

شبیه سازی پایای نیروگاه بخار بندر عباس و آنالیز تاثیر بازده تجهیزات گردان

احسان اسمعیلی^۱، عبدالحمید انصاری نسب^۲، فواد نصوری^۱، رضا بری شهواری^۳

۱ شرکت مدیریت تولید برق هرمزگان

۲ دانشگاه هرمزگان

۳ دانشگاه علمی کاربردی، بندرعباس

چکیده

در این مطالعه، ابتدا معادلات بقای جرم و انرژی حاکم بر هر یک از اجزا نیروگاه بخار بندرعباس استخراج و کل سیکل تولید انرژی به صورت پایا در نرم افزار EES شبیه سازی شده است. توان هر یک از اجزا اصلی نیروگاه جهت بررسی توزیع انرژی در سیکل به صورت جز به جز محاسبه و گزارش شده است. بعلاوه مقادیر انتقال حرارت ردوبدل شده در هر یک از گرمکن ها و ریهیت بویلر محاسبه و توزیع و رفتار گرمایی هر یک از گرمکن های مختلف نیروگاه مورد تحلیل قرار گرفته است. با استفاده از نتایج بدست آمده، محاسبات توان کل نیروگاه نیز انجام شده و بازده نیروگاه به دست آمده است. در انتها نیز تاثیر حساسیت بازده هر یک از پمپ ها و توربین ها (فشار قوی، متوسط و ضعیف) بر بازده کل نیروگاه تحلیل و میزان تغییرات بازده نیروگاه نسبت به تغییرات بازده این اجزا گزارش شده است.

واژه های کلیدی: شبیه سازی پایا، بازده، گرمکن، سیکل حرارتی

۱- مقدمه

فناوری پیچیده تر را دارا هستند، همیشه مورد توجه محققین و پژوهشگران قرار داشته اند.

باید توجه داشت که نیروگاه بخار نوعی از نیروگاه است که معمولاً از بخار به عنوان سیال و عامل محرک استفاده می کند. آب پس از گرم و بخار شدن به سمت توربین بخار که به یک ژنراتور متصل شده می رود و با استفاده از انرژی جنبشی خود آن را به حرکت در می آورد. پس از عبور بخار از توربین، بخار در کندانسور فشرده می شود.

طی دهه های اخیر تامین انرژی برق به یک رکن راهبردی، علمی و صنعتی مهم در سیاست گذاری های کشور بدل شده است. به همین جهت صنعت برق در اسناد بالادستی و برنامه های توسعه ای در ابعاد وسیع و از جنبه های مختلف مورد توجه قرار گرفته است. در این میان نیروگاه های بخار و سیکل ترکیبی به دلیل که عموماً دارای ظرفیت تولید برق بالایی میباشند و

می‌یابد. در نیروگاه بندرعباس بعد از تصفیه نهایی، آب به وسیله پمپ فیلینگ وارد بویلر شده و جریان آب درون لوله های بویلر و سرتاسر سیکل را پشتیبانی می کند. پمپ دیگری نیز بین گرمکن باز و گرمکن بسته بعد از آن جهت تغذیه گرمکن باز مورد استفاده قرار می گیرد. با نوشتن معاله انرژی برای هر پمپ دلخواهی می توان به رابطه (۱) رسید.

$$\dot{W}_{pump} = \dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_2 h_2 \quad (1)$$

۲-۲- هیتربسته

از زیر قسمت های مختلف توربین زیر کش هایی گرفته شده است که برای گرم کردن آب تغذیه بویلر توسط هیتربسته انجام استفاده می شوند. آب وارد ۳ زوج هیتربسته های فشار قوی و ۳ زوج فشارضعیف (هریک به صورت موازی با زوج خود) و دیری تور شده و طی این فرایند قبل از ورود به بویلر گرم می شوند.

