



انتخاب بهینه‌ترین مدل شبیه‌سازی نیروگاه سیکل ترکیبی در ایران به کمک الگوریتم TOPSIS

فرانک افرا^۱، فریور فاضلیپور^۲

شرکت مهندسی کنترل قدرت، میدان فاطمی ابتدای شهید گمنام خیابان جهانمهر کوچه بوعلی سینا غربی پلاک ۶۱
fk.afra@gmail.com

چکیده

همواره صنعت برق کشور به دنبال تامین نیروگاه‌ها با ظرفیت‌های مناسب در مناطق مختلف بوده است. از این رو مطالعات در زمینه تاسیس نیروگاه‌ها با راندمان مناسب و ظرفیت خروجی در الویت قرار داشته است. انتخاب تجهیزات مناسب برای نیروگاه‌ها هم جزء مهمترین دغدغه‌های وزارت نیرو و سازمانهای تابعه خواهد بود. در این پژوهش مراحل طراحی و ساخت نیروگاه سیکل ترکیبی واقع در زنجان به کمک نرم افزار ترموفلو شبیه‌سازی شده است. شبیه‌سازی با دو مدل متفاوت (مدل ۱ و مدل ۲) انجام شده است که نیروگاه سیکل ترکیبی در مدل اول شامل دو واحد گازی از نوع توربین کلاس E (توربین V94.2)، دو واحد HRSG به همراه سیستم Cooling نوع ACC و یک واحد بخارمدل E است، همچنین مدل دوم شامل یک واحد گازی نوع توربین کلاس F (توربین V94.3 A)، یک واحد HRSG به همراه سیستم Cooling نوع ACC و همچنین یک واحد بخاری سه فشاره در نظر گرفته شده اند. سپس نتایج شبیه سازی با استفاده از الگوریتم Topsis با یکدیگر مقایسه شده و امتیاز هر مدل محاسبه شده که مبنای انتخاب مدل بهینه قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد مدل دوم از لحاظ شاخص های راندمان، سوخت مصرفی، آب مصرفی، مساحت و هزینه های تولید با امتیاز ۰/۳۳۳۳۹ عملکرد بهتری نسبت به مدل اول با امتیاز ۰/۱۲۰۲۶ دارد.

واژه‌های کلیدی: نیروگاه سیکل ترکیبی - شبیه سازی با نرم افزار ترموفلو - توربین گاز - Topsis

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم های انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

۲- مدیر گروه کارشناسی ارشد و دکترای سیستم های انرژی و تبدیل انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

مجموعه مقالات پنجمین کنفرانس انرژی و محیط زیست

شماره شایک مقالات: ۸-۴۵-۴۵-۸۰۴۵-۶۰۰-۹۷۸

سوم دی ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: هم‌اندیشان انرژی کیمیا و

انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران

www.Energyconf.ir



www.Energyconf.ir



۱- مقدمه

امروزه بسیاری از کشورها برای مقابله با کمبود انرژی الکتریکی افزودن ظرفیت جدید را در برنامه ریزی توسعه ای در نظر می گیرند. مرسوم ترین راهکار جهت برآورده نمودن نیازهای فعلی و آتی، ساخت نیروگاه های جدید می باشد. از دیدگاه مدیریت منابع انرژی افزایش راندمان نیروگاه های موجود نسبت به احداث واحدهای جدید نیروگاهی به دلیل صرف منابع مالی فراوان و همچنین زمانبر بودن احداث نیروگاه اولویت دارد. بنابراین برای تامین انرژی الکتریکی، سرمایه گذاری فزاینده ای در امر گسترش ظرفیت های مولد برق احساس می شود، به نحوی که برای صرفه جویی در منابع انرژی، به خصوص سوخت مصرفی نیروگاههای حرارتی کارهای بسیار بزرگی باید صورت پذیرد، در نتیجه ضرورت انجام چنین تحقیقی در راستای معرفی مراحل احداث یک واحد نیروگاه سیکل ترکیبی با راندمان بالاتر و مقایسه پارامترهای عملیاتی آن با یک نیروگاه مشابه رایج در کشور می تواند روش مناسبی برای مساله افزایش راندمان را در پی داشته باشد. در این تحقیق ابتدا به بررسی انواع نیروگاهها و بررسی شرایط سایت برای انتخاب نوع نیروگاه با مروری بر تحقیق های مشابه پرداخته شد. در ادامه استفاده از نرم افزار ترموفلو و روش الگوریتم Topsis بیان می شود و در پایان پس از تحلیل داده ها مدل بهینه تعیین می- شود.

