IP). برای جبران انبساط حرارتی، کندانسور روی تکیه گاه های فلزی سوار شده است. لوله های ورودی و خروجی آب سرد شده نیز قبل از اتصال به واتر باکس ها دارای $Expantion\ joint$ فلزی می باشند.



شکل ۲-۱۰ داخل کندانسور

هر مجموعه تیوب کندانسور دارای تغذیه جداگانه آب خنک کن می باشد و این امکان را فراهم می کند که یک نیمه کندانسور را از مدار خارج کرده و نیمه دیگر در حالی که توربین کار می کند تعمیر شود.

سیستم مکش گازهای کندانسه نشده (اجکتور) برای نگهداری خلاء و همچنین ایجاد خلاء هنگام راه اندازی نصب شده است. اصول کار اجکتور استفاده از هد پمپ و تبدیل آن به سرعت برای ایجاد خلاء در محفظه اجکتور می باشد.

برای تغذیه اجکتورها دو عدد ELP نصب است که یکی همیشه رزرو می باشد.

مشخصات فنی کندانسور:

سطح خنک کنندگی 15400 m^2

مقاومت هیدرولیکی با تیوب های تمیز

و دبی آب گردشی $33500 \text{ m}^3/\text{hr}$ $3/9 \text{ mH}_2\text{O}$

۲/۵	atm	حداکثر فشار آب گردشی
۱۹۶۰۰	عدد	تعداد لوله ها
۲۶/۲۸	mm	قطر لوله ها
۸۹۳۰	mm	طول مؤثر لوله ها
مشخصات فنی ELP:		
D-3200-33		نوع پمپ
۳۲۴۰	m ³ /hr	ظرفیت
۳۳	mH ₂ O	فشار
۹۸۵	rpm	سرعت
۸۸	%	راندمان
۳۳۲	kW	قدرت
DA3013-55-6MT2		نوع موتور الکتریکی
۴۰۰	kW	قدرت
۶	kV	ولتاژ
۴۷	A	جریان
۹۱/۵	%	راندمان

برج خنک کن

برای هر دو واحد نیروگاه ۲۰ دستگاه فن خنک کن در نظر گرفته شده است که بطور مشترک در ۴ ردیف ۵ تایی چیده شده اند. به عبارت دیگر برای هر دو واحد ، ۴ برج در نظر گرفته شده است و هر برج دارای ۵ فن می باشد.



شکل ۲-۱۱ برجهای خنک کن

اعضای اصلی یک برج شامل بدنه ،حوض بتونی، افشانک ها (اسپری کننده ها)، ابزار تقسیم کننده تحت فشار فیبرهای آن، دیفیوزر و فن می باشد. برای اسپری کردن آب از صفحاتی استفاده شده است که به طور عمودی و در ارتفاع ۴/۵ متری قرار داشته و هر قسمت شامل ۴ صفحه آّبست می باشد. آب خنک کن پس از ریخته شدن به حوضچه های برج و خنک شدن از طریق کانال هایی جمع آوری می شود. این کانالها در پشت برجهای قرار گرفته اند. کانال های مذکور پس از پیوستن به همدیگر در استخر عمیقی در پشت پمپ های آب گردش برجهای (C.W.P) جمع می شوند. برای هر دو واحد یک تلمبه خانه آب گردش در نظر گرفته شده است.

دو لوله آب برگشتی از کندانسور را به برج ها هدایت می کنند. این لوله ها در زیر زمین قرار داشته و فقط در برخی نقاط از سطح زمین بیرون می آیند. این دو لوله پس از شیرهای دروازه ای مربوطه در پای برجها به هم متصل و یک لوله می شود. در هر برج برای هر کدام از فنها یک انشعاب از این لوله گرفته و به بالای برج هدایت می شود.

مشخصات فنی فن برج خنک کن:

ظرفیت	m^3/hr	۲۱۷
فشار استاتیک	$mm\ C.W$	۱۶
قطر پره	m	۱۰/۴
تعداد پره ها	۴ عدد	

مشخصات فنی موتور الکتریکی:

قدرت	kW	۲۰۰
ولتاژ	kV	۶
سرعت	rpm	۱۱۰
جریان استاتور	A	۴۲

مشخصات فنی و پارامترهای پمپ :

مشخصات فنی C.W.P:

تعداد	۴ عدد
مدل	4H-1 (2-4)
تیپ	سانتریفیوژ عمودی
قطر	mm ۱۶۳۰
سرعت	rpm ۳۰۰
دبی	m^3/hr ۲۱۶۰۰

هد - فشار خروجی $23 \text{ mH}_2\text{O} = 2/3 \text{ atm}$

فشار ورودی $8 \text{ mH}_2\text{O} = 0/8 \text{ atm}$

درجه حرارت آب بخار 91 35

مشخصات فنی موتور الکتریکی C.W.P:

تیپ $BA215, 89-20$

قدرت 2000 kW

جریان استاتور 302 A

ولتاژ 6000 V

راندمان در بار نامی $93/6 \%$

واحد احیاء انرژی

واحد احیاء به منظور گرم کردن کندانس ها (فیدواتر) در نظر گرفته شده است بخار تغذیه برای گرم کردن از مراحل مختلف توربین و از خروجی توربوفیدپمپ گرفته می شود. واحد احیاء از قسمت های زیر تشکیل شده است:

- گلند استیم کولر (PIC-115) که در آن کندانس ها توسط بخار خروجی از محفظه های آب بندی توربین و توربوفیدپمپ گرم می شود.

- چهار هیتر فشار ضعیف LP نوع PIH-550-26-7 که بخار تغذیه بعد از کندانسه شدن به روش Cascade از هیترها تخلیه می شود (از هیتر ۴ به ۳ و ۳ به ۲). از LPH-2 کندانس ها بوسیله پمپ تخلیه شده و به خط کندانس ها اصلی بعد از LPH-1 ریخته می شود. کندانس ها از LPH-1 از طریق یک سیفون ۳ متری به کندانسور می رود.

- هوازدای ۷ آتمسفری شامل برج گاز زدا نوع DCP-1000

- گروه هیترهای فشار قوی HP شامل ۳ هیتر با کولرهای داخلی تخلیه کندانس ها بخار گرم تغذیه از HPH از طریق Cascade انجام می گردد. کندانس ها از HPH6 به هوازدا می رود ولی در بار کم واحد کندانس ها به کندانسور می ریزد.

هیترهای فشار ضعیف

هیترهای فشار ضعیف از نوع سطحی بوده و هر هیتر از نظر کلی شامل بدنه و دسته لوله می باشد، سیستم لوله ها شامل یک صفحه و تیوب های U شکل است که در صفحات جایگزین شده اند. تمام هیترهای فشار ضعیف عمودی بطور جداگانه نصب گردیده اند، داخل هیتر شماره ۳ یک کولر برای خنک کردن کندانس ها تعبیه شده است.

جدول ۳-۳ مشخصات فنی هیترهای فشار ضعیف

شماره هیتر				واحد	پارامتر
۴	۳	۲	۱		
۵۸۰	۵۴۰	۵۸۰	۵۸۰	m^2	سطوح گرمایی (قطر خارجی لوله)
-	۲۸	-	-	m^2	محوطه کولر کندانس ها
۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	kgf/cm^2	حداکثر فشار کاری در لوله ها
۷	۷	۷	۲۶	kgf/cm^2	حداکثر فشار کاری در بدنه
۳۴	۳۴	۳۴	۳۴	kgf/cm^2	تست فشار هیدرولیکی لوله ها
۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	kgf/cm^2	تست فشار هیدرولیکی بدنه
۹۸۵	۹۸۵	۸۲۵	۸۲۵	ton/hr	حداکثر دبی رد شده از لوله ها
۷۸۰	۷۸۰	۶۶۰	۶۶۰	ton/hr	دبی نامی آب از طریق محوطه کندانس ها
۷۸۰	۷۸۰	-	-	ton/hr	دبی نامی آب از محوطه کولر بخار
-	۱۵۲	-	-	ton/hr	دبی نامی آب از محوطه کولر کندانس ها
۵	۵	۴	۴	mH_2O	حداکثر افت فشار در لوله های آب
۴	۴	۴	۴	-	تعداد فلوی تیوب ها
۲۹۲۲	۲۹۲۲	۳۰۴۰	۳۰۴۰	عدد	تعداد لوله های تیوب ها
۶/۴۵	۶/۷۳	۶/۴۵	۶/۴۵	m	طول لوله ها

هیترهای فشار قوی

هیترهای فشار قوی از نوع هیترهای سطحی می باشند، ساختمان آنان از بدنه و تیوب ها ساخته شده است. تیوب ها از لوله های ورودی، خروجی و تیوب های حلزونی ساخته شده است، هر هیتر دارای کولر بخار اولیه و کولر خنک کن کندانس ها می باشد.

جدول ۳-۴ مشخصات فنی هیترهای فشار قوی

شماره هیتر			واحد	پارامتر
8	7	6	اندازه گیری	
1254	1343	998	m^2	سطح گرمایی (قطر خارجی) محوطه کندانسه شدن
152	134	125	m^2	سطح گرمایی، کولر بخار
152	201	187	m^2	سطح گرمایی، کولر کندانس ها
380	380	380	kgf/cm^2	حداکثر فشار کاری در لوله ها
72	51	21	kgf/cm^2	حداکثر فشار کاری در بدنه
69	44	16	kgf/cm^2	فشار کاری در بدنه
570	570	570	kgf/cm^2	فشار تست هیدرولیکی در لوله ها
107	76	29	kgf/cm^2	فشار تست هیدرولیکی در بدنه
1030	1030	1030	ton/hr	حداکثر دبی آب تغذیه (رد شده از هیتر)
1030	1030	1030	ton/hr	دبی نامی آب تغذیه (در محوطه کندانسه شدن)
124/8	103	128/7	ton/hr	دبی نامی آب تغذیه (محوطه کولر بخار)
124/8	154/5	193/1	ton/hr	دبی نامی آب تغذیه (محوطه کولر کندانس ها)
11	12	10	mH_2O	ماکزیمم افت فشار آب تغذیه در حد اکثر دبی
1	1	1	عدد	تعداد فلوی آبی هیترها
32×5	32×5	32×5	mm	قطر و ضخامت لوله ها
۹۸۴	۹۰۰	۱۰۰۸	عدد	تعداد لوله ها
۱۰	۹/۴	۹/۸۳	m	طول لوله ها
				تعداد حلزونی ها در تیوب ها
96	108	144	عدد	- کولر کندانس ها
792	220	768	عدد	- کندانسه
96	72	96	عدد	- کولر بخار

هوازدا

هوازدا (*Deaerator*) برای فشار ۷ اتمسفر طراحی گردیده است و شامل یک تانک ذخیره و لوله عمودی (ستون) که به آن جوش داده شده، می باشد.