(۲)

$$\dot{m}_{g-inlet} h_{g-inle} + \dot{m}_{l-nextHE} h_{l-nextHE} - \dot{m}_{l-to con} h_{l-to con} = \dot{m}_{l2} h_{l2} - \dot{m}_{l1} h_{l1}$$

۲-۳- هیترباز

هیترباز (دی اریتور) دستگاهی است که علاوه بر گرمایش آب رودی بویلر توسط بخار های توربین، جهت تخلیه اکسیژن و سایر گازهای موجود در آب فید واتر استفاده می شود.

(3)

$$\dot{m}_{g-inlet} h_{g-inle} + \dot{m}_{l-inlet} h_{l-inlet} + \dot{m}_{l-heater} h_{l-heater} - \dot{m}_{l-out} h_{l-out} = 0$$

۲-۴- بویلر

بویلر نیروگاه دارای درام بالائی و پائینی بوده و آب به صورت گردش اجباری توسط ۳ پمپ سیرکوله در لوله های واتروال، سوپرهیترب و ریبهیت جریان می یابد. طی این فرایندها، آب حرارت را جذب کرده و به بخار تبدیل می گردد. درام بخار جایی است که بخار از آب جدا می شود. از درام بالایی، بخار اشباع خارج و به سوپرهیت وارد می شود، بخار اشباع از قسمت های متعدد لوله های سوپرهیت کننده عبور کرده و در معرض حرارت محفظه احتراق و گازهای حاصل از احتراق قرار می دهد. دمای بخار در ۵۴۰ درجه سانتی گراد نگه داشته می شود و جهت

طی سالهای اخیر، شبیه سازی و مدل سازی نیروگاه های برق مورد توجه تعداد زیادی از محققین قرار گرفته است. نگاه اول در شبیه سازی نیروگاه ها عمدتاً شامل شبیه سازی ریاضی سیکل کلی فرایند تولید نیرو می باشد. برای مثال علوی [۱]- [۲] با نوشتن معادلات استاتیکی و دینامیکی مربوط به بخش های مختلف هیدرومکانیکال نیروگاه برق آبی کارون ۳ و ۴، مدل ریاضی نیروگاه برق آبی قابل تطبیق را بدست آورده است. سپس با استفاده از مشخصه های فنی استخراج شده از اطلاعات و نقشه های نیروگاه ها، پارامترهای مورد نیاز برای مدل ریاضی سیستم را استخراج کرده و در نهایت مدل دینامیکی بخش هیدرومکانیکال نیروگاه برق آبی کارون ۳ و ۴ ارائه و شبیه سازی کرده است. بعلاوه، فروغ زاده [۳] سیکل نیروگاه بخارپتروشیمی خراسان با ظرفیت MW32 را که براساس چرخه رانکین کار می کند مورد بررسی قرار داده و با استفاده از معادلات بالانس جرم انرژی برای هر یک از اجزای سیکل میزان تلفات انرژی و بازده سیکل به دوروش دستی و نرم افزار شبیه ساز ترموفلو محاسبه کرده است. وهاب [۴] نیز با مدل سازی پایا و دینامیک یک نیروگاه سیکل ترکیبی به بررسی تولید آلاینده های خروجی از نیروگاه و مقایسه عملکرد نیروگاه در این دو حالت پرداخته است. شایان ذکر است که در نگاه دوم سعی در شبیه سازی عددی اجزای تشکیل دهنده نیروگاه بصورت جز به جز می باشد. برای مثال [۵] مدل سازی عددی بویلر نیروگاه توس را جهت بررسی اثر قطر ذرات سوخت و دبی هوای ورودی بر راندمان احتراق و میزان تولید و انتشار آلاینده های اکسیدهای ازت و دوده را در ذیل نگاه دوم (شبیه سازی عددی) انجام داده است.

هدف از تعریف و مطالعه نیروگاه حرارتی در این پروژه بررسی عملکرد پایای نیروگاه بخار بندرعباس و تاثیر اجزای تشکیل دهنده ی سیکل های ترمودینامیکی و مکانیکی سیستم بر بازده و تغییرات توازن انرژی در سیکل تولید نیرو در قالب نگاه اول (مدلسازی ریاضی) می باشد.