۱-۱ مروری بر انواع نیروگاهها

نیروگاه مجموعه تاسیساتی است که به منظور تبدیل انرژیهای مختلف به انرژی الکتریکی به کار گرفته می شود. نیروگاه ها براساس منبع اولیه انرژی به انواع مختلفی تقسیم می شوند که شامل نیروگاه های فسیلی و نیروگاه های انرژی نو است. در تقسیم بندی نیروگاه های سوخت فسیلی بر اساس محرک اولیه سه سیکل فرایندی متداول می باشد. نیروگاه سیکل گازی، نیروگاه بخاری و نیروگاه سیکل ترکیبی، که امروزه با توجه به وفور سوخت های فسیلی در ایران (به طوری که مطابق آمار تولید صنعت برق، بیش از ۸۵٪ تولید انرژی الکتریکی با استفاده از نیروگاه های حرارتی بوده است). توسعه نیروگاه ها بر پایه توسعه نیروگاه های حرارتی مد نظر است. همچنین با توجه به دلایل زیر گزینه های تولید برق از طریق نیروگاه های بخاری، گازی یا سیکل ترکیبی جهت رفع نیازهای استان زنجان فرا روی قرار می گیرد:

۱. تامین فوری انرژی الکتریکی مورد نیاز با توجه به کمبود تولید انرژی الکتریکی شرکت برق منطقه ای زنجان
۲. در اختیار داشتن تکنولوژی تولید تجهیزات اصلی و تجربه تولید انرژی الکتریکی با استفاده از نیروگاه های حرارتی
۳. متداول بودن تولید برق از طریق نیروگاه های فسیلی در کشور و دارا بودن منابع غنی گاز جهت تامین سوخت این نیروگاهها

بنابراین پیشنهاد بر مبنای این سه گزینه است که با مقایسه ای بین مشخصه فنی سه دسته از نیروگاه های حرارتی (بخاری، گازی و سیکل ترکیبی) مطابق جدول ۱ صورت گرفته که نتیجه آن به شرح ذیل می باشد:

جدول ۱: مقایسه مشخصات نیروگاه های حرارتی (سوخت فسیلی)

انواع نیروگاهها			واحد	شرح
سیکل ترکیبی	گازی	بخار		



دوره احداث	سال	۴	۲	۳
عمر مفید تجهیزات	سال	۳۰	۱۵	۲۰
راندمان	درصد	۳۴-۴۰	۳۳	۴۹

با توجه به نتایج جدول ۱ مشاهده می‌شود که نیروگاه سیکل ترکیبی با دارا بودن دوره احداث ۳ سال و عمر مفید ۲۰ سال همچنین راندمان بالاتر از نیروگاههای بخاری یا گازی حداقل ۴۹ درصد مناسب‌ترین گزینه جهت احداث نیروگاه در استان زنجان می‌باشد.