مشخصات تانک هوازدا:

۶	kgf/cm^2	فشار کاری
۹	kgf/cm^2	فشار تست هیدرولیکی
۶/۹	kgf/cm^2	عملکرد والو ایمنی
۱۶۴	°C	درجه حرارت کاری
۱۷۲	°C	حداکثر درجه حرارت مجاز دیواره تانک
		سیال کاری
۱۰۰	m^3	حجم کاری
۱۱۸	m^3	حجم هندسی

مشخصات ستون هوازدا:

۶	kgf/cm^2	فشار کاری
۱۶۴	°C	درجه حرارت کاری
۱۷۲	°C	حداکثر درجه حرارت مجاز دیواره
۹	kgf/cm^2	فشار تست هیدرولیکی
۶/۹	kgf/cm^2	عملکرد والو ایمنی
۲۶۰۰	kg	وزن ستون با آب
۱۷	m^3	حجم هندسی

پمپ ها

توربوفیدپمپ

توربوفیدپمپ برای رساندن آب به بویلر (در بار ۱۰۰٪-۳۷٪) طرح و نصب گردیده است.

جدول ۳-۵ مشخصات فنی توربوفید پمپ در بارهای مختلف

100	75	60	37	درصد بار
1107	851	685	354	فلو (m^3/hr)
336	305	۲۸۸/۵	266	فشار خروجی (kgf/cm^2)
165	165	165	165	درجه حرارت آب تغذیه $^{\circ}C$
23	23	23	23	فشار (kgf/cm^2)
5100	4650	4400	4100	دور (rpm)
12200	8700	6900	4400	توان مصرفی (kW)
424	425	427	432	درجه حرارت بخار ($^{\circ}C$)
424	425	427	432	قبل از Stop Valve ($^{\circ}C$)
2/56	2/09	1/59	0/84	فشار بخار در خروجی توربین (kgf/cm^2)
118/2	88/15	70/3	42/9	فلو بخار به توربین (m^3/hr)
77	73/1	71/3	74/4	راندمان داخلی قبل از شیر کنترلی (٪)
83/6	84/2	91	78/5	راندمان داخلی قبل از نازل ها (٪)

فیدپمپ الکتریکی

هر واحد دارای دو عدد فیدپمپ الکتریکی می باشد که برای تغذیه بویلر در موقع راه اندازی و رزرو نصب شده اند، همچنین وقتی که واحد دارای بار کمتر از ۳۰٪ است یکی از فیدپمپ های الکتریکی مورد بهره برداری قرار می گیرد.

مشخصات فنی پمپ:

ظرفیت	m^3/hr	۵۶۰
فشار آب خروجی	kg/cm^2	۳۳۵
درجه حرارت آب	°C	۱۶۵
سرعت دوران روتور	rpm	۶۳۰۰

مشخصات فنی موتور الکتریکی:

قدرت	kW	۸۰۰۰
ولتاژ	V	۶۰۰۰
سرعت	rpm	۲۹۶۰
جریان برق استاتور	A	۸۷۵
راندمان	%	۹۶/۷
ضریب قدرت	%	۰/۹۱

موتور الکتریکی $AB-8000/6000$ ، سه فاز، دوقطبی و سنکرون می باشد.

بوسترپمپ

بوسترپمپ برای رسانیدن آب از هوازدا به ورودی فیدپمپها در نظر گرفته شده است هر واحد دارای سه عدد بوسترپمپ می باشد. محرک بوسترپمپ یک موتور آسنکرون سه فاز $A3M-500/600$ می باشد.

مشخصات فنی پمپ:

دبی	m^3/hr	۶۵۰
هد	mH_2O	۱۵۸
فشار خروجی	kgf/cm^2	۲۴/۶
فشار ورودی	kgf/cm^2	۸/۸
حداقل فشار ورودی	mH_2O	۱۸
درجه حرارت آب پمپ °C		۱۶۵
سرعت	rpm	۲۹۷۵
قدرت در بار نامی	kW	۳۳۰

مشخصات فنی موتور الکتریکی:

مدل	$2A\epsilon MI \ I-500/6000T4$	
توان	kW	۵۰۰
ولتاژ	V	۶۰۰۰
آمپر نامی	A	۵۵
دور	rpm	۲۹۷۵

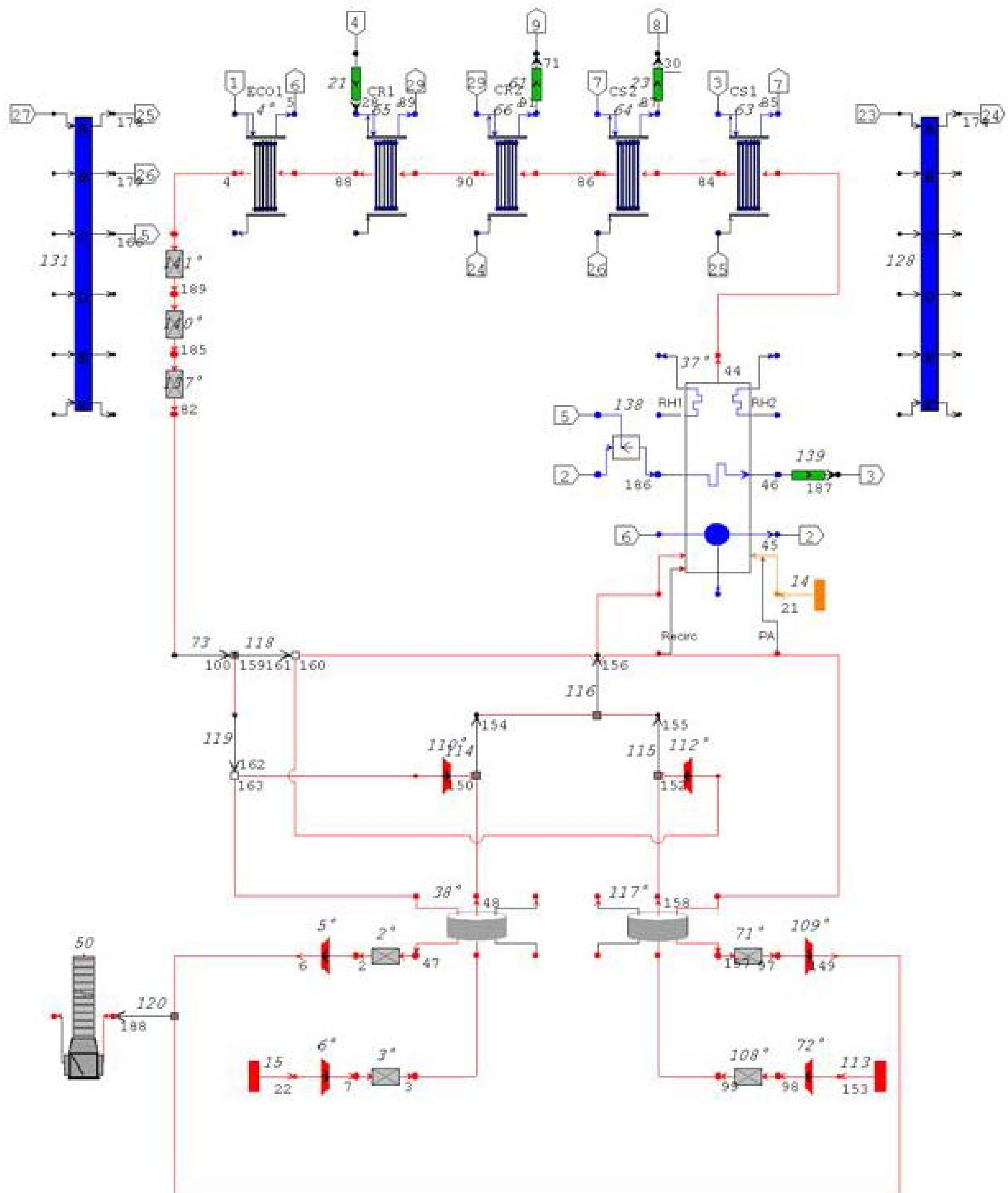
کندانسیت پمپ و دریناژ پمپ

این پمپ ها از نظر طراحی مشابه هستند و از نوع سانتریفیوژ و چند مرحله ای می باشند. جهت افزایش قدرت مکش پمپ یک پره مارپیچی (*HELICAL*) قبل از مرحله اول نصب گردیده است. برای خنثی کردن نیروهای محوری بعد از مرحله آخر یک دیسک بالانس در نظر گرفته شده است.

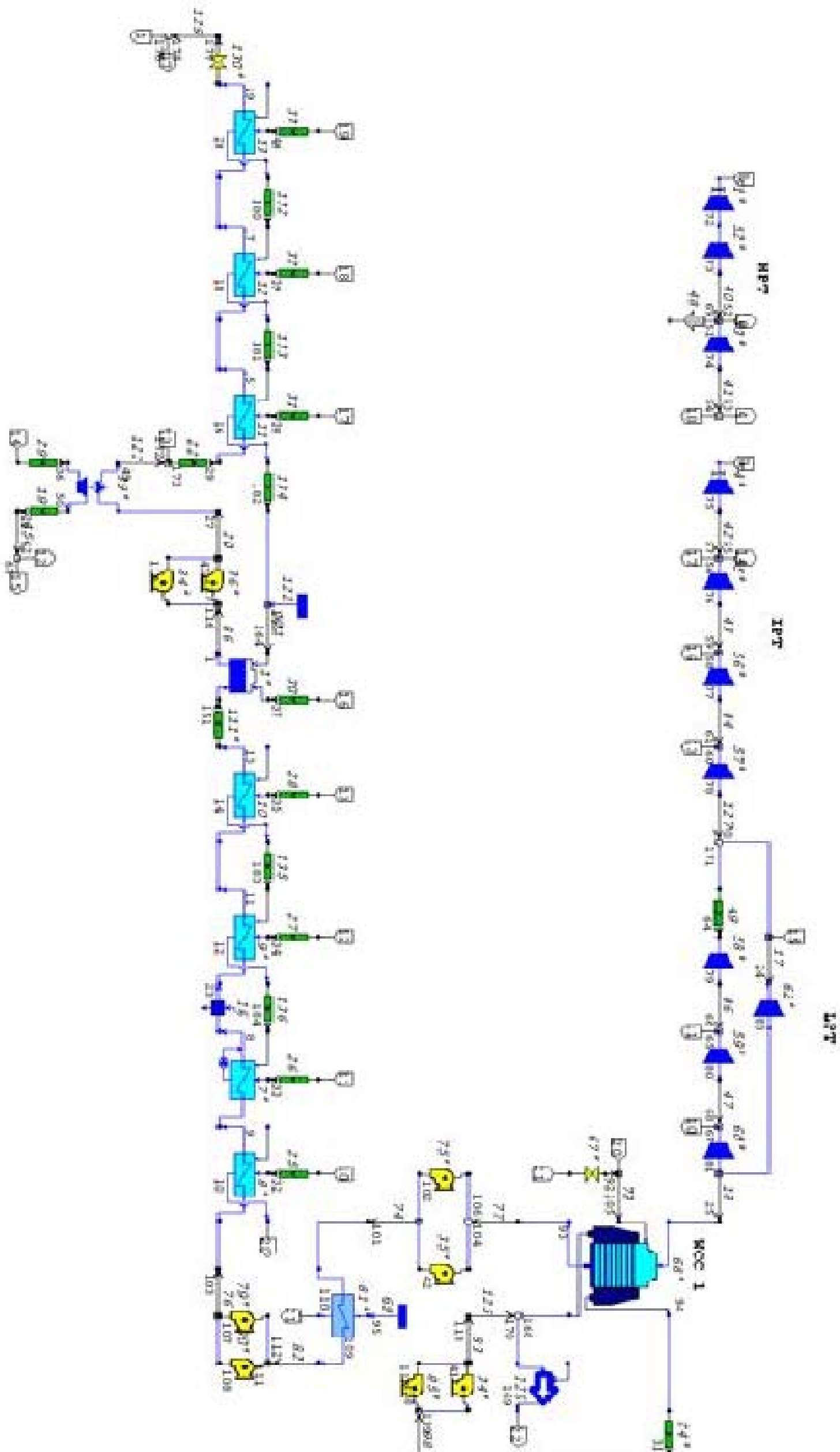
جدول ۳-۶ مشخصات فنی کندانسیت پمپ ها و دریناژ پمپ

