

ارائه مدلی برای شبیه‌سازی سیکل ترمودینامیکی نیروگاه بخار منتظر قائم

سید رضا شمشیرگران^۱، سعید دفاعی‌راد^۲، محمد مهدی نوزری^۳

^۱ کارشناس ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشکده مکانیک و انرژی، shamshirgaran@hotmail.com

^۲ کارشناس ارشد، شرکت مهندسی قدس نیرو، saeeddefaee@gmail.com

^۳ دکتر، شرکت مهندسین مشاور انرژی نواندیش، nouzari_m@yahoo.com

چکیده

کم به بوته آزمایش گذاشت. این ابزار مناسب همان مدل سیستم است که به کمک آن می‌توان بدون اینکه در عمل، شرایط کارکرد نیروگاه را تغییر داد، در یک فضای مجازی سیستم نیروگاه و رفتار آن را شبیه‌سازی کرد و پس از حصول نتایج نهایی برای بهینه نگه داشتن عملکرد نیروگاه، راهکارهای بهینه را به کار بست [۲]. هر چه مدل تهیه شده برای سیکل نیروگاه دقیق‌تر باشد، نتایج حاصل نیز از صحت بیشتری برخوردار خواهند بود و پایش عملکرد نیروگاه در شرایط مختلف و تحت تأثیر عوامل گوناگون با دقت بیشتری انجام خواهد گرفت.

اگر چه چند نرم‌افزار از جمله بسته نرم‌افزاری TCCAD [۳]، برنامه Cycle Tempo [۴] و ... برای مدل‌سازی سیکل نیروگاه بخار، موازنه جرم و انرژی و سپس تحلیل عملکرد آن وجود دارند، اما در این مقاله یک مدل ترمودینامیکی دقیق با استفاده از ماژول ترموفلوکس نرم‌افزار قدرتمند ترموفلو برای سیکل نیروگاه بخار منتظر قائم توسعه داده می‌شود. در حال حاضر این نرم‌افزار به دلیل جامعیت و قابلیت‌های نسبی فراوان، به سایر نرم‌افزارها ترجیح داده می‌شود. به منظور امکان صحت‌سنجی نتایج مدل‌سازی، شرایط طراحی نیروگاه در نظر گرفته می‌شود زیرا در این حالت، اطلاعات ارائه شده از سوی سازنده سیستم موجود بوده و می‌توان با مقایسه نتایج با آن‌ها، میزان خطای شبیه‌سازی را تعیین نمود.

۱- مشخصه‌های اصلی نیروگاه

نیروگاه بخار منتظر قائم یکی از نیروگاه‌های حرارتی نسبتاً قدیمی شهر تهران بوده و در زمره اولین نیروگاه‌های متصل به شبکه سراسری می‌باشد. این نیروگاه در سال ۱۳۵۰ به دلیل نیاز استان تهران و در زمینی به مساحت ۹۰ هکتار، در فاصله ۴۰ کیلومتری شهر تهران توسط شرکت جنرال الکتریک احداث گردید [۵]. نیروگاه منتظر قائم از چهار واحد تشکیل شده که توان نامی هر یک از آن‌ها برابر با ۱۵۶ مگاوات می‌باشد. در جدول ۱ مشخصات سیکل ترمودینامیکی این نیروگاه در شرایط طراحی نمایش داده شده‌اند.

۲- متدولوژی شبیه‌سازی

در این مقاله، برای شبیه‌سازی نیروگاه از نرم‌افزار ترموفلو^۱ استفاده شده که برای طراحی و شبیه‌سازی نیروگاه‌های حرارتی به کار

در این مقاله یک روش دقیق برای شبیه‌سازی سیکل ترمودینامیکی نیروگاه‌های بخار ارائه می‌گردد. با توجه به اینکه صحت‌سنجی مدل و نتایج خروجی آن لازمه هر مدل‌سازی است، نیروگاه منتظر قائم بدین منظور انتخاب شده است. به منظور امکان بررسی صحت مدل پیشنهادی، شرایط طراحی نیروگاه که توسط سازنده آن ارائه گردیده، در نظر گرفته می‌شود. فرآیند شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار ترموفلو انجام گرفته است. هدف از انجام این امر، برقراری موازنه جرم و انرژی در تجهیزات اصلی سیکل نیروگاه برای کاربردهای متصور بعدی می‌باشد. نتایج، حاکی از این است که میانگین خطای شبیه‌سازی معادل با ۵/۰ درصد است. از اینرو با اطمینان قابل قبول می‌توان مدل را برای انواع تحلیل‌های عملکردی نیروگاه به کار گرفت.