۲- معرفی روابط و اجزای نیروگاه بخار

در این بخش به معرفی اجزای اصلی یک نیروگاه بخار پرداخته و سعی گردیده است که معادلات حاکم (انرژی و جرم) بر هر یک از قطعات موجود در سیکل نیروگاه تشریح شود.

۲-۱- پمپ

به طور کلی پمپ به دستگاهی گفته می شود که انرژی مکانیکی را از یک منبع خارجی گرفته و به سیالی که از آن عبور می کند، انتقال دهد. در نتیجه، انرژی سیال پس از خروج از پمپ افزایش

نمودار با دقت بالا و تحلیل عدم اطمینان را انجام دهد و حتی انیمیشن‌های مهندسی بر پایه محاسبات بسازد.

برنامه EES با برنامه‌های محاسباتی دیگر دو تفاوت عمده دارد. اول اینکه EES با دسته بندی معادلات باعث ساده‌تر شدن کار برای کاربر می‌گردد و همچنین حل معادلات را در بهترین حالت تضمین می‌کند. دوم اینکه EES دارای توابع ریاضی و ترمودینامیکی و مکانیکی مفید زیادی است که می‌تواند محاسبات مهندسی را بسیار آسان کند. خواص ترمودینامیکی مواد زیادی بصورت داخلی در این برنامه وجود دارد؛ برای مثال همه خواص ترمودینامیکی جدول بخار و مایعات مبرد مختلف و بسیاری از مواد دیگر در EES قابل استفاده است. برنامه EES خواص هوا و توابع سایکرومتریک و داده های جدول JANAF برای بسیاری از گازها و همچنین جامدات را دارا می‌باشد و انجام محاسبات سایکرومتریک و رسم نمودارهای آنها را بسیار ساده کرده است.

۴- نتایج

در این بخش از مطالعه به ارزیابی نتایج شبیه سازی و شرایط کاری نیروگاه می‌پردازیم. ابتدا هر یک از اجزای نیروگاه (شامل روابط ۱ تا ۶) را به عنوان یک جز در گرفته و به یکدیگر متصل می‌نماییم. این اجزا شامل پمپ، هیترهای بسته و باز، بویلر، توربین و کندانسور می‌باشد. در جدول ۱ تعداد و بازده فرض شده در شبیه سازی برای این قطعات آورده شده است.

جدول ۱- نوع، تعداد و بازده هر یک از اجزا

ردیف	نام جز	تعداد	بازده
۱	پمپ	۲	۹۰
۲	هیتر بسته	۶	۱۰۰
۳	هیتر باز	۱	۱۰۰
۴	بویلر	۱	۱۰۰
۵	توربین (HP)	۱	۸۵
۶	توربین (IP)	۱	۸۵
۷	توربین (LP)	۱	۸۵
۸	کندانسور	۱	۱۰۰

در شکل ۱ نمایی کلی از نیروگاه و اجزای شبیه سازی شده نشان داده شده است.

کنترل دمای لوله ها با آب با دمای پایین تری (از دمای بخار) اسپری می‌گردد.

(۴)

$$\dot{Q}_{Boiler} + \dot{m}_{inlet-Bo} h_{inlet-Bo} - \dot{m}_{outlet-Bo} h_{outlet-Bo} = 0$$

۲-۵- توربین

نیروگاه از نوع ترکیب متوالی فشار قوی، فشار متوسط و فشار ضعیف می‌باشد که توربین فشار قوی و فشار متوسط در یک پوسته قرار گرفته و در پوسته دیگر توربینهای فشار ضعیف قرار دارند. بخار از طریق دو عدد شیر اصلی در دو طرف توربین و شش عدد شیر کنترل وارد توربین فشار قوی شده و بعد از انبساط در چندین طبقه از توربین به بویلر بر می‌گردد. سپس وارد توربین فشار متوسط شده و بعد از انبساط توسط یک لوله مشترک وارد توربین فشار ضعیف گردیده و به طرف کندانسور می‌رود.