نوع	واحد اندازه گیری	کندانسیت پمپ مرحله اول	کندانسیت پمپ مرحله دوم	دریناژ پمپ
ظرفیت	m^3/hr	500	500	200
هد	mH_2O	85	220	220
سرعت	rpm	985	1480	1480
قدرت موتور	KW	200	500	164
ولتاژ موتور	V	6000	6000	6000
جریان موتور	A	23/5	57	28/7

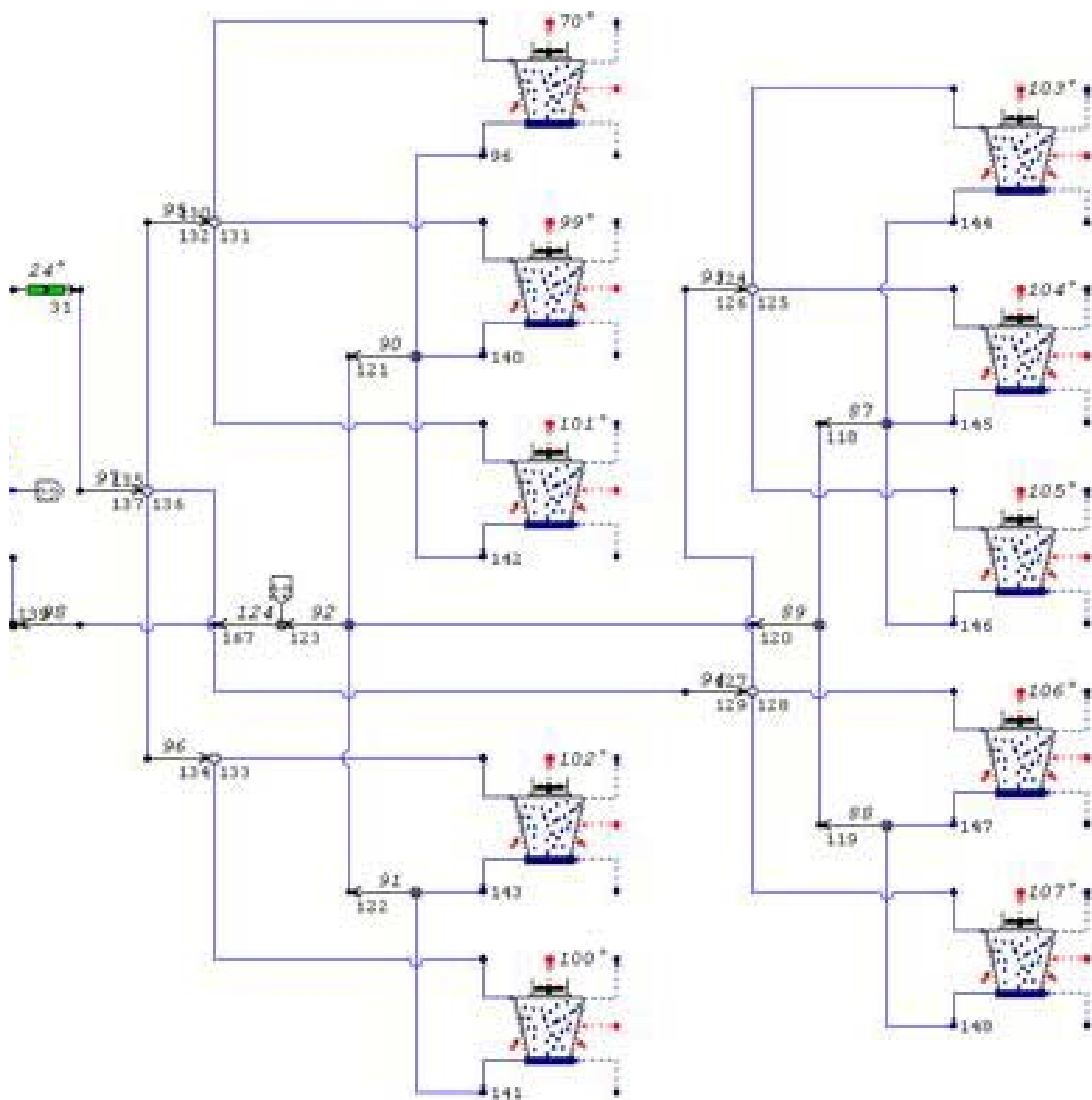
با توجه به اطلاعات طراحی، در ابتدا اطلاعات کلی نیروگاه از طریق ماژول *Steam Pro* شبیه سازی شده و سپس در ماژول *Termo flex* اطلاعات دقیق واحد مدل می شود. طراحی نیروگاه در سه بخش بویلر، آب گردشی و خنک کاری انجام شد که در انتها این سه *Screen* در محیط *Termoflex* به یکدیگر متصل شده اند. شکل های ۳-۱۲ الی ۳-۱۴ شمای شبیه سازی نیروگاه را در محیط *Termoflex* نشان می دهد.



شکل ۳-۱۲ نمایی از بویلر شبیه سازی شده



شکل ۳-۱۳ نمایی از سیکل آب و بخار شبیه سازی شده



شکل ۳-۱۴ نمایی از سیکل آب خنک کننده شبیه سازی شده

۳-۲-۳ مقایسه شبیه سازی نرم افزاری با تست عملکرد

با توجه به اینکه اطلاعات طراحی به عنوان ورودی های نرم افزار می باشد، جهت کنترل صحت شبیه سازی، نتایج حاصل از نرم افزار با اطلاعات موجود تست عملکرد مطابق جدول زیر مقایسه شده است. لازم به ذکر است تست عملکرد در شرایط عدم خروج بخارها اضافی صورت گرفته است، با این وجود بر اساس این اطلاعات موازنه جرم بروی برخی تجهیزات بسته نمی شود. به عنوان مثال در پیش گرم کن فشار قوی شماره ۱، دریناژ خروجی 1 ton/hr بیشتر از مجموع بخار ورودی از توربین فشار قوی و دریناژ پیش گرم کن فشار قوی شماره ۲ می باشد لذا با توجه به اینکه نرم افزار، موازنه جرم را بروی کلیه تجهیزات بسته، خطا در دبی این نقطه افزایش یافته است. همچنین عدم موازنه جرم در اطلاعات توربین فشار متوسط نیز وجود دارد که به سبب آن خطا در هوازا، دبی دریناژ پیش گرم کن فشار ضعیف شماره ۳ و ۴ بیش از سایر تجهیزات است.

جدول ۳-۷ مقایسه نتایج شبیه سازی با تست عملکرد

Feedwater Heaters												
Parameter		unit	LP1				LP2					
Flow		t/h	660/45	660/45	16/51	16/51	774/65					
Enthalpy		kCal/kg	41/6	55/1	601/3	60/2	90/7					
Temperature		C	41	55	63	60	92					
Pressure		atm	24/5	24/1	0/23	0/2	23/6					
Flow		t/h	652/1	652/1	15/7	15/7	761/9					
Enthalpy		kCal/kg	42/37	55/44	605/13	62/3	92/45					
Temperature		C	41/88	54/99	62/64	59/66	92					
Pressure		atm	24/48	24/07	0/2293	0/2	23/6					
Flow			1/3%	1/3%	4/9%	4/9%	1/6%					
Enthalpy			1/9%	0/6%	0/6%	3/5%	1/9%					
Temperature			2/1%	0/0%	0/6%	0/6%	0/0%					
Pressure			0/1%	0/1%	0/3%	0/0%	0/0%					

ادامه جدول ۷-۳

Feedwater Heaters											
Parameter	unit	LP3						LP4			HP1
		Steam Inlet	FW inlet	FW Outlet	Steam Inlet	Condensate	FW Outlet	Steam Inlet	Condensate	FW inlet	FW Outlet
Flow	t/h	40/22	774/65	774/65	32/13	72/33	774/65	40/2	40/2	1000	1000
Enthalpy	kCal/kg	648/6	91/5	119/6	699/3	100/4	146/3	719/8	151/2	176/1	200/5
Temperature	C	119	92	119	230	100	145	276	150	170	194
Pressure	atm	0/98	23/6	23	2/6	2/3	22/4	5/4	4/9	340	338
Flow	t/h	42/31	767/9	767/9	31/71	67/51	767/9	35/8	35/8	1000	1000
Enthalpy	kCal/kg	648/45	92/49	119/65	700/27	100/39	146/11	719/27	151/58	177/36	200/8
Temperature	C	119	92/04	119	231/5	100/3	145	274/6	150/6	171/1	194
Pressure	atm	0/9806	23/6	23/03	2/6	2/302	22/44	5/4	4/93	340	338/06
Flow		5/2%	0/9%	0/9%	1/3%	6/7%	0/9%	10/9%	10/9%	0/0%	0/0%
Enthalpy		0/0%	1/1%	0/0%	0/1%	0/0%	0/1%	0/1%	0/3%	0/7%	0/1%
Temperature		0/0%	0/0%	0/0%	0/7%	0/3%	0/0%	0/5%	0/4%	0/6%	0/0%
Pressure		0/1%	0/0%	0/1%	0/0%	0/1%	0/2%	0/0%	0/6%	0/0%	0/0%