منصوری و همکاران [۱] در پژوهش خود تاثیرات سطح فشار HRSG روی راندمان اگزرژی نیروگاه سیکل ترکیبی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که چگونه یک افزایش در تعداد سطوح فشار HRSG روی تلفات اگزرژی با توجه به انتقال حرارت در HRSG و خروجی گاز تاثیر می‌گذارد. سایکا و ساهو [۲] بررسی توسعه مدل اختلال کوچک داشته‌اند تا پاسخ فراوانی به توربین گاز در نیروگاه سیکل ترکیبی را بررسی کنند. یافته‌های آنها حاکی از آن است که کنترل کننده‌های مشتق انتگرال متناسب عملکرد بهتری نسبت به دیگر کنترل کننده‌ها داشته‌اند. پسندی و اردهالی [۳] در این تحقیق به مدلسازی عملکرد نیروگاه بخاری و پیش‌بینی توان تولیدی با استفاده از داده‌های تجربی و شبکه‌های عصبی پرداخته شد. نتایج بدست آمده نشان داد که استفاده از شبکه‌های عصبی روشی مناسب و کارآمد برای مدلسازی تجهیزات نیروگاه بخار می‌باشد و می‌تواند برای عیب‌یابی و شناسایی عملکرد نیروگاه و پیش‌بینی توان تولیدی مورد استفاده واقع گردد. احمدوند و فراهانی [۴] بررسی انتخاب نیروگاه هدف جهت اجرای طرح افزایش راندمان نیروگاههای حرارتی کشور را انجام دادند. نیروگاههای بخاری به طور مجزا بر اساس معیارهای روند تغییرات راندمان، سهم از ظرفیت تولید کل، اثرات تغییر ضریب بهره‌برداری و انحراف از راندمان طراحی ارزیابی شده که با ترکیب نتایج نهایتاً به ترتیب نیروگاههای بندرعباس، شهید سلیمی و رامین به عنوان مناسب‌ترین گزینه‌ها برای اجرای طرح افزایش راندمان تعیین گردید. رحمانی و همکاران [۵] در پژوهش‌شان به بررسی عوامل اصلی ایجاد محدودیت تولید در واحد سه نیروگاه بعثت پرداختند بدین منظور ابتدا مدل ترمودینامیکی سیکل نیروگاه با نرم‌افزار ترموفلو شبیه‌سازی شد و با استفاده از اطلاعات طراحی اجزای مختلف سیکل، تا حد امکان دقیق شد. بررسی اقتصادی انجام شده نشان داد که میزان سرمایه‌گذاری برای احداث واحدهای جدید بسیار بالا بوده و با وجود کم بودن قیمت تمام شده برق تولیدی برای این گزینه نسبت به طرح‌های رفع محدودیت تولید، بهتر است در صورت محدود بودن سرمایه موجود، سعی در رفع عوامل محدودیت تولید نمود. عظیمیان و خانمحمادی [۶] در پژوهش خود به بررسی اثرات وجود احتراق اضافی بر روی عملکرد ترمودینامیکی و ترمو اکونومیکی نیروگاه سیکل ترکیبی پرداختند. در این مقاله به بررسی نیروگاه سیکل ترکیبی در سه حالت پرداخته شد نتایج حاصله نشان داد که احتراق اضافی موجب افزایش توان خروجی و کاهش راندمان و افزایش هزینه تولید توان الکتریکی را می‌شود. همچنین با افزایش نسبت فشار راندمان و توان تولیدی افزایش می‌یابد و هزینه تولید کاهش یافت.



۲- روش کار

در این پژوهش برای انتخاب گزینه مناسب با هزینه کمتر و راندمان بالاتر از نرم افزار ترموفلو برای شبیه سازی نیروگاه استفاده شد. به این ترتیب که ابتدا شبیه سازی یک واحد نیروگاه سیکل ترکیبی با ساختار متداول در ایران انجام شد سپس در مرحله بعد برای همان سایت با انتخاب توربین گاز با تکنولوژی بالاتر به شبیه سازی دیگری اقدام گردید و در انتها نتایج حاصل از شبیه سازی های نرم افزار را با الگوریتم Topsis آنالیز و مدل بهینه معرفی شد.

۲-۱ نرم افزار ترموفلو

ترموفلو پکیج نرم افزاری پیشرفته و یکپارچه با هدف شبیه سازی سیکل های ترکیبی بر پایه توربین گازی، توربین بخاری، سیکل ترکیبی، موتورهای احتراقی و همچنین شبیه سازی فرایندهای تولید همزمان است. این نرم افزار علاوه بر قابلیت انجام محاسبات در نقطه طراحی، میتواند به منظور شبیه سازی شرایط عملیاتی گوناگون نظیر نیمه باری و یا شرایط محیطی مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین ترموفلو اطلاعات جزئی در مورد تحلیل های اقتصادی سیکل های طراحی شده در اختیار قرار می دهد.