واژه‌های کلیدی

سیکل، نیروگاه بخار، مدل، ترموفلو، منتظر قائم

مقدمه

اصولاً هر چه پیچیدگی سیستم‌های مکانیکی بیشتر گردد، کنترل و پایش عملکرد آن نیز مشکل‌تر خواهد شد. نیروگاه‌های بخار نیز به عنوان یکی از پیچیده‌ترین سیستم‌های مکانیکی ساخت بشر از این قاعده مستثنی نمی‌باشند. اگرچه طراحی و ساخت یک نیروگاه بخار بر اساس تئوری‌های توسعه یافته به وسیله دانشمندان متخصص صورت می‌پذیرد اما در عمل رفتار این سیستم عظیم به دلیل تأثیرگذاری عوامل مداخله‌گر مطابق با پیش‌بینی‌های تئوری نخواهد بود و چنانچه نتوان تأثیر این عوامل را بر رفتار نیروگاه کنترل نمود، کارکرد نیروگاه با مشکلات عدیده‌ای مواجه خواهد شد یا دست کم، کارکرد آن از بازه اقتصادی پیش‌بینی شده خارج خواهد شد و بهره‌وری انرژی از حد مطلوب فاصله خواهد گرفت [۱]؛ مسلماً با توجه به مقیاس مصرف انرژی در یک نیروگاه بخار، این امر موجب وارد آمدن زیان اقتصادی زیادی به کشور خواهد شد. از سوی دیگر ارزیابی رفتار چنین سیستم پیچیده‌ای که شامل تعداد زیادی از پارامترهای ترمودینامیکی وابسته می‌باشد و تأثیر عوامل مداخله‌گر را، به ویژه در شرایط غیر طراحی، با یک یا چند محاسبه ساده نمی‌توان انجام داد؛ بلکه بدین منظور لازم است ابزار مناسبی در اختیار داشت تا بتوان عملکرد نیروگاه را در شرایط مختلف با صرف زمان و هزینه

¹ Thermoflow Software

دسته دوم، به ماژول‌های انعطاف‌پذیر^۳ معروف هستند. ویژگی اصلی این ماژول‌ها انعطاف‌پذیری بالای آن‌ها بوده به نحوی که می‌توان تحلیل طیف وسیعی از مسائل را بدون محدودیت انجام داد. شایان ذکر است استفاده از این ماژول‌ها، مستلزم زمان و ورودی‌های بیشتر است. در مدلسازی نیروگاه بخار منتظر قائم، طرح اولیه توسط ماژول استیم پرو^۴ (از دسته ماژول‌های تک منظوره که برای سیکل بخار به کار می‌رود) تهیه و برای اضافه کردن جزئیات و عملیات تکمیلی، این طرح به ماژول ترموفلکس^۵ (از دسته ماژول‌های قابل انعطاف) انتقال و پس از انجام تحلیل‌های مربوطه، خروجی‌های مورد نظر حاصل شد.

یکی از اصلی‌ترین خروجی‌های ترموفلو، نمودار موازنه حرارتی سیکل و اجزای آن است که به طور مفصل کلیه جزئیات (دما، فشار، آنتالپی و دبی) نقاط مختلف سیکل را به ازای یک توان تولیدی مشخص در بر دارد. نمودار موازنه حرارتی ارائه شده توسط سازنده سیکل معیار خوبی برای صحت‌گذاری بر مدل تهیه شده خواهد بود. محاسبات مربوط به موازنه حرارتی سیکل اساساً به روش سعی و خطا انجام می‌شوند. در این روش دبی جرمی تولید شده در بویلر مقداری حدس زده می‌شود و بر این اساس موازنه جرمی و حرارتی در کل سیکل محاسبه می‌شود. با استفاده از این محاسبات مقدار توان تولیدی توربین‌ها تعیین می‌گردد. چنانچه توان محاسباتی با توان مورد نظر برای سیکل یکسان نباشد، مقدار دیگری به تناسب اختلاف توان محاسباتی و توان مورد نظر برای دبی بخار جایگزین و آنقدر این کار تکرار می‌گردد تا اختلاف به مقدار اندکی برسد. بر اساس دبی نهایی، سایر پارامترها از جمله راندمان، دبی سوخت مصرفی، نرخ حرارتی و غیره تعیین می‌شوند.