ادامه جدول ۷-۳

Parameter			Feedwater Heaters												Turbines	
			unit	HP2						HP3			HP1		HP2	
Performance Test	Flow	t/h	35/1	208/85	1000	105/02	172/75	1000	67/67	67/67	1000	977/7	Inlet	Outlet		
	Enthalpy	kCal/kg	787/7	180/4	257	707/7	207/7	287/9	729/4	269/8	793/6	729/4				
	Temperature	C	421	178	247	305	204	275	360	259	540	360				
	Pressure	atm	17/1	15/4	333	45/1	40/6	329	69/8	62/8	240	69/8				
Simulation	Flow	t/h	30/51	202/7	1000	104/5	172/2	1000	67/75	67/75	1000	978				
	Enthalpy	kCal/kg	788/23	180/77	256/83	706/36	209/29	287/94	728/67	269/51	793/9	728/7				
	Temperature	C	421/4	178/5	247	303/3	205/1	275	358/7	258/7	540/4	358/7				
	Pressure	atm	17/06	15/38	333/05	44/98	40/97	329/25	69/21	62/98	240	69/21				
Difference			Flow	13/1%	2/9%	0/0%	0/5%	0/3%	0/0%	0/1%	0/0%	0/0%				
			Enthalpy	0/1%	0/2%	0/1%	0/2%	0/8%	0/1%	0/1%	0/0%	0/1%				
			Temperature	0/1%	0/3%	0/0%	0/6%	0/5%	0/4%	0/1%	0/1%	0/4%				
			Pressure	0/2%	0/1%	0/0%	0/3%	0/9%	0/8%	0/3%	0/0%	0/8%				

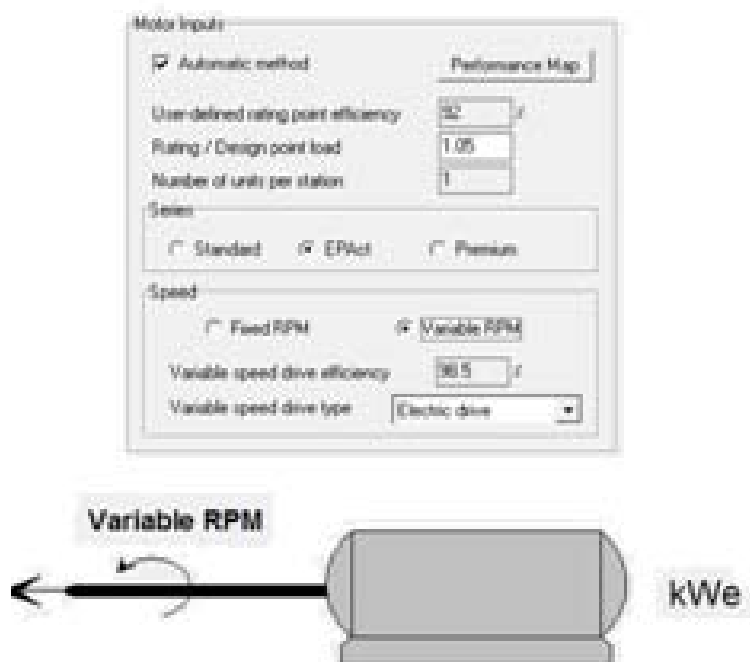
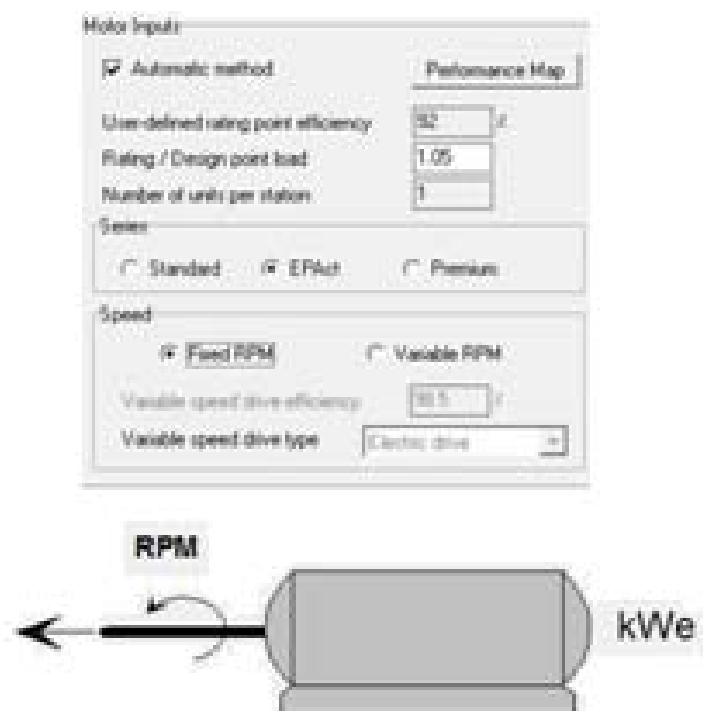
ادامه جدول ۷-۳

Parameter		unit		Turbines									
		HP3	IP1		IP2	IP3	IP4	LP1-1	LP1-2	LP1-3	LP2		
		Outlet	Inlet	Outlet	Outlet	Outlet	Outlet	Outlet	Outlet	Outlet	Outlet		
Flow	t/h	910/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Enthalpy	kCal/kg	707/7	844/6	787/7	760/9	719/8	683/7	648/6	601/3	574/1	574/1		
Temperature	C	305	540	421	364	276	197	119	63	40	40		
Pressure	atm	45/1	40/1	17/1	11/2	5/4	2/6	0/98	0/23	0/074	0/074		
Flow	t/h	910/3											
Enthalpy	kCal/kg	706/4	844/8	788/7	761	719/2	683/2	648/5	605/1	577/5	565/9		
Temperature	C	303/3	540/1	422/3	363/8	274/5	196/5	119	62/6	39/7	39/7		
Pressure	atm	44/98	40	17/05	11/15	5/386	2/6	0/979	0/229	0/074	0/074		
Flow		0/0%											
Enthalpy		0/2%	0/0%	0/1%	0/0%	0/1%	0/1%	0/0%	0/6%	0/6%	1/4%		
Temperature		0/6%	0/0%	0/3%	0/1%	0/5%	0/3%	0/0%	0/6%	0/7%	0/7%		
Pressure		0/3%	0/2%	0/3%	0/4%	0/3%	0/0%	0/1%	0/5%	0/0%	0/0%		

ادامه جدول ۷-۳

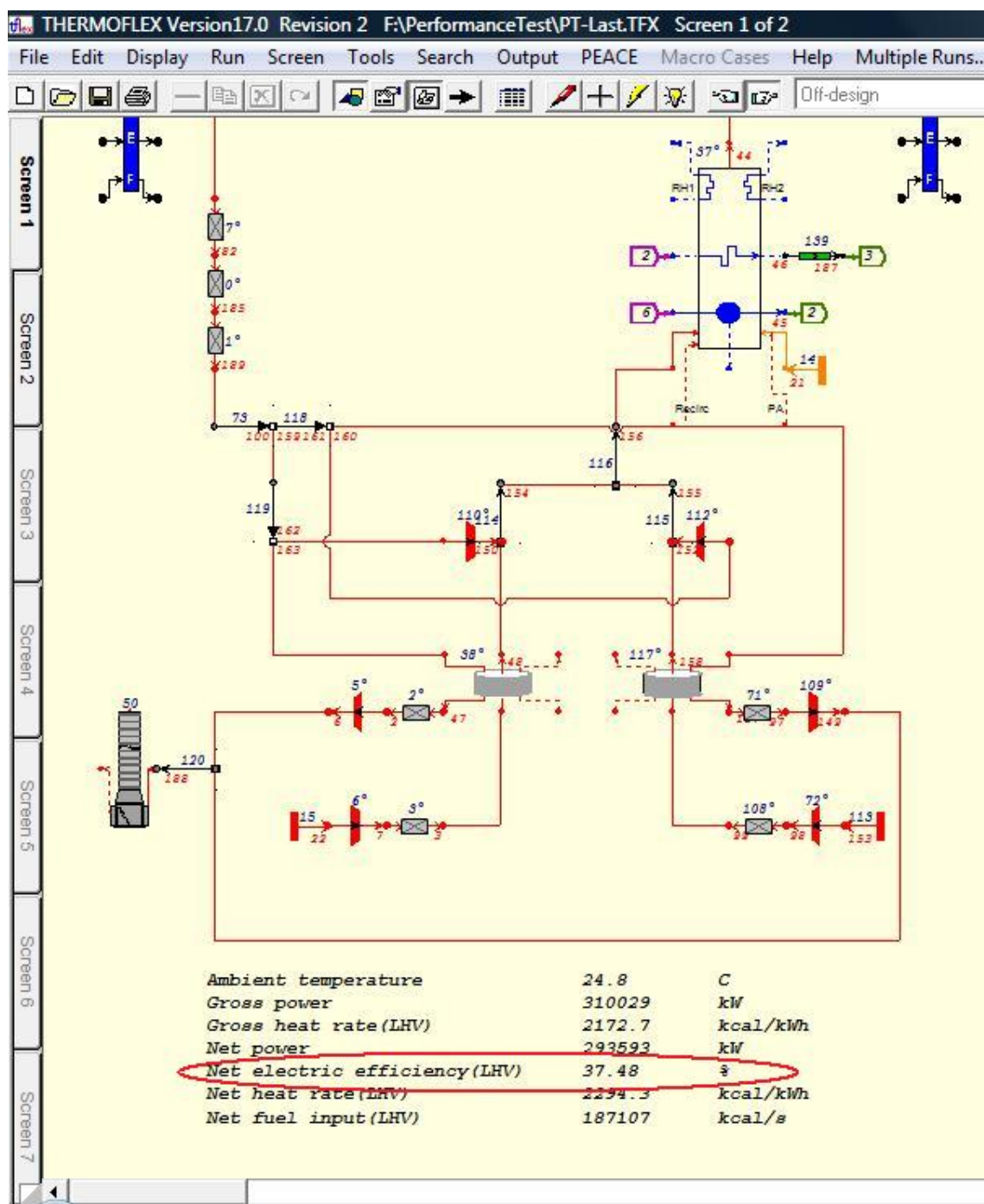
Parameter		unit	Condenser		Gland Steam	Deaerator		
Performance Test	Flow	t/h	641/8	660/5	660/45	16/5	208/85	1000
	Enthalpy	kCal/kg	574/1	39/5	39/5	760/9	180/4	165/6
	Temperature	C	40	40	40	364	178	164
	Pressure	atm	0/074	0/074	2/5	11/2	15/4	9
Simulation	Flow	t/h	634/4	652/1	652/1	17/49	216/7	1002
	Enthalpy	kCal/kg	573/1	39/69	39/99	761/06	192/77	166/9
	Temperature	C	39/7	39/7	39/95	364	189/9	165/3
	Pressure	atm	0/074	0/074	2/5	11/172	15/381	8/701
Difference	Flow		1/2%	1/3%	1/3%	6/0%	3/8%	0/2%
	Enthalpy		0/2%	0/5%	1/2%	0/0%	6/9%	0/8%
	Temperature		0/7%	0/7%	0/1%	0/0%	6/7%	0/8%
	Pressure		0/0%	0/0%	0/0%	0/2%	0/1%	3/3%

همانگونه که در جدول ۷-۳ مشخص است، میزان خطا در محدوده معقولی قرار داشته و می توان از این پس، نتایج بررسی های انجام شده بروی مدل نیروگاه در محیط *Termoflow* را بیانگر عملکرد واقعی واحد دانست. جهت بررسی تاثیر بکارگیری درایو در راندمان واحد، در قسمت مشخصات موتور *FD Fan*، درایو الکتریکی را جایگزین سیستم کنترل توسط دمپر می کنیم.