(۵)

$$\dot{m}_{inlet-Turbine} h_{inlet-Turbine} - \dot{m}_{outlet-Turbine} h_{outlet-Turbine} - \sum \dot{m}_{Drain} h_{Drain} = 0$$

۲-۶- کندانسور

کندانسور دستگاهی است که در آن بخار خارج شده از موتورها و توربین ها متراکم می‌شود و هوا و سایر گازهای نامتراکم در یک فرآیند مداوم از بین می‌روند.

(۶)

$$\dot{m}_{inlet-from-Turbine} h_{inlet-from-Turbine} - \dot{m}_{out\ to\ pump} h_{out\ to\ pump} + \sum \dot{m}_{from-openHeater} h_{from-openHeater} + \dot{Q}_{Cond} = 0$$

۳- شبیه سازی رایانه ای

در این مطالعه از نرم افزار EES جهت محاسبات ترمودینامیکی و حرارتی نیروگاه استفاده شده است. EES مخفف Engineering Equation Solver است. ساده ترین قابلیت EES حل دستگاه معادلات جبری (شامل معادلات غیر خطی) است. همچنین EES می‌تواند معادلات دیفرانسیل و معادلات مختلط را حل کند، محاسبات بهینه‌سازی، رگرسیون خطی و غیرخطی، رسم

جدول ۴- قبل از توربین فشار متوسط

پارامتر	مقدار شبیه سازی	مقدار واقعی نیروگاه	خطا (درصد)
دما (C)	۳۲۲	۳۲۳	۰/۳
دبی (Kg/s)	۲۰۶۶	۲۰۷/۴۳	۰/۴

همانگونه که از جداول ۲ تا ۴ بخوبی مشخص است، نزدیکی قابل قبولی بین نقاط اندازه گیری شده و نتایج شبیه سازی شده وجود دارد. خطای موجود در دما برای نقاط بعد از توربین فشار قوی کمتر از ۲/۵ درصد می باشد.

۴-۲- نتایج شبیه سازی پایای نیروگاه

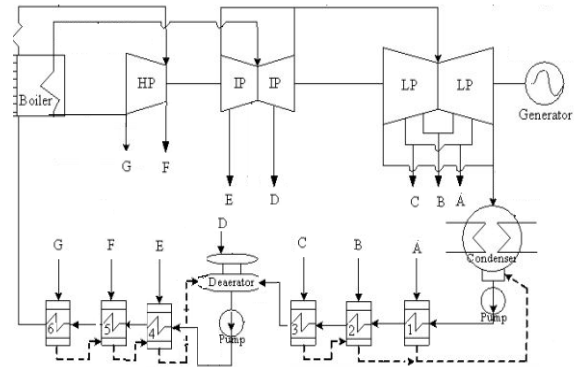
در جدول ۵ توان هر یک از اجزای شبیه سازی شده در حالت پایا و کاری نیروگاه به تفکیک نشان داده شده است. با استفاده از جدول ۵ می توان مقادیر تولیدی و مصرفی سیستم را به صورت جز به جز نشان داد.

جدول ۵- توان اجزای اصلی نیروگاه به صورت جز به جز

ردیف	نام جز	توان (کیلو وات)
۱	پمپ کندانسور	-۱۴۲/۳
۲	بویلر فید پمپ	-۶۹۹۶
۳	بویلر	۶۲۷۸۰۸
۴	توربین (HP)	۱۰۳۷۴۵
۵	توربین (IP)	۱۰۱۰۷۶
۶	توربین (LP)	۱۲۵۳۶۳
۷	کندانسور	-۳۸۵۲۸۷

۴-۳- انتقال حرارت در گرمکن ها و ریهیت

همانگونه که گفته شد، نیروگاه بندرعباس دارای دو سری ۳ تایی هیتر (فشار ضعیف و فشار قوی) و یک سیستم ریهیت برای باز گرم کردن بخار خروجی از توربین فشار قوی میباشد. در این بخش از مطالعه مقادیر انتقال حرارت ردوبدل شده در هر یک



شکل ۱: نمای کلی نیروگاه شبیه سازی شده

۴-۱- صحت سنجی

جهت اطمینان از حل صحیح معادلات و صحت نتایج شبیه سازی، مقادیر دما و دبی در نقاط مختلف سیکل استخراج شده و با نتایج حاصل از نقشه های نقشه تعادل حرارتی نیروگاه^۱ در بار ۳۲۰ (C557-LA 05) مقایسه خواهد شد.