۲-۲ الگوریتم TOPSIS

الگوریتم تاپسیس دارای ۶ گام می باشد تا در نهایت بهترین گزینه را انتخاب نماید. این گام ها به شرح زیر توضیح داده خواهد شد [۸]

گام اول: تبدیل ماتریس تصمیم گیری موجود، به یک ماتریس «بی مقیاس شده» با استفاده از رابطه (۱):

$$r_{ij} = \frac{v_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n v_{ij}^2}} \quad i=1,2,\dots,m; \quad j=1,2,\dots,n \quad \text{رابطه (۱)}$$

گام دوم: ایجاد ماتریس «بی مقیاس» وزین با مفروض بودن بردار W به عنوان ورودی به الگوریتم.

$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ (مفروض از تصمیم گیرنده یا تصمیم گیرنده ها)

$$V = N_D \times W_{n \times n} \quad \text{رابطه (۲)}$$

به طوری که N_D ماتریسی است که امتیازات معیارها در آن «بی مقیاس» و قابل مقایسه شده است، و $W_{n \times n}$ ماتریسی است قطری که فقط عناصر قطر اصلی آن غیر صفر خواهد بود. درایه های قطر اصلی ماتریس $W_{n \times n}$ نشان دهنده وزن نرمال شده هر معیار می باشد.

گام سوم: مشخص نمودن راه حل ایده آل و راه حل ایده آل منفی.

$$A^+ = \{(\max_i V_{ij} | j \in J), (\min_i V_{ij} | j \in J') | i=1,2,\dots,m\} = \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_j^+, \dots, V_n^+\}$$



$$A^+ = \{(\min_i V_{ij} | j \in J), (\max_i V_{ij} | j \in J') | i=1,2,\dots,m\} = \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_j^+, \dots, V_n^+\}$$

گام چهارم: محاسبه اندازه‌ی جدایی (فاصله).

$$d_{i+} = \text{فاصله گزینه } i \text{ ام از ایده‌آل} = \left\{ \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \right\}; i=1,2,\dots,m \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$d_{i-} = \text{فاصله گزینه } i \text{ ام از ایده‌آل منفی} = \left\{ \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \right\}; i=1,2,\dots,m \quad \text{رابطه (۴)}$$

گام پنجم: محاسبه نزدیکی نسبی A_i به راه حل ایده‌آل.

$$C_{i+} = \frac{d_{i-}}{(d_{i-} + d_{i+})}; \quad 0 \leq C_{i+} \leq 1; \quad i=1,2,\dots,m \quad \text{رابطه (۵)}$$

ملاحظه می‌شود که چنانچه $A_i = A^+$ گردد، آنگاه $d_{i+}=0$ بوده و خواهیم داشت: $C_{i+}=1$ و در صورتی که $A_i = A^-$ شود آنگاه $d_{i-}=0$ بوده و $C_{i+}=0$ خواهد شد. بنابراین هر اندازه گزینه‌ی A_i به راه حل ایده‌آل (A^+) نزدیکتر باشد، ارزش C_{i+} به واحد نزدیکتر خواهد بود.

گام ششم: بر اساس ترتیب نزولی C_{i+} می‌توان گزینه‌های موجود از مسأله مفروض را رتبه‌بندی نمود.

۳- تحلیل داده‌ها

با توجه به منحنی‌های ارائه شده توسط سازنده توربین گاز، قدرت اسمی توربین گازی در هر منطقه برای شرایط محیطی حاکم بر آن منطقه بر اساس ضرایب اصلاح قدرت برای ارتفاع، دما و رطوبت محل نصب محاسبه و مشخص می‌گردد. با توجه به مطالعات انجام شده در سطح استان توسط برق منطقه ای استان، مناطق شمال غربی استان گزینه‌های مناسبتری برای احداث طرح می‌باشند. مشخصات سایت فرضی در این مناطق با اطلاعات گرفته شده از سازمان هواشناسی به شرح ذیل می‌باشد (جدول ۳).