در شکل‌های ۱ و ۲، نمای شبیه‌سازی شده سیکل آب و بخار و بویلر نیروگاه منتظر قائم نمایش داده شده‌اند. در حین انجام این کار سعی بر آن بوده است تا تمام جزئیات در نظر گرفته شوند. به عنوان مثال تمام مصارف مربوط به بلودان، نشستی بخار شیرهای توربین، بخارهای خروجی از سیل‌های توربین و بخارهای خروجی از SSR در محاسبات لحاظ شده‌اند. همانگونه که در بخش ۴ مشاهده خواهد شد، نتایج شبیه‌سازی از دقت بالایی برخوردار می‌باشند که یکی از دلایل آن، احتساب حداکثری جزئیات در فرآیند حل می‌باشد.

۳- مدل‌های فیزیکی

در این مقاله انجام تحلیل انرژی یک نیروگاه بخار در شرایط پایا مد نظر می‌باشد. از اینرو روابط حاکم همان قوانین آشنای بقای جرم و اول ترمودینامیک خواهند بود [۷]:

- قانون بقای جرم:

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e \quad (1)$$

می‌رود. این نرم‌افزار طی گذشت ۲۵ سال و صرف ۳۰۰ هزار نفر ساعت توسط تیمی از مهندسين مجرب تکمیل شده است [۶].
نرم‌افزار ترموفلو شامل دو دسته ماژول می‌باشد. دسته اول، ماژول‌های تک منظوره^۲ نامیده می‌شوند و به صورت اختصاصی، یکی از انواع نیروگاه‌ها را تحلیل می‌نمایند. مزیت اصلی استفاده از ماژول‌های تک منظوره، این است که می‌توان شبیه‌سازی را با دقت و سرعت بیشتری انجام داد اما عیب اساسی آن‌ها مربوط به محدودیت ذاتی آن‌هاست که موجب می‌گردد ایجاد تغییرات گسترده در مدل مقدور نباشد.

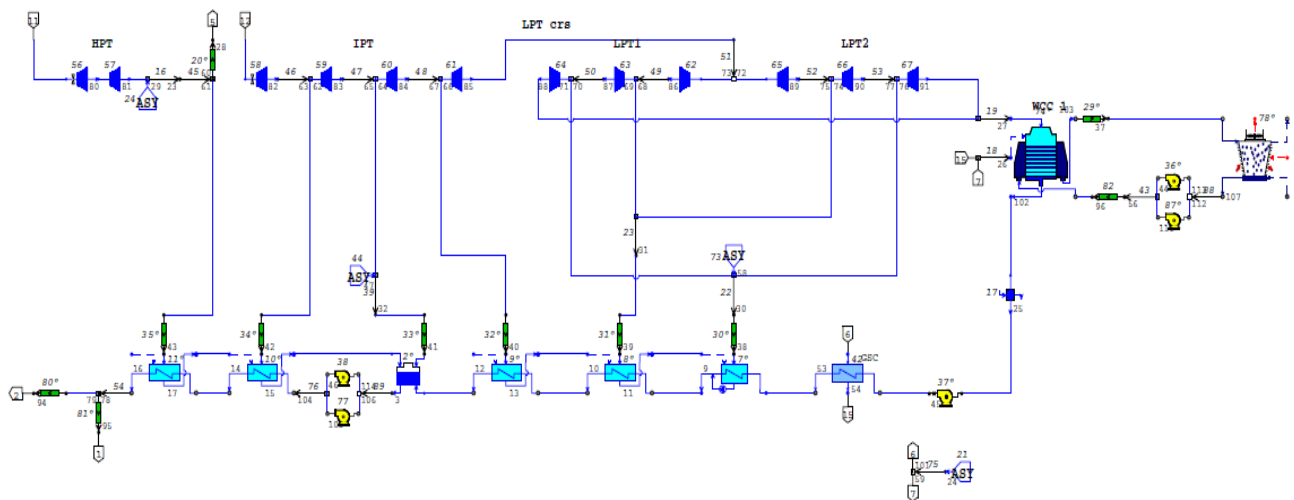
جدول ۱: مشخصات اصلی نیروگاه منتظر قائم در شرایط طراحی