جدول ۲- قبل از ورودی بویلر

پارامتر	مقدار شبیه سازی	مقدار واقعی نیروگاه	خطا (درصد)
دما (C)	۲۷۸	۲۹۱	۴/۴
دبی (Kg/s)	۲۸۸/۹	۳۰۵	۵

جدول ۳- بعد از توربین فشار قوی

پارامتر	مقدار شبیه سازی	مقدار واقعی نیروگاه	خطا (درصد)
دما (C)	۳۱۸/۹	۳۲۶	۲/۵
دبی (Kg/s)	۲۳۵/۷	۲۴۵/۸	۴

^۱ Heat Balance

از گرمکن ها و ریهیت بویلر محاسبه و به تفکیک نمایش داده شده است.

می‌گردد. نرخ حرارتی معکوس بازده است و هرچقدر نرخ حرارتی کمتر باشد بهتر است.

با مراجعه به نقشه تعادل حرارتی نیروگاه^۲ در بار ۳۲۰ (C557-LA 05)، نرخ حرارتی برابر ۱۹۳۲.۲ kCal/kWh مشخص شده است. برای محاسبه بازده نیروگاه در بار ۳۲۰ MW نرخ حرارتی را به شکل زیر بی بعد و معکوس می‌نماییم.

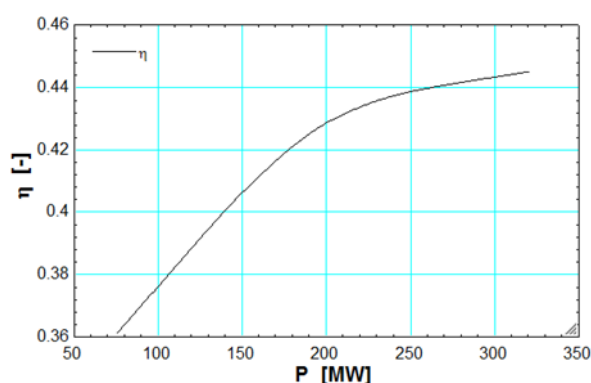
(۷)

$$HeatRate = 1932.2 \left[\frac{kCal}{kWh} \right] \cdot 0.001163 \frac{kWh}{kCal} = 2.247[-]$$

$$\eta = 1 / HeatRate = 0.445[-]$$

یعنی بازده واحد در بار ۳۲۰ مگاوات ۴۴/۵٪ است. بازده واحد به بار بستگی دارد و این بازده در بارهای مختلف متفاوت است. بازده بدست آمده از نقشه تعادل حرارتی نیروگاه (C557-LA) در بارهای مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است.

در شبیه سازی حاضر با محاسبه کل کار تولید شده و انرژی مصرف شده در یک سیکل تولید انرژی می توان بازده حرارتی نیروگاه بخار بندرعباس را براحتی محاسبه کرد. کار تولیدی شبکه برابر با ۳۲۳۰۷۲ کیلووات و کل انتقال حرارت سیکل مقدار ۷۶۴۴۴۱ کیلووات می باشد. با توجه به مقادیر ذکر شده، میزان راندمان بدست آمده از شبیه سازی پایا در مطالعه حاضر برابر با ۴۲/۲۶ درصد می باشد.