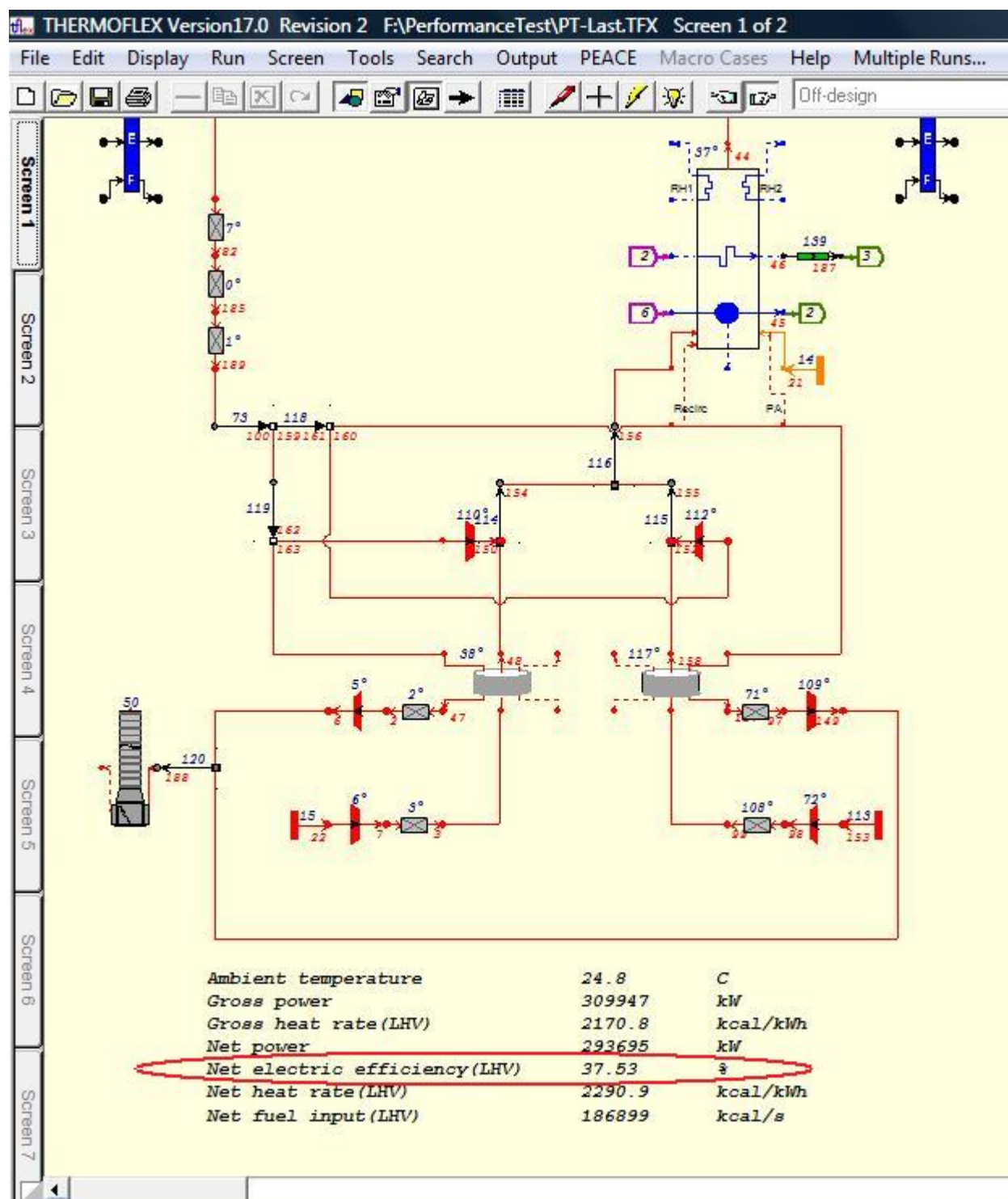


شکل ۳-۱۵: تغییر سیستم کنترل *FD Fan*

پس از اعمال تغییرات راندمان واحد در خروجی نرم افزار، میزان تغییر راندمان مورد مقایسه قرار گرفت.



شکل ۳-۱۶: راندمان واحد پیش از بکارگیری درایو



شکل ۳-۱۷: راندمان واحد پس از بکارگیری درایو

همانگونه که مشخص است، بکارگیری درایو در فن دمنده اجباری نیروگاه رامین، باعث افزایش ۰/۰۴ درصدی راندمان واحد شده که در سطح تولید ۳۱۰ مگا واتی تولید، رقم قابل توجهی است. همچنین در صورت توجه پذیر بودن از دیدگاه اقتصادی، نصب درایو در سایر تجهیزات پر مصرف نیروگاه رامین در افزایش بهره وری بسیار موثر است.

کاهش مصرف داخلی نیروگاه علاوه بر افزایش بهره وری تولید، حفاظت از محیط زیست و استفاده بهینه از سوخت های فسیلی از دیدگاه دیگری نیز حائز اهمیت می باشد. نیاز به انرژی الکتریکی پیوسته در حال افزایش می باشد. لذا مدیران ارشد بایستی همراه با بکارگیری تکنیک های پیش بینی بار [۲۸-۲۹] به برآورد مصرف در دوره های میان مدت و بلندمدت بپردازند و تصمیمات مقتضی در خصوص احداث واحدهای نیروگاهی جدید در شبکه را اخذ نمایند. با توجه به هزینه های سنگین احداث نیروگاه، مدیران ارشد همواره به دنبال راه های چاره ای هستند تا بتوانند تا حد امکان، از این سرمایه گذاری عمده، رهایی یابند. افزایش هزینه برق در ساعات اوج مصرف، ارائه طرح های تشویقی جهت کاهش مصرف انرژی، تصاعدی نمودن بهای برق، ارائه آموزش مدیریت مصرف به مشترکین و همگی در راستای این سیاست می باشند.

از طرفی کاهش مصرف داخلی نیروگاه، باعث افزایش توان تولیدی نیروگاه و ظرفیت شبکه می شود. لذا می تواند منجر به کاهش سرمایه گذاری های لازم جهت ساخت واحدهای جدید گردد. از این رو راهکارهای افزایش کارایی واحدهای نیروگاهی از دوجنبه موثر واقع می شوند:

- افزایش توان تولیدی و سودآوری بیشتر برای واحد نیروگاهی
- کاهش سرمایه گذاری های مورد نیاز جهت افزایش ظرفیت سیستم قدرت

فصل چهارم

آنالیز اقتصادی

مقدمه

با توجه به هزینه های نسبتاً سنگین خرید و نصب درایو الکتریکی جهت فن دمنده اجباری، لازم است بکارگیری این تجهیز از دیدگاه اقتصادی نیز توجیه پذیر باشد. جهت مطالعات اقتصادی در این پروژه، هزینه خرید و نصب درایو مناسب با شرایط طراحی فن، از شرکت ABB استعلام شده و از نرم افزار *Fan Save* جهت محاسبات بازگشت سرمایه استفاده شد. توضیحات کامل در خصوص نرم افزار در مرجع [۳۰] قابل دسترسی می باشد.

یکی از مهمترین موارد تاثیر گذار در محاسبات اقتصادی پروفیل مصرف انرژی و عملکرد فن می باشد. لذا در این پروژه طی سه بازه زمانی، اندازه گیری انرژی مصرفی انجام شد که نتایج حاصله در این فصل ارائه می شود و پس از آن، نرم افزار *Fan Save* و طریقه اعمال ورودی ها توضیح داده خواهد شد.

۱-۴ نتایج اندازه گیری انرژی مصرفی *FD Fan* در واحد های مختلف نیروگاه رامین اهواز

FD فن هوای مورد نیاز احتراق در بویلر را تامین می نماید. در نیروگاه رامین هر واحد دارای دو *FD* فن است که هرکدام دارای قابلیت عمل در دو سرعت (980 و 750 rpm) می باشند. دبی هوای خروجی *FD* فن توسط دمپر محوری و رگولاتور *M30-160* به صورت اتوماتیک و یا دستی از راه دور (اتاق فرمان) کنترل می شود.

جدول ۱-۴ مشخصات فنی *FD* فن

مقدار	مشخصه
2520 mm	قطر پره
1000 rpm	ماکزیمم سرعت مجاز
$575000\text{ m}^3/\text{h}$	ظرفیت
25°C	درجه حرارت هوای محیط
495 kgf/m^2	فشار خروجی
$980/750\text{ rpm}$	سرعت
85%	راندمان
$DA30-2-18-59-6/8T$	نوع
6000 V	ولتاژ
$1250/680\text{ kW}$	قدرت

جهت اندازه گیری توان از دستگاههای آنالیزور توان پرتابل مدل *HIOKI 3196* و *CHAUVIN ARNOUX 8334* استفاده شد. در نصب دستگاههای الکتریکی بایستی ایمنی واحد کاملاً مورد بررسی قرار بگیرد و به هیچ عنوان دستگاه روی سیستم حفاظت نصب نگردد. بهترین نقطه جهت نصب دستگاه پاورآنالایزر در نیروگاه ها حد فاصل *PT* و *CT* اندازه گیری و ترانسدیوسر توانی است. با توجه به تغییر ضریب توان نامی موتور پس از تعمیرات سیم پیچ، پیشنهاد می گردد محققین جهت تقریب توان به آمپرسنجی موتورها اکتفا نکرده و جهت افزایش دقت مطالعات از دستگاههای آنالیزور توان استفاده نمایند.

اندازه گیری پارامترهای الکتریکی طی دوره های حداقل ۲۴ ساعته جهت تخمین میزان مصرف واقعی فن دمنده هوا صورت گرفت. با توجه به عملکرد نیروگاه های بخار به عنوان بار پایه سیستم قدرت، این اندازه گیری ها قابل تعمیم به کل عملکرد واحد است. نتایج اندازه گیری های انجام از واحد ۱ به عنوان نمونه از نیروگاه اول و واحد ۵ به عنوان نمونه از نیروگاه دوم در ادامه آورده شده است.