عنوان	شرح
ظرفیت نیروگاه	۴×۱۵۶ مگاوات
راندمان ناخالص نیروگاه	۴۲/۵۴ درصد
بخار ورودی به توربین فشارقوی (HPT)	۲۸۷/۱ lb/s، ۱۸۱۴/۷ psi و ۱۰۰۰ °F
نوع سیلندرهای توربین	فشار قوی، متوسط و ضعیف
بخار ورودی به توربین فشار متوسط (LPT)	۲۵۷/۸ lb/s، ۴۰۹ psi و ۱۰۰۰ °F
نوع کندانسور (Cond)	تماس غیر مستقیم
فشار کندانسور	۲/۵ اینچ مطلق جیوه
تعداد پمپ‌های آب گردشی (CWP)	سه دستگاه (یکی رزرو)
نوع برج خنک‌کن (WCT)	تر
فن‌های برج خنک‌کن	شش عدد، از نوع محوری
تعداد پمپ‌های آب کندانس (CEP)	دو دستگاه (یکی رزرو)
تعداد هیترهای (FWH) فشار ضعیف	چهار عدد (هیتر ۴ دی‌اریتور)
تعداد هیترهای فشار قوی	دو عدد
تعداد پمپ‌های آب تغذیه (BFWP)	دو عدد (یکی رزرو است)
آب تغذیه ورودی به بویلر	۲۸۷/۱ lb/s و ۴۵۲/۱ °F
نوع بویلر	آویزان با گردش طبیعی
سوخت اصلی بویلر	مازوت
راندمان بویلر بر اساس HHV	۹۰/۵۷ درصد
درصد هوای اضافی	۵٪
نوع سوپرهیتر (SH) اولیه	جابجایی
نوع سوپرهیتر ثانویه	تشعشی
محل پاشش آب اسپری (DSH)	مابین دو سوپرهیتر
تعداد فن‌های دمنده هوا (FDF)	دو عدد
تعداد پیشگرمکن‌های بخاری (SAH)	دو عدد
تعداد ژوگستروم‌ها (GAH)	دو عدد
فن گردش دهنده گاز (GRF)	یک عدد
ژنراتور	۱۵ kV و ۱۷۶/۵ MVA
سطوح ولتاژ مصارف داخلی نیروگاه	۴۱۶۰ و ۳۸۰ ولت