شکل ۲: تغییرات بازده بر حسب بار که بر اساس اطلاعات نقشه-های تعادل حرارتی نیروگاه بندرعباس

جدول ۶- میزان تفکیکی انتقال حرارت در هیتر ها و ریهیت

ردیف	نام جز	توان (کیلو وات)
۱	گرمکن فشار ضعیف ۱	۸۴۷۰
۲	گرمکن فشار ضعیف ۲	۱۸۶۲۱
۳	گرمکن فشار ضعیف ۳	۲۸۶۹۰
۴	گرمکن فشار قوی ۱	۴۴۱۰۵
۵	گرمکن فشار قوی ۲	۵۰۵۸۲
۶	گرمکن فشار قوی ۳	۵۶۰۳۳
۷	ریهیت	۱۳۶۶۳۳

همانگونه که انتظار می رفت انتقال حرارت در گرمکن های فشار ضعیف کمتر از گرمکن های فشار قوی بوده است. میزان افزایش انتقال حرارت در طول عبور از هر گرمکن های فشار ضعیف به صورت تقریبی ۱۰۰۰۰ کیلووات می باشد. یعنی توان هر گرمکن فشار ضعیف به میزان ۱۰۰۰۰ اضافه می گردد. در گرمکن های فشار قوی میزان انتقال حرارت بسیار بیشتر از گرمکن های فشار ضعیف می باشد. اما میزان افزایش انتقال حرارت برای هر یک از گرمکن ها برابر با میزان تقریبی ۵۰۰۰ کیلووات برای هر گرمکن می باشد که تقریباً برابر با نصف مقدار بدست آمده برای گرمکن های فشار ضعیف است. بطور خلاصه، اگر چه میزان انتقال حرارت در گرمکن های فشار قوی بسیار بیشتر از گرمکن های فشار ضعیف است اما میزان تغییرات انتقال حرارت برای هر یک از گرمکن های فشار ضعیف (شماره ۱ و ۲ و ۳) برابر این میزان تغییرات برای گرمکن های فشار قوی است. به عبارت دیگر گرمکن های فشار قوی میزان انتقال حرارت یکسان تری نسبت به گرمکن های فشار ضعیف با یکدیگر دارند.

۴-۴ بازده کل نیروگاه

معمولاً در نیروگاه‌ها از اصطلاح نرخ حرارتی برای بیان بازده نیروگاه استفاده می‌گردد. بازده بی بعد است و معمولاً بر حسب [%] بیان می‌شود و نرخ حرارتی معمولاً با [GJ/GWh] بیان

^۲ Heat Balance

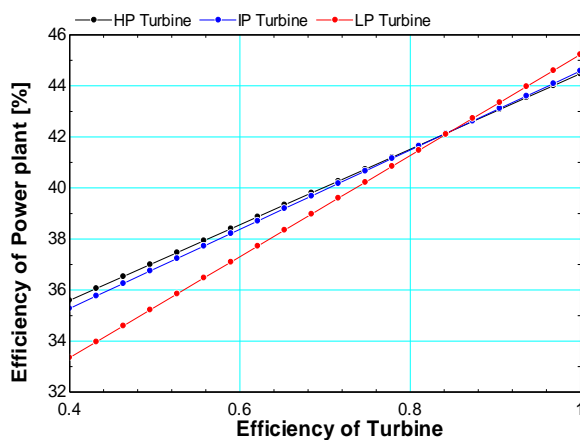
با توجه به شکل ۲ و میزان بازده محاسباتی در این مطالعه، میزات خطای محاسبه بازده نیروگاه کمتر از ۵ درصد می باشد.

۴-۵- تاثیر بازده پمپ ها بر بازده کل نیروگاه

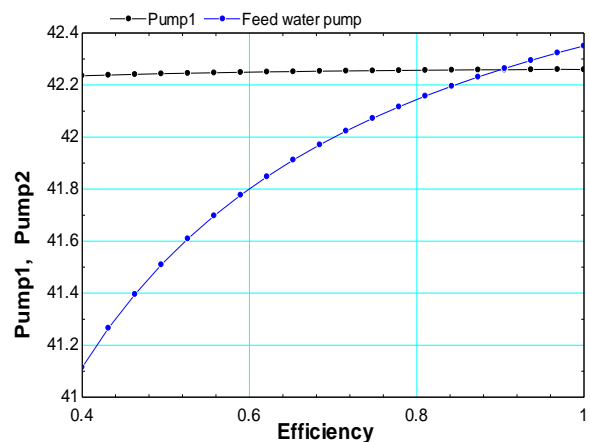
تا پیش از این در شبیه سازی سیکل نیروگاه بازده کاری هر دو پمپ نیروگاه برابر با ۹۰ درصد در نظر گرفته شده بود. این دو پمپ CEP^2 و دیگری پمپ BFP^4 می باشند. در این بخش به ترتیب بازده هر کدام از پمپ ها تغییر داده می شود (در حالیکه بازده دیگری ۹۰ درصد است) و میزان تاثیر تغییرات بازده هر پمپ بر بازده کل نیروگاه را نشان داده خواهد شد.