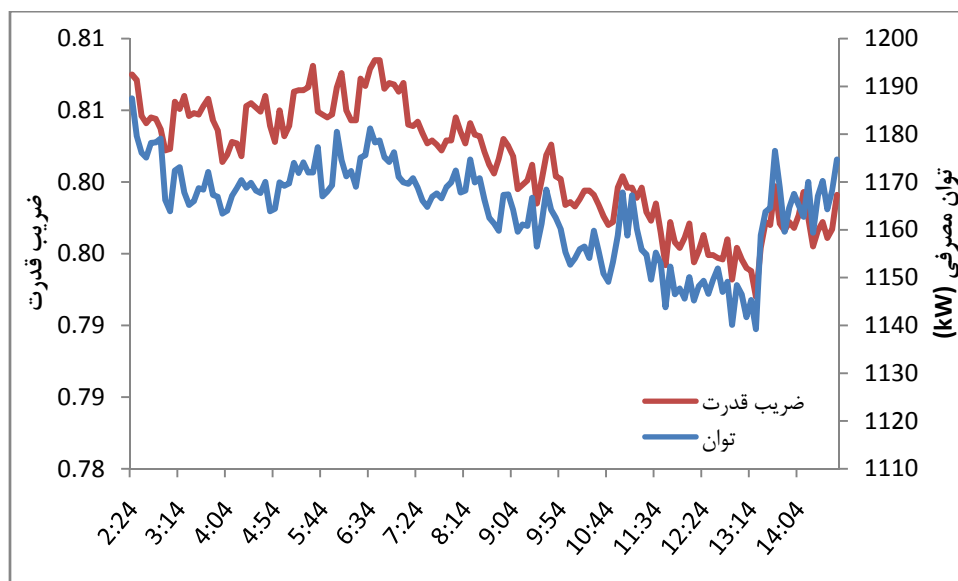


شکل ۴-۱: نحوه اتصال دستگاه پاور آنالایزر به سیستم اندازه گیری

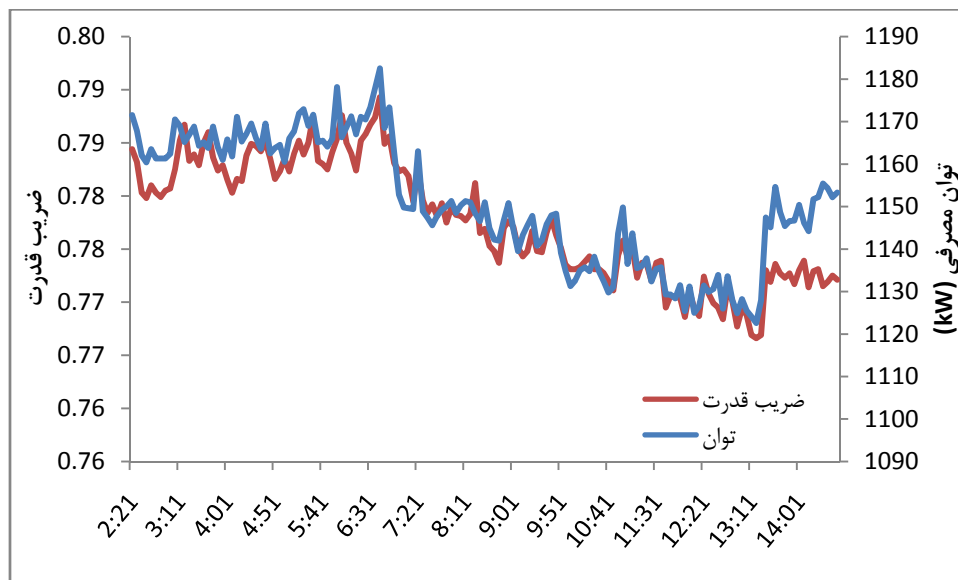
- واحد ۱

جدول ۲-۴ متوسط پارامترهای الکتریکی در اندازه گیری همزمان FD فن واحد ۱

پارامتر	FD فن (A)			FD فن (B)		
	R	S	T	R	S	T
ولتاژ (kV)	۶/۶۷	۶/۶۴	۶/۵۴	۶/۶۷	۶/۵۴	۶/۶۷
جریان (A)	۱۲۹/۸۲	۱۲۳/۸	۱۲۷/۶	۱۲۵/۶۴	۱۲۵/۹۵	۱۳۲/۹۷
THD ولتاژ (%)	۰/۶۶	۰/۶۴	۱/۱۵	۰/۶۳	۱/۱۶	۱/۶۶
THD جریان (%)	۱/۱	۱/۱۳	۱/۱	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۶۵
توان ظاهری (kVA)	۱۴۵۵/۸۸			۱۴۸۲/۱		
توان اکتیو (kW)	۱۱۶۴/۲۱			۱۱۵۰/۷۹		
توان راکتیو ($kVar$)	۸۷۷/۳۶			۹۳۷/۱۲		
ضریب توان	۰/۸			۰/۷۸		
نامتعادلی ولتاژ (%)	۱/۱۳			۱/۱۸		
نامتعادلی جریان (%)	۳/۱۲			۳/۸۰		
فرکانس (Hz)	۵۰/۰۴			۵۰/۰۴		



شکل ۲-۴ توان اکتیو و ضریب توان فن دمنده اجباری A واحد ۱

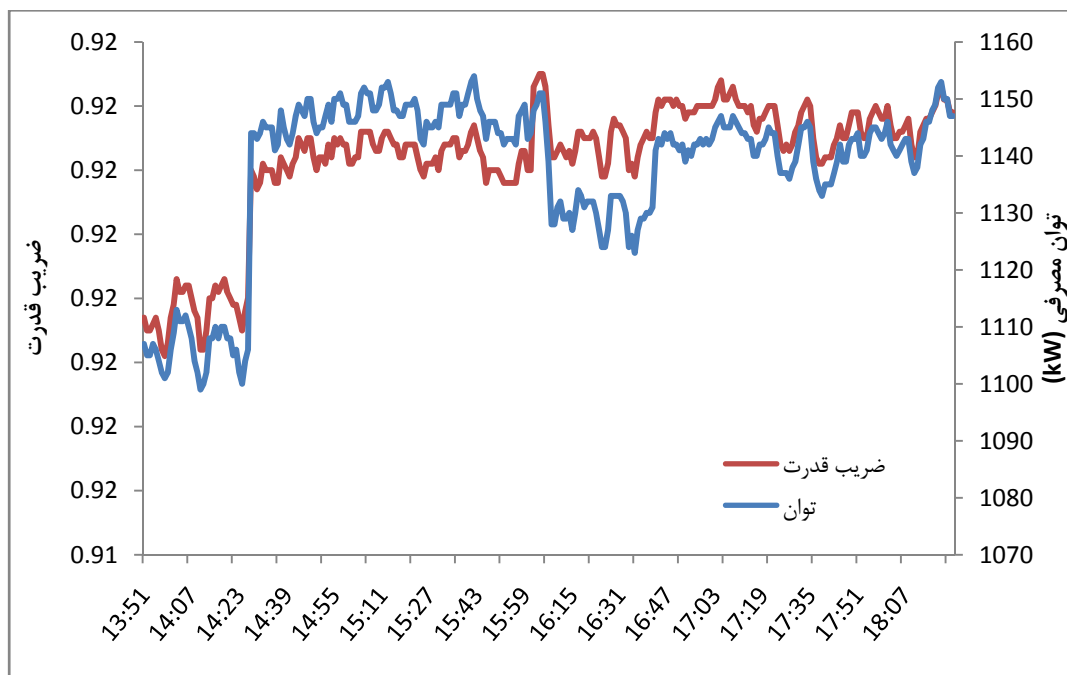


شکل ۴-۳ توان اکتیو و ضریب توان فنهای دمنده اجباری B واحد ۱

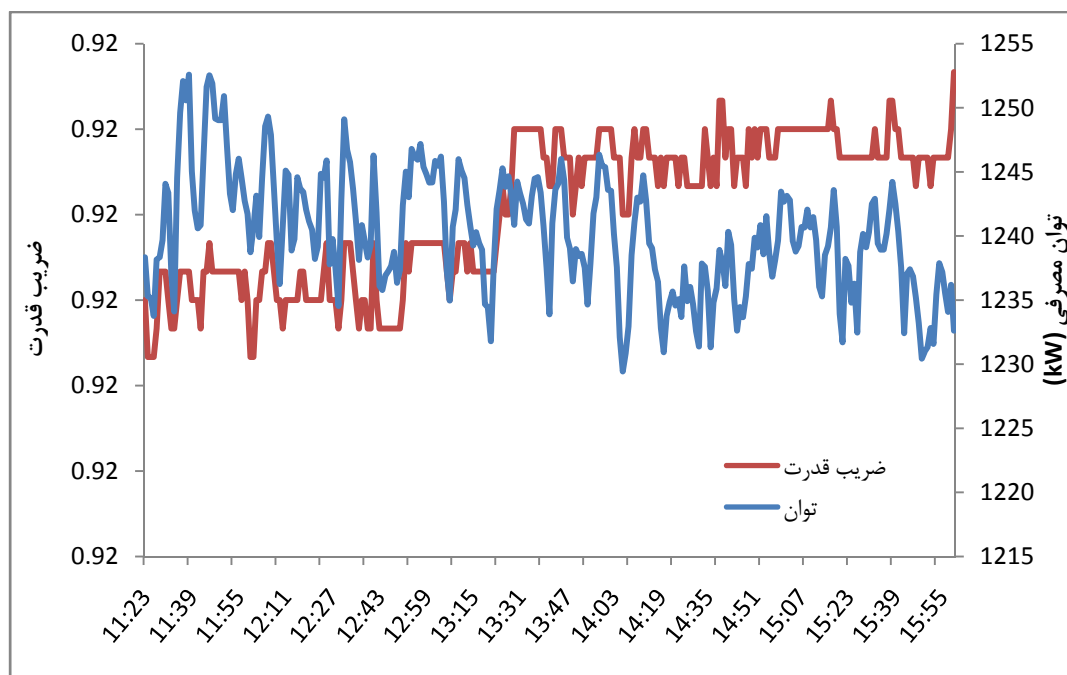
۵- واحد

جدول ۴-۳ متوسط پارامترهای الکتریکی در اندازه گیری همزمان FD فن واحد ۵

پارامتر	FD فن (5NG20D01)			FD فن (5NG40D01)		
	R	S	T	R	S	T
ولتاژ (kV)	۶/۵۵	۶/۵۳	۶/۴۸	۶/۵۲	۶/۵۰	۶/۴۵
جریان (A)	۱۱۱/۶۵	۱۰۸/۴۳	۱۰۸/۱۶	۱۲۰/۶۶	۱۱۶/۱۷	۱۱۸/۵۱
THD ولتاژ (%)	۰/۳۴	۰/۲۵	۰/۴۲	۰	۰	۰
THD جریان (%)	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۴۱	۰/۴۶	۰/۳۲
توان ظاهری (kVA)	۱۲۳۶/۳۷			۱۳۳۲/۶۹		
توان اکتیو (kW)	۱۱۳۷/۶۸			۱۲۲۹/۰۷		
توان راکتیو (kVar)	۴۸۳/۵۸			۵۱۴/۷۷		
ضریب توان	۰/۹۲			۰/۹۲		
نامتعادلی ولتاژ (%)	۰/۶۹			۰/۵۵		
نامتعادلی جریان (%)	۲/۱۳			۱/۷۴		
فرکانس (Hz)	۵۰/۰۳			۴۹/۹۶		



شکل ۴-۴ توان اکتیو و ضریب توان فن دمنده اجباری A واحد ۵



شکل ۴-۵ توان اکتیو و ضریب توان فن دمنده اجباری B واحد ۵

۴-۲ استعلام هزینه

جهت برآورد هزینه خرید و نصب درایو، بهای تجهیز، از نمایندگی رسمی ABB در ایران استعلام گرفته شد که در شکل ۴-۶، تصویر پیشفاکتور آورده شده است. همچنین با توجه به نظر کارشناسان شرکت فوق، ۴۰٪ به مبلغ فاکتور بابت حمل، نصب و آموزش اضافه خواهد شد. بدین ترتیب بهای تقریبی بکارگیری درایو در FD Fan نیروگاه رامین ۱,۶۱۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال تخمین زده می شود.