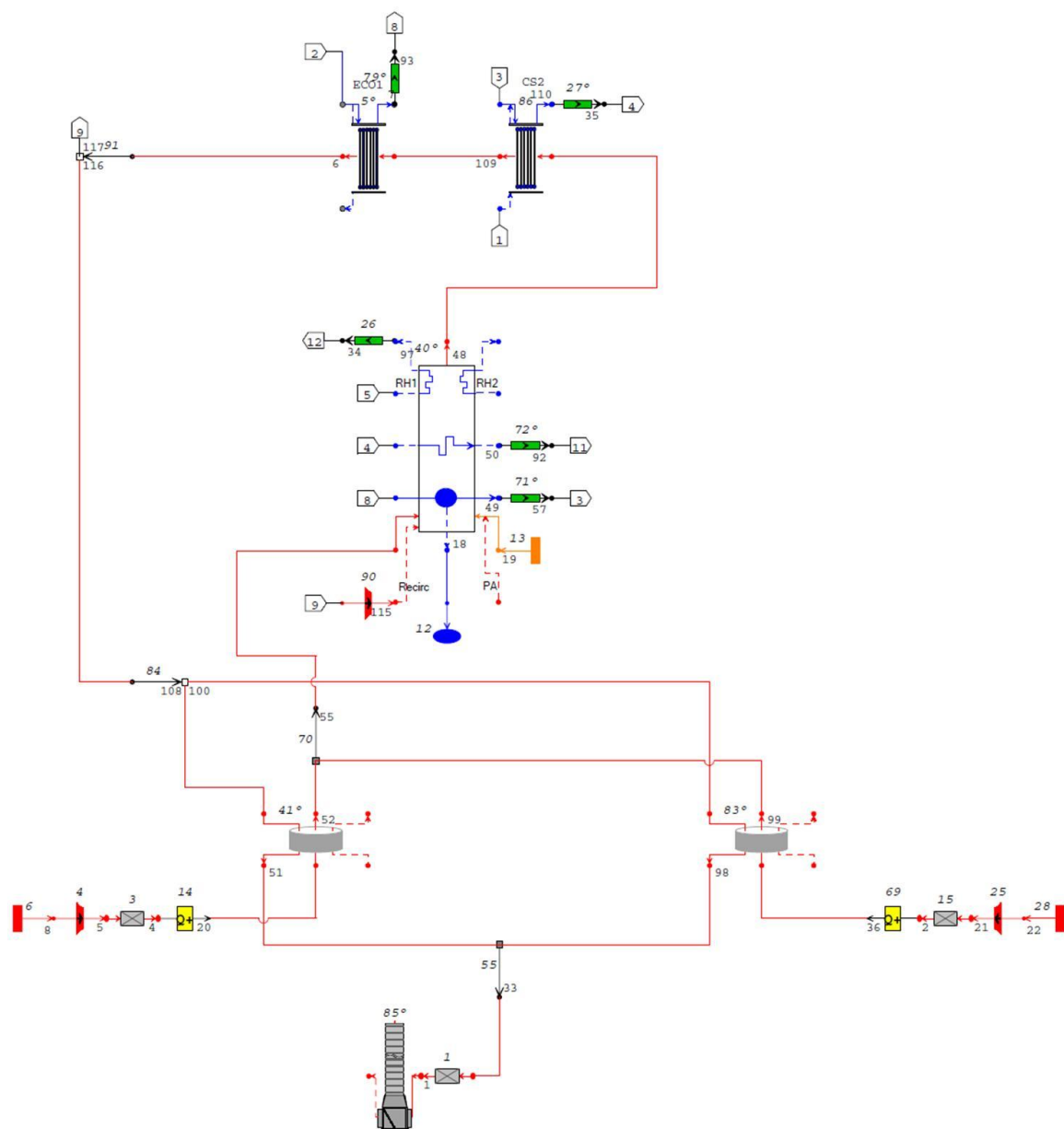
³ Fully Flexible

⁴ Steam Pro

⁵ Thermoflex



شکل ۱: نمای شبیه‌سازی شده سیکل آب و بخار نیروگاه منتظر قائم در ترموفلکس



شکل ۲: نمای شبیه‌سازی شده بویلر نیروگاه منتظر قائم در ترموفلکس

- قانون اول ترمودینامیک:

$$\sum \dot{Q} + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} + gz_i \right) = \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{v_e^2}{2} + gz_e \right) + \dot{W} \quad (2)$$

برای تعیین راندمان انرژی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{desired output energy}}{\text{input energy supplied}} \quad (3)$$

شبیه‌سازی نیروگاه با اعمال این روابط برای هر یک از تجهیزات (با فرض اغماض از انرژی‌های جنبشی و پتانسیل) و سپس کوپل آن‌ها به یکدیگر صورت می‌گیرد. در ادامه این بخش، مفهوم برخی از پارامترهای مهم که از نتایج نرم‌افزار ترموفلو استخراج می‌شوند، تشریح می‌گردد تا بتوان استنباط صحیحی از نتایج شبیه‌سازی به عمل آورد.

۳-۱- راندمان و نرخ حرارتی واحد

در صنعت، تعاریف مختلفی از راندمان و نرخ حرارتی وجود دارد. از اینرو تعاریف ارائه شده در ترموفلو به نحوی است که پاسخگوی نیاز اغلب کاربران می‌باشد. راندمان و نرخ حرارتی سیکل به صورت زیر تعریف می‌شوند [۴]:

$$\text{plant efficiency} = \frac{\text{electrical output}}{\text{boiler heat input}} \quad (4)$$

$$\text{plant heat rate} = \frac{\text{boiler heat input}}{\text{electrical output}} \quad (5)$$

بنابراین، آنچه موجب بروز تعاریف متفاوت از راندمان و نرخ حرارتی می‌شود، برداشت‌های متفاوت از توان الکتریکی خروجی و حرارت ورودی به بویلر است.

۳-۲- توان الکتریکی خروجی

این پارامتر یا به صورت ناخالص یا خالص تعریف می‌شود و نتیجه بر اساس هر دو تعریف ارائه می‌گردد. در مورد راندمان ناخالص، خروجی الکتریکی در پایانه‌های ژنراتور مد نظر است در حالیکه برای راندمان خالص، منظور از خروجی الکتریکی توان خالصی است که نهایتاً در اختیار شبکه قرار می‌گیرد و کلیه مصارف داخلی، تلفات ترانسفورماتور و غیره از آن کسر شده است.

۳-۳- نرخ حرارتی سیکل بخار

نرخ حرارتی سیکل بخار به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{cycle heat rate} = \frac{\text{energy absorbed by steam cycle}}{\text{gross electric output}} \quad (6)$$

انرژی دریافت شده از بخار توسط سیکل به صورت انرژی دریافت شده به وسیله توربین در نظر گرفته می‌شود. ملاحظه می‌گردد که در تعریف این پارامتر راندمان بویلر لحاظ نمی‌شود.