۴-۶- تاثیر بازده توربین ها بر بازده کل نیروگاه

همانگونه که در شکل ۴ نشان داده شده است بازده نیروگاه حساسیت بسیار بیشتری به راندمان توربین ها دارد. ۳۰ درصد تغییر در بازده توربین فشار قوی، فشار متوسط و فشار ضعیف (از ۵۰ تا ۸۰ درصد) می تواند بازده نیروگاه را به ترتیب ۴/۶، ۴/۸۵ و ۶/۱۸ درصد تغییر دهد (بازده یکی از توربین ها را تغییر داده و بازده دیگر توربین ها مقدار ثابت ۹۰ درصد را دارند). در بین توربین ها، میزان حساسیت به تغییرات توربین فشار ضعیف اندکی بیشتر از دیگر توربین ها بر عملکرد نیروگاه است. این می تواند به مقدار بیشتر انرژی تولید شده توسط توربین فشار ضعیف باز گردد.



شکل ۴- تغییرات بازده نیروگاه نسبت به تغییرات توربین (در هنگام تغییر بازده هر توربین، بازده دیگری ثابت و برابر ۸۵ درصد در نظر گرفته شده است)



شکل ۳- تغییرات بازده نیروگاه بر حسب تغییرات بازده هر یک از پمپ ها (در هنگام تغییر بازده هر پمپ، بازده دیگری ثابت و برابر ۹۰ درصد در نظر گرفته شده است)

۵- نتیجه گیری

در این مطالعه، ابتدا معادلات بقای جرم و انرژی حاکم بر هر یک از اجزا نیروگاه بخار بندرعباس استخراج و کل سیکل تولید انرژی آن در نرم افزار EES شبیه سازی شده است. با حل دسته معادلات انرژی و جرم در نرم افزار ذکر شده توان تولیدی، دما، فشار و تولید انرژی در تمامی نقاط و اجزای نیروگاه محاسبه شده است. مقادیر بدست آمده در شبیه سازی با مقادیر موجود در نقشه تعادل حرارتی نیروگاه مقایسه و میزان انحراف دما و دبی جرمی در نقاط مختلف سیکل گزارش شده است. این نقاط شامل نقاط قبل از بویلر، بعد از توربین فشار قوی و بعد از توربین فشار متوسط می باشد. بیشترین خطا در محاسبه دما در ورودی

همانگونه که در شکل ۳ نمایش داده شده است، بازده کل نیروگاه بیشتر تحت تاثیر بازده فید واتر پمپ می باشد. بطوریکه ۳۰ درصد تغییر بازده فیدواتر پمپ (از ۵۰ درصد تا ۸۰ درصد) می تواند به تغییر ۰/۶۵ درصدی بازده کل نیروگاه گردد. بر اساس شکل ۲ تغییرات بازده پمپ ۱ تغییر بسیار کمی (۰/۰۲ درصد) بر بازده کل نیروگاه دارد. از لحاظ کیفی این تغییرات قابل درک می باشد زیرا دبی جرمی فیدواتر پمپ بسیار بیشتر از دبی پمپ ۱ می باشد.

^۴ Boiler Feed Pump

^۲ Condensed Extraction Pump

بویلر و برابر با ۵ درصد می باشد. کمترین خطا نیز مربوط به نقطه قبل از توربین فشار متوسط با خطای کمتر از ۰/۳ درصد می باشد. بیشترین و کمترین خطا در محاسبه دبی نیز مربوط به همین نقاط می باشد (بیشترین خطا برابر با ۵ و کمترین برابر با ۰/۴ درصد).