شرکت ویرا کنترل صنعت

بسمه تعالی

تاریخ: ۸۹/۹/۲۳	به: شرکت محترم نوپان بهینه
شماره: ۱۵۹۶-۸۹	قابل توجه: جناب آقای کاظمی
تلفن: ۰۲۱-۸۸۱۰۴۲۶۴-۵	شماره درخواست: ۶۶۰۸/۱۴۷ مورخه: ۸۹/۵/۲۵
فکس: ۰۲۱-۸۸۱۲۸۰۵۵	تلفن: ۰۵۱۱-۶۰۷۶۲۰۲ فکس: ۰۵۱۱-۶۰۵۵۵۰۲

پیشفاکتور

ردیف	شرح کالا و خدمات	قیمت (ریال)	تعداد	زمان تحویل	قیمت کل (ریال)
1	ABB DRIVES : ACS800-07-0370-7	1,150,000,000	1	3-5 Months	1,150,000,000
2	ABB DRIVES : ACS800-04-0440-7	290,000,000	1	3-5 Months	290,000,000
3	ABB DRIVES : ACS800-04-0320-7	250,000,000	1	3-5 Months	250,000,000
4	ABB DRIVES : ACS800-04-0260-7	200,000,000	1	3-5 Months	200,000,000
5	ABB DRIVES : ACS800-07-1740-7	2,500,000,000	1	3-5 Months	2,500,000,000

*** قیمت های اعلام شده جهت برآورد هزینه می باشد.

اعتبار این پیشنهاد، از نظر قیمت و زمان تحویل ۷ روز می باشد. نه جهت آگاهی از قیمت کالا بوده و به عنوان فاکتور تلقی نمی گردد.

در صورت درخواست فاکتور رسمی ۳٪ مالیات بر ارزش افزوده به مبلغ کل اضافه می گردد.

تحویل پرداخت اقلام آماده تحویل: ۱۰۰٪ مبلغ کل زمان تحویل کالا دریافت خواهد شد.

نحوه پرداخت اقلام مشمول زمان تحویل: ۷۰٪ مبلغ کل به ... و بقیه پرداخت سفرهای کالا و باقی زمان تحویل کالا دریافت خواهد شد.

شماره حساب شرکت: جاری 1949295891 بانک ملت شعبه 65169- بانک پاسارگاد کد ۲۹۶

شماره حساب شرکت: 1949295891 بانک ملت شعبه 65169- دفتر بهشتی به نام شرکت ویرا کنترل صنعت

در صورت تغییر نرخ ارز شرکت در افزایش یا کاهش قیمتها مختار میباشد.



۸۹/۹/۲۳

آدرس: تهران - خیابان میرزای شیرازی، بین خوار و شهید مطهر، در شهید بهشتی، کوچه مقدم، پلاک ۲۲ طبقه دوم
تلفن: ۰۲۱ ۸۸۱۰۴۲۶۴-۵
فکس: ۰۲۱ ۸۸۱۲۸۰۵۵

شکل ۴-۶: تصویر پیشفاکتور درایو

۳-۴ آنالیز اقتصادی توسط نرم افزار Fan Save

در ابتدا اطلاعات طراحی فن و سیستم کنترل موجود، با توجه به جداول مطرح شده در فصل اول وارد بخشهای

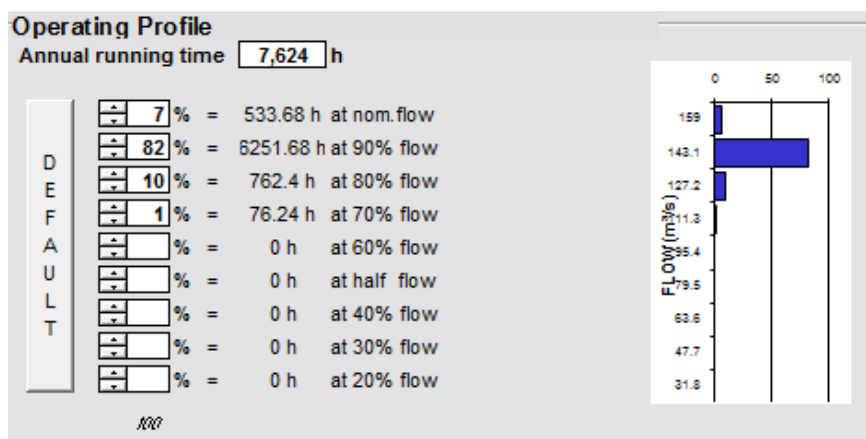
مربوط می شود:

شکل ۴-۷: ورود اطلاعات طراحی فن در نرم افزار Fan Save

اطلاعات پروفیل بار با توجه به نتایج اندازه گیری انجام شده در دوره ۲۴ ساعته که قابل تعمیم به عملکرد سالانه

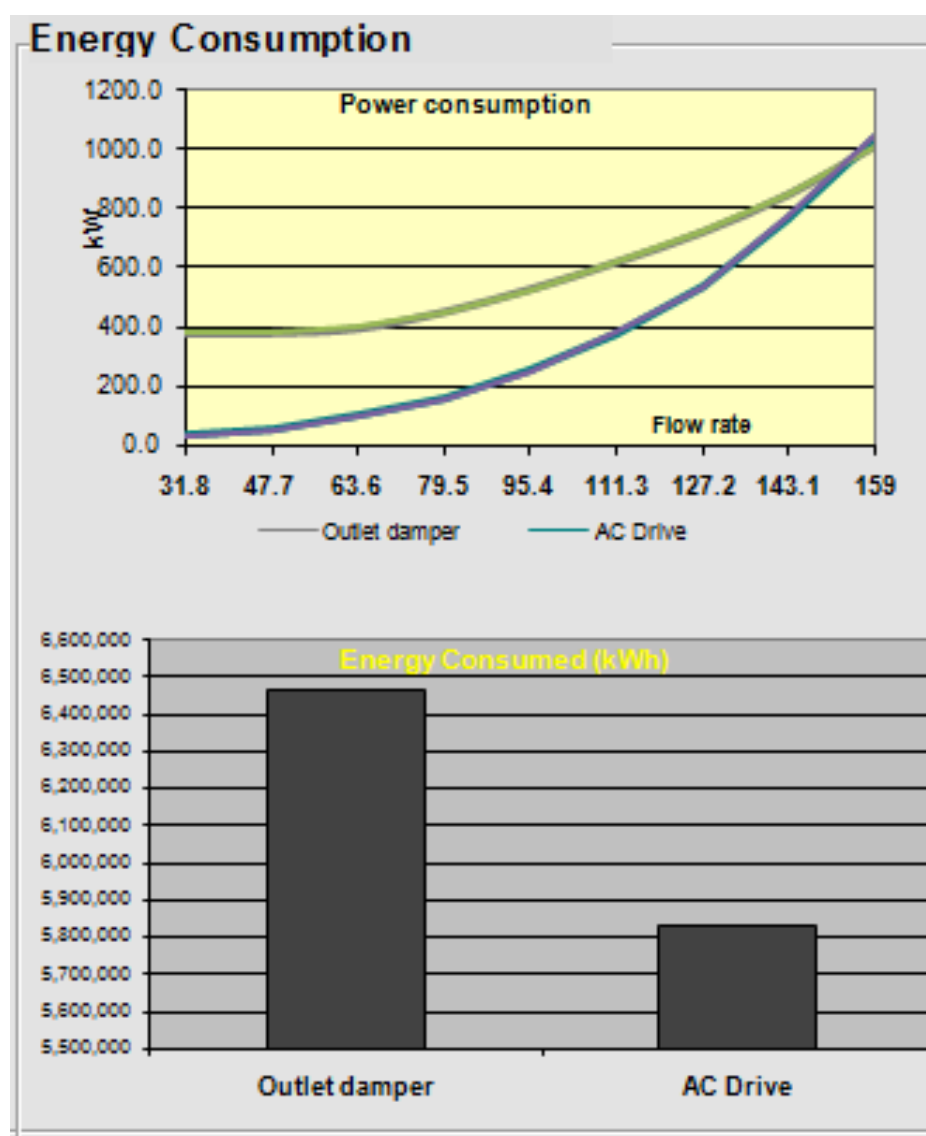
فن می باشد، قابل استحصال است. همچنین میزان ساعات در مدار بودن واحد نیز، متوسط زمان کارکرد شش واحد

نیروگاه رامین در سال ۸۹ در نظر گرفته شده است. در شکل زیر این مقادیر وارد نرم افزار شده است.



شکل ۴-۸: ورود اطلاعات پروفیل بار در نرم افزار Fan Save

با توجه به اطلاعات فوق، نرم افزار امکان مقایسه مصرف انرژی هنگام کنترل توسط دمپر و نصب درایو را به کاربر ارائه می دهد. نمودار نخست در شکل زیر تفاوت توان مورد نیاز در تامین دبی های مختلف را مقایسه می کند و دیگرام بعدی مصرف انرژی سالانه جهت تحقق پروفیل بار به روش کنترل توسط دمپر و استفاده از درایو الکتریکی را ارائه می دهد. نتایج نشان دهنده قابلیت بالای صرفه جویی انرژی به کمک درایو های اینورتری است.



شکل ۴-۹: مقایسه مصرف انرژی و توان در سیستم کنترل با استفاده از دمپر و نصب درایو الکتریکی

اطلاعات اقتصادی نیز با احتساب ۱۴,۰۰۰ ریال به عنوان قیمت واحد یورو به شکل زیر در نرم افزار وارد می شود. همچنین هزینه برق تولیدی نیروگاه با استناد به مرجع [۳۱]، ۵۷۰ ریال به ازای هر کیلووات در نظر گرفته می شود.

Economic Data		
Currency	EUR	
Energy price	0.04	EUR/kWh
Investment cost	115,000	EUR
Interest rate	4.0 %	
Service life	20.0	years

شکل ۴-۱۰: ورود اطلاعات اقتصادی به نرم افزار *Fan Save*

زمان بازگشت سرمایه، پس از اجرای نرم افزار محاسبه می شود.