۳-۴- راندمان بویلر

راندمان بویلر در ترموفلو به صورت زیر تعریف گردیده است:

$$\text{boiler efficiency} = \frac{\text{heat absorbed in boiler}}{\text{total boiler heat input}} \quad (7)$$

تعریف کل حرارت ورودی به بویلر پیش‌تر در قسمت مربوط به نرخ حرارتی و راندمان واحد ارائه شده است.

۴- نتایج

با توجه به اینکه شرایط طراحی نیروگاه منتظر قائم از سوی سازنده آن ارائه گردیده، این شرایط معیار خوبی برای ارزیابی صحت کارکرد مدل معرفی شده در بخش قبل و همچنین ارزیابی نتایج مدلسازی با آن می‌باشد. در شرایط طراحی، پارامترهای محیطی و مشخصات سوخت مصرفی (مازوت) بر مبنای جداول ۲ و ۳ تعیین می‌شوند.

جدول ۲: شرایط اقلیمی نیروگاه در حالت طراحی

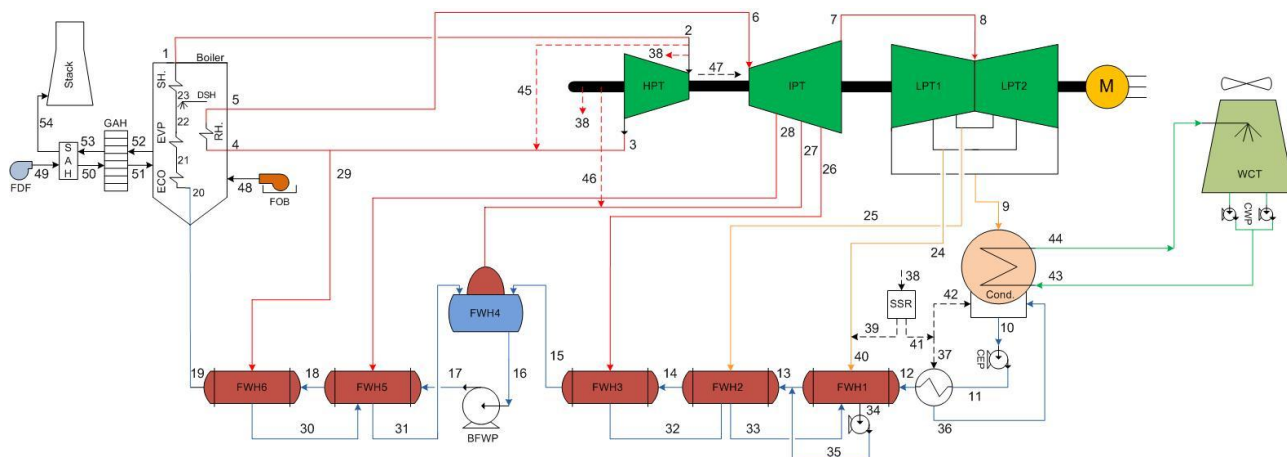
نام پارامتر	واحد	مقدار پارامتر
دمای محیط	°F	۱۱۵
ارتفاع از سطح دریا	ft	۴۰۶۸
رطوبت نسبی محیط	%	۲۱

جدول ۳: مشخصات سوخت مازوت

نام پارامتر	واحد	مقدار پارامتر
درصد وزنی کربن	%	۸۵/۴
درصد وزنی هیدروژن	%	۱۰/۳
درصد وزنی نیتروژن	%	۰/۴
درصد وزنی گوگرد	%	۳/۵
درصد وزنی اکسیژن	%	۰/۴
ارزش حرارتی بالا	Btu/lb	۱۸۷۰۰
چگالی نسبی (وزن مخصوص)	%	۰/۹۵۲۱
دمای سوخت ورودی به بویلر	°F	۲۴۰