پس از اطمینان از صحت محاسبات، توان هر یک از اجزا اصلی نیروگاه به صورت جز به جز محاسبه و گزارش شده است. تولید و مصرف انرژی در طول سیکل تولید انرژی برای توربین های فشار قوی، متوسط و ضعیف و همچنین برای پمپ ها و بویلر محاسبه شده است.

با توجه به شبیه سازی کل سیکل تولید انرژی، مقادیر انتقال حرارت ردوبدل شده در هر یک از گرمکن ها و ریهیت بویلر محاسبه و به تفکیک نمایش داده شده است. بدین وسیله انتقال حرارت و میزان تغییرات گرمایی هر یک از گرمکن ها (اعم از فشار قوی و ضعیف) محاسبه و تحلیل شده است. نتایج نشان می دهند که میزان انتقال حرارت تبادل شده در گرمکن های فشار قوی بیشتر از گرمکن های فشار ضعیف می باشد. همچنین نتایج نشان می دهد که تغییرات انتقال حرارت در میان گرمکن های فشار بالا کمتر از میزان انتقال حرارت در گرمکن های فشار پایین می باشد.

با استفاده از نتایج بدست آمده، محاسبات توان کل نیروگاه نیز محاسبه شده و بازده نیروگاه به دست می آید. این شبیه سازی با دقتی کمتر از ۵ درصد خطا (بازده محاسبه شده ۴۲/۲۶ درصد و مقدار بازده تعادل حرارتی برابر با ۴۴/۵ می باشد) قادر به پیش بینی بازده کل نیروگاه می باشد.

در انتها نیز تاثیر تغییرات بازده پمپ ها و توربین های بر بازده کل نیروگاه تحلیل شده است. نتایج نشان می دهند که تغییرات ۳۰ درصدی در بازده فیدواتر پمپ می تواند ۰/۶۵ درصد در بازده نیروگاه تاثیر بگذارد. بعلاوه تغییرات بازده توربین تاثیر بیشتری نسبت به تغییرات بازده پمپ بر بازده کل نیروگاه دارد. ۳۰ درصد تغییر در بازده هر یک از توربین ها تقریباً می تواند بین ۴ تا ۶ درصد بر بازده کل نیروگاه اثر بگذارد. در این میان تاثیر توربین فشار ضعیف اندکی از دو توربین فشار قوی و فشار متوسط بیشتر می باشد.

مراجع

[۱] سیدحسین علوی، عباس علی آبادی، علی رضا یزدی زاده، "مدلسازی دینامیکی و شناسایی نیروگاه برق آبی کارون ۳"، دومین کنفرانس ملی نیروگاههای آبی کشور، ۱۳۸۷.

[۲] سیدحسین علوی، "مدل سازی دینامیکی و شناسایی بخش هیدرومکانیکال سد و نیروگاه برق آبی کارون ۴"، اولین کنفرانس بین المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاههای برق آبی، ۱۳۹۰.

[۳] عادل فروغ زاده، ایمان زحمتکش، "شبیه سازی سیکل نیروگاه بخار پتروشیمی خراسان با نرم افزار ترموفلو"، کنفرانس ملی بهینه سازی مصرف انرژی در علوم و مهندسی، ۱۳۹۳.

[4] Sabah A. Abdul-Wahab, Juwairia Obaid, Ali Elkamel. "Modelling of greenhouse gas emissions from the steady state and non-steady state operations of a combined cycle power plant located in Ontario, Canada", Fuel, Vol 136, No15, PP103-112, July 2014

[۵] مرتضی عنبرسوز، سید محمد جوادی، محمد پسندیده فرد، حمید ایزدی، "مدلسازی عددی بویلر نیروگاه توس به منظور امکان سنجی افزایش راندمان: شبیه سازی جریان و احتراق داخل بویلر"، دومین کنفرانس صنعت نیروگاه های حرارتی، ۱۳۸۹