Economic Results		
Annual saving	25,286	EUR
Payback period	4.5	years
Net present value	228,639	EUR

شکل ۴-۱۱: نتایج حاصله از اجرای نرم افزار *Fan Save*

همانگونه که مشخص است زمان بازگشت سرمایه، ۴/۵ سال محاسبه شد. با توجه به در نظر گرفتن نرخ بهره در این نرم افزار، مدت زمان بازگشت سرمایه مناسب می باشد. لذا استفاده از درایو الکتریکی در *FD Fan* نیروگاه رامین، علاوه بر کاهش مصرف انرژی و آلاینده‌گی، از دیدگاه اقتصادی نیز توجیه پذیر است.

نتایج و پیشنهادات

بهینه سازی مصرف انرژی در سمت تولید می تواند به عنوان راهکاری مناسب جهت کاهش مصرف سوخت های فسیلی و صدمات ناشی از آن بر محیط زیست باشد. یکی از راهکارهای کاهش مصرف انرژی در نیروگاه ها، بکارگیری درایوهای اینورتری است. سیستم مرسوم کنترل دبی فن و پمپ ها در نیروگاه، به ترتیب استفاده از دمپر و کنترل ولو است. در این سیستم، الکتروموتور با سرعت نامی در مدار بوده و جهت دستیابی به دبی مطلوب، مانعی مانند دمپر و یا کنترل ولو در مسیر سیال قرار می گیرد که باعث هدر رفتن انرژی می گردد. استفاده از سیستم کنترل دور موتور محرک پمپ یا فن توسط درایو الکتریکی، منجر به حذف تجهیزات فوق شده و می تواند صرفه جویی عظیم انرژی به همراه داشته باشد. لیکن بایستی توجه گردد که بکارگیری درایو از دیدگاه فنی و اقتصادی توجیه پذیر باشد.

در این پروژه، جوانب فنی و اقتصادی بکارگیری درایو در *FD Fan* نیروگاه رامین اهواز مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی موارد فنی و پاسوخنمایی سیستم، درایو مطلوب، موتور و فن در محیط سیمولینک متلب شبیه سازی شد. نتایج شبیه سازی حاکی از کنترل مناسب دبی توسط درایو می باشد. همچنین جهت ارزیابی فنی، پس از اندازه گیری های انجام شده در خصوص میزان مصرف انرژی *FD Fan* و یافتن پروفیل بار، هزینه خرید و نصب درایو استعلام شده و موارد فوق در نرم افزار *Fan Save* که مخصوص آنالیز اقتصادی است، وارد شد. نتایج حاصله از نرم افزار فوق نشان داد که هزینه سرمایه گذاری در مدت ۴/۵ بازگشت داشته و بکارگیری درایو در فن دمنده اجباری نیروگاه رامین، از دیدگاه اقتصادی نیز توجیه پذیر است.

همچنین نتایج حاصل از مدلسازی واحد در محیط *Termoflow* بیانگر افزایش ۰/۰۴ درصدی راندمان واحد پس از نصب درایو روی موتور *FD Fan* می باشد. این افزایش راندمان موجب ایجاد ظرفیت در شبکه برق کشور شده و باعث صرفه جویی در هزینه خرید و احداث واحدهای نیروگاهی جدید می گردد.

با توجه به نتایج حاصله از این پژوهش، پیشنهاد می شود استفاده از درایو در سایر بخش های نیروگاهی نظیر الکتروفیدپمپ، کندانسیت پمپ، بوستر پمپ، دریناژ پمپ و اجکتور پمپ نیز امکانسنجی گردد. پیش بینی می شود

در صورت اقتصادی بودن استفاده از درایو در موارد فوق، گام بلندی در افزایش بهره وری واحدهای نیروگاهی کشور برداشته شود.

همچنین تعیین ارزش ریالی افزایش توان تولیدی واحدهای نیروگاهی، منجر به آنالیزهای اقتصادی واقعی تر شده و می تواند به پژوهشگران در یافتن بازگشت سرمایه از دیدگاه ملی، کمک کند.

مراجع

- [1] P. C. Sen, "Principles of Electric Mashines and Power Electronics", New York, Wiley, 1988.
- [2] B. K. Bose, "Power Electronics and AC Drives" Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1986.
- [3] D. A. Paice, "Induction motor speed control by stator voltage control" IEEE Trans. Power App. Syst., vol PAS-87, pp. 585-590, Feb. 1968.
- [4] S. B. Dewan, G. R. Slemon, and A. Straughen, "Power Semiconductor Drives" New York, Wiley Interscience, 1984.
- [5] A. Abbondant, "Method of flux control in induction motors driven by variable frequency variable voltage supplies" in Proc. IEEE/IAS Int. Semicond. Power Conv. Conf. 1977, pp. 177-184.
- [6] K. P. Phillips, "Current-source converter for ac ac motor drives" IEEE Trans. Industry Appl. Vol 1A-8, pp 679-683, Nov 1972.
- [7] F. Blaschke, "The principle of field orientation as applied to the new transvector closed-loop control system for rotating-field machines," Siemens Rev., 1972.
- [8] K. Hasse, "Zum Dynamischen Verhalten der Asynchronmaschine bei Betriek Mit Variabler Standerfrequenz und Standerspannung," ETZ-A , Bd. 9, p. 77, 1968.
- [9] A. B. Plunkett, J. D. D'Atre and T. A. Lipo, "Synchronous control of a static ac induction motor drive," IEEE Trans. Industry Appl., vol. 1A-15, pp. 430-437, 1979.
- [10] S. Yamamura and T. Nakagawa, "Equivalent circuit and field acceleration method of ac servomotor by means of induction motor," Trans. IEE Japan, vol. 102-B, no. 7, pp. 439-333, 1985.
- [11] I. Takahashi and T. Noguchi, "A new quick response and high efficiency control strategy of an induction motor," in Proc. IEEE/IAS Ann. Conf. Rec., 1985, pp. 496-502.
- [12] E. Ho and P. C. Sen, "Decoupling control of induction motor drives," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 35, no. 2, pp. 253-262, 1988.
- [13] P. C. Sen and K. H. J. Ma, "Rotor chopper control for induction motor drive: TRC strategy," IEEE Trans, Industry Appl., vol. 1A-11, no. 1, pp. 43-49, Jan. 1975
- [14] W. Leonhard, Control of Electric Drives. New York: Springer-Verlag, 1984.

-
- [15] T. Minav, P. Immonen, L.Laurila, V.Vtorov, J. Pyrhonen, M. Niemela "Electric energy recovery system for a hydraulic forklift- theoretical and experimental evaluation", *IET Electric Power Applications*, vol. 5, pp. 377-385, 2011.
- [16] Massimo Ceraolo, Antonio di Donato, and Giulia Franceschi, "A General Approach to Energy Optimization of Hybrid Electric Vehicles", *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, Vol. 57, No. 3, May 2008.
- [17] Sheldon S. Williamson, Ali Emadi, Kaushik Rajashekara, "Comprehensive Efficiency Modeling of Electric Traction Motor Drives for Hybrid Electric Vehicle Propulsion Applications", *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, Vol 56, No. 4, July 2007.
- [18] C. C. Chan, K. T. Chau , "An Overview of Power Electronics in Electric Vehicles", *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, vol. 44. No. 1. February 1997.
- [19] Ulrich Buskies "The efficiency of coal-fired combined-cycle power plants", *Applied Thermal engineering*, Volume 16, Issue 12, 959-974, 1996.
- [20] James A.Oliver and Marek.J.Samotyj, "Proven criteria imperative to the application of ASDs to large power plant motor system", *IEEE trans on Energy Conversion*, Vol. 6, No. 1, pp. 90-98, 1991.
- [21] Wayne L.Stebbina, "Are you certain you understand the economics for applying ASD systems to centrifugal loads", *IEEE*, pp. 1-8, 2005.
- [۲۲] اباذر دهقان پور، مهدی ظریف، ابوالفضل قاسمی، محمد حسین جاویدی، "افزایش بهره‌وری پمپهای واحد الین نیروگاه مشهد با استفاده از درایوهای اینورتری"، بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق PSC2009، تهران، ایران، ۱۳۸۸.
- [۲۳] محمدرضا بیات، علی یزدیان ورجانی، مصطفی محمدیان "بهینه سازی مصرف انرژی فن هوای بویلر با سیستم ASD"، اولین کنفرانس صنعت نیروگاه های حرارتی، اردیبهشت ماه سال ۱۳۸۸، تهران.
- [۲۴] مجتبی کاهنی، محمد حداد ظریف، احمد دارابی، نعیمه فخرشاملو، جعفر ذوالفقاری، "مقایسه روشهای مختلف بکارگیری VSD در کندانسیت پمپ نیروگاه رامین"، بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق PSC2010، تهران، ایران، ۱۳۸۹.
- [۲۵] شرکت تکنوپروم، "دستورالعمل های بهره برداری نیروگاه رامین"
- [26] Bellman, R. E., and S. E. Dreyfus "Applied Dynamic Programming", Princeton University Press, 1962.

[27] Shames, Irving Herman, "Mechanics of fluids", McGraw-Hill, 1962.

[28] Chen BJ, Chang MW, Lin CJ. "Load forecasting using support vector machines: A study on EUNITE competition 2001" *IEEE Trans Power Syst.*, Vol 19, PP 1821-1830, 2004.

[29] Kandi MS, El-Debeiky SM, Hasanien NE. "Long-term load forecasting for fast developing utility using a knowledge-based expert system" *IEEE Trans Power Syst*, Vol 17, pp 491-496, 2002.

[30] www.abb.com/fansaveusermanual

[31]

www.igmc.com

Abstract:

Energy management is hugely considered in Iran and other countries recently. Power plants as electrical energy providers are themselves one of the main consumers. So power saving plans in power plants is proposed as an effective strategy in reducing fuel consumption.

Replacing old flow control systems with electric drives can lead to tremendous power save due to numerous usages of pumps and fans in power generation. In this study, substitution of old flow control system in Ramin power plant forced draft fan which uses damper to control, with electric drive is discussed.

For technical study of new control system, fan, drive and electromotor was simulated in MATLAB. Result show that the system has good response in tracking variations of set points.

Due to high cost of purchase and installation of suitable drive for FD Fans, investment must be explainable. So Fan Save software was used to compute the payback time. Result states that utilization of electric drive in FD fan is economical.

Another point of view in this research was the effect of electric drive installation on unit efficiency. To compute that, Ramin power plant was modeled in Termoflow software and effect of control system change was discussed.



Shahrood University of Technology

School of Electrical, Electronic & Robotic Engineering

***Design of an optimal fuzzy controller for boiler
combustion of steam power plants***

Mojtaba Kaheni

Supervisor:

Mohammad Haddad Zarif (PhD)

Advisor:

Ahmad Darabi (PhD)

September 2011