به دلیل اینکه مدل تولید شده قابلیت محاسبه کلیه پارامترها را در هر نقطه سیکل دارد، امکان ارائه تمامی خروجی‌ها در این مقاله وجود ندارد. با این حال، در جدول ۴ برخی از نتایج اصلی حاصل از مدل‌سازی نیروگاه منتظر قائم با استفاده از نرم‌افزار ترموفلو ارائه گردیده است. شماره هر مسیر در دیاگرام شکل ۳ مشخص شده است. ملاحظه می‌گردد این نیروگاه در شرایط طراحی ۱۵۶/۱ مگاوات انرژی الکتریکی با راندمان ۴۲/۳۷ درصد تولید می‌نماید. از سوی دیگر، اعتبار نتایج هر مدل در گرو مقایسه آن با سایر اطلاعات معتبر است. در این مقاله، این کار با استفاده از نمودار موازنه جرم و انرژی

که از سوی سازنده نیروگاه ارائه شده، انجام می‌گیرد. در جدول ۴ این مقادیر نیز ارائه شده‌اند.



شکل ۳: شماتیک سیکل نیروگاه منتظر قائم

سهولت این امر را انجام داد و از مدل ارائه شده برای پایش عملکرد نیروگاه در شرایط مختلف نیز استفاده نمود.

مراجع

- [1] Gilberto Francisco Martha, 2012, *Thermal power plant Performance Analysis*, Springer.
- [2] Ameri M., Shamshirgaran Reza, 2009, *The Development of On-line Performance Monitoring Software for Hamedan Power Plant*, 3rd Int. Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization, U.A.E.
- [3] Rahimzadeh, Taheri, Vahedi, Motaghd., 1370, *Investigating Main Heat Cycle of Thermal Power Plant and Developing a Suitable Design and Calculation Software Named TCCAD*, 6th Int. Power System Conference, Tehran, Iran.
- [4] مهدی توفیق‌پور، ۱۳۸۱، دستور العمل بهره‌برداری نیروگاه منتظر قائم، انتشارات وزارت نیرو.

- [5] <http://www.cycle-tempo.nl/>
- [6] <http://www.thermoflow.com>
- [7] Claus Borgnakke, Richard E. Sonntag, 2008, *Fundamentals of Thermodynamics*, 7th ed., Wiley.

البته برای برخی از پارامترها هیچ مقداری از سوی سازنده اعلام نشده است؛ اما برای تکمیل موازنه جرم و انرژی سیکل، مقادیر مربوط به مدل ذکر گردیده است. صحت نتایج مدل با مرور میزان خطای نسبی بین نتایج مدل و اطلاعات سازنده (ستون‌های چهارم و هشتم جدول ۴) محرز می‌گردد.

همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود متوسط خطای مدل در برآورد پارامترها برابر با ۰/۵ درصد است. این مقدار خطا کاملاً منطقی و قابل قبول است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت سیکل نیروگاه با حداکثر دقت ممکن شبیه‌سازی شده است. شایان ذکر است کلیه راندها بر حسب ارزش حرارتی بالای سوخت تعیین شده‌اند. همچنین فشار، دما، دبی، راندها و نرخ حرارتی و توان تولیدی به ترتیب بر حسب psi ، $^{\circ}\text{F}$ ، lb/s ، $\%$ ، Btu/kWh و MW بیان می‌گردند.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش دقیق برای شبیه‌سازی ترمودینامیکی سیکل نیروگاه بخار منتظر قائم در شرایط طراحی ارائه شد. شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار ترموفلو انجام گردید. نتایج حل حاکی از آن است که تطابق بسیار مناسبی بین نتایج مدل و اطلاعات ارائه شده از سوی سازنده وجود دارد. بنابراین از این مدل می‌توان به عنوان یک ابزار پایه برای تحلیل عملکرد بخش‌های مختلف نیروگاه‌های بخار در شرایط فعلی بهره‌برداری سود جست. البته برای این کار لازم است تغییرات مربوط به سیکل هر نیروگاه را به نحو مقتضی در این مدل اعمال نمود. به دلیل پیچیدگی انجام این نوع تحلیل‌ها، این مدل می‌تواند نگرانی‌های بهره‌برداران نیروگاه را نسبت به این موضوع کاملاً برطرف نماید. همچنین به دلیل محدودیت‌های ابزار دقیق نیروگاه، امکان مانیتورینگ کلیه پارامترها در نقاط مختلف وجود ندارد در حالی که با به کارگیری روش پیشنهادی در این مقاله، می‌توان به

جدول ۴: مقایسه نتایج مدل طراحی سیکل نیروگاه در حالت مازوت‌سوز با داده‌های واقعی							
پارامتر ترمودینامیکی	مقدار سازنده	مقدار مدل	خطای نسبی (درصد)	پارامتر ترمودینامیکی	مقدار سازنده	مقدار مدل	خطای نسبی (درصد)
دبی مسیر ۲	۲۸۷/۰۹	۲۸۷/۱	۰/۰۰۳	دبی مسیر ۳۸	۰/۲۲	۰/۲۲	۰
فشار مسیر ۲	۱۸۱۴/۷	۱۸۱۴/۷	۰	دبی مسیر ۴۶	۱/۴۷	۱/۴۷	۰
دمای مسیر ۲	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۰	دبی مسیر ۴۷	۰/۷۸	۰/۷۸	۰
دبی مسیر ۴	۲۵۷/۷۵	۲۵۷/۷	۰/۰۱۹	دمای مسیر ۱۳	۱۹۱/۳	۱۹۱/۳	۰
دمای مسیر ۶	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۰	دمای مسیر ۱۴	۲۵۸/۱	۲۵۸/۱	۰
دبی مسیر ۹	۲۰۵/۸۶	۲۰۵/۸	۰/۰۲۹	دمای مسیر ۱۵	۲۹۱/۶	۲۹۱/۶	۰
فشار مسیر ۹	۱/۲۲۸	۱/۲۲۸	۰	دبی مسیر ۱۶	۲۸۷/۱۲	۲۸۷/۱	۰/۰۰۷
دمای مسیر ۹	۱۰۸/۷	۱۰۸/۷	۰	دمای مسیر ۱۶	۳۳۵/۱	۳۳۵/۱	۰
دبی مسیر ۲۹	۲۲/۱	۲۲/۱۸	۰/۳۶۲	دمای مسیر ۱۸	۳۸۲/۷	۳۸۲/۷	۰
فشار مسیر ۲۹	۴۵۱/۵	۴۵۱/۶	۰/۰۲۲	دمای مسیر ۲۰	۴۵۲/۱	۴۵۲/۱	۰
دبی مسیر ۲۸	۱۰/۲۷	۱۰/۳۵	۰/۷۷۹	دمای مسیر ۲۱	۵۹۱	۵۹۱/۴	۰/۰۶۸
فشار مسیر ۲۸	۲۱۷/۴	۲۱۷/۴	۰	دبی مسیر ۲۳	۲۴/۱	۲۴/۱۲	۰/۰۸۳
دبی مسیر ۲۷	۸/۳۸	۸/۴	۰/۱۹۱	فشار مسیر ۱	۱۸۷۵	۱۸۷۵/۱۳	۰/۰۰۷
فشار مسیر ۲۷	۱۱۸/۸	۱۱۸/۸	۰	دمای مسیر ۵۲	۶۳۵	۶۳۵	۰
دبی مسیر ۲۶	۷/۷۲	۷/۷۲	۰	دمای مسیر ۵۳	۲۹۸	۲۹۰/۳	۲/۵۸۴
فشار مسیر ۲۶	۶۸/۴	۶۸/۴	۰	دمای مسیر ۵۰	۱۶۱	۱۶۱	۰
دبی مسیر ۲۵	۱۴/۵	۱۴/۴۹	۰/۰۶۹	دمای مسیر ۵۱	۵۴۶	۵۴۶	۰
فشار مسیر ۲۵	۴۰/۱	۴۰/۱	۰	دبی سوخت (مسیر ۴۸)	۲۱/۶۱	۲۰/۶۷	۴/۳۵
دبی مسیر ۲۴	۱۵/۷۸	۱۵/۹۶	۱/۱۲۸	راندمان پویلر	۹۰/۵۷	۹۰/۴۸	۰/۰۹۹
فشار مسیر ۲۴	۱۱/۲۹	۱۱/۲۹	۰	توان ناخالص تولیدی	۱۵۶/۲۹۴	۱۵۶/۰۶۴	۰/۱۴۷
دبی مسیر ۴۳	۱۰۸۲۱	۱۰۴۲۹	۳/۶۲۴	نرخ حرارتی ناخالص سیکل	۸۰۳۴	۸۰۶۷/۲۱	۰/۴۱۳
دمای مسیر ۴۳	۸۳	۸۳/۰۲	۰/۰۲۴	راندمان ناخالص سیکل	۴۲/۵۴	۴۲/۳۷	۰/۴
دمای مسیر ۴۴	۱۰۲/۳	۱۰۲/۴	۰/۰۹۸	راندمان ناخالص واحد	۳۷/۱۴	۳۶/۹۷	۰/۴۵۸