جدول ۳: مشخصات فرضی سایت جهت شبیه‌سازی

Item	Particulars	Unit	Zanjan
1	Ambient air temperature		
	-Absolute maximum		40
	-Absolute minimum		-28.6
	-Average yearly air temperature		10.8
	-Absolute Min. Air Temperature For material Selection and freezing protection		-10
	-Design Temperature		15
	-Maximum Average	°C	31.7
	-Minimum Average		4
2	Humidity		
	-Maximum	%	98



	-Minimum	%	15
	- Average	%	54
3	Elevation above mean sea level	M	900
4	Horizontal Design Acceleration	G	0.3
5	Maximum wind velocity for civil design	Km/h	4100
6	Wind dominant direction		East to west
7	Annual Average Rainfall	Mm	296

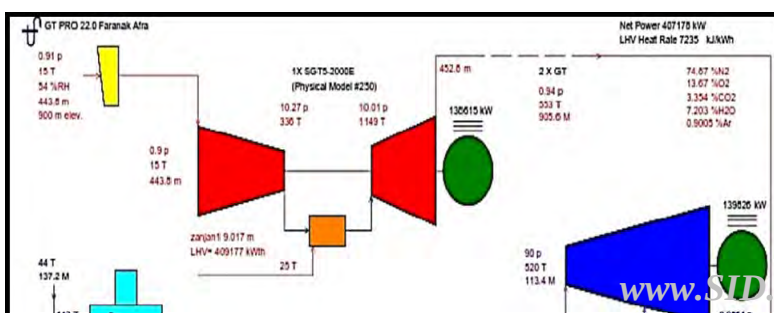
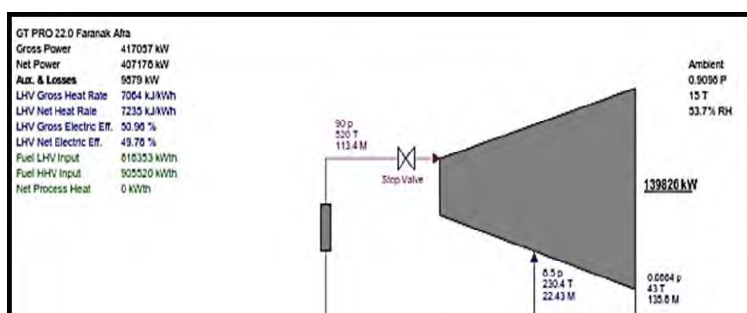
با استفاده از اطلاعات جدول ۳، مشخصات سایت نیروگاه به عنوان ورودی اولیه به نرم افزار ترموفلو وارد شد. سپس با توجه به مدل نیروگاه سیکل ترکیبی مشخصات تجهیزات اصلی شامل توربین گاز، توربین بخار، HRSG، نوع سیستم Cooling و ... با استفاده از کاتالوگ و مدارک تجهیزات به نرم افزار مذکور داده شد. و پس از انجام محاسبات دقیق شبیه سازی انجام و نتایج کامل و دقیقی بدست آمد. در مرحله بعد جهت مقایسه دقیق مدل های شبیه سازی، نتایج حاصل از شبیه سازی ها با نرم افزار ترموفلو به عنوان ورودی به الگوریتم Topsis داده شد تا با استفاده از محاسبات ریاضی و ماتریس های مربوطه، مدل بهینه انتخاب شود.

۳-۱ شبیه سازی مدل اول

در حالت اول جهت شبیه سازی نیروگاه سیکل ترکیبی، از تجهیزات طرح های مرسوم مورد استفاده در سایت های مختلف نیروگاهی کشور ایران استفاده شد به این ترتیب که این حالت نیروگاه سیکل ترکیبی شامل دو واحد گازی از نوع توربینهای کلاس E (توربین V94.2) به ظرفیت ۱۵۹ مگاوات و راندمان ۳۴/۶٪، دو واحد HRSG به همراه سیستم Cooling نوع ACC همچنین یک واحد بخاری مدل E با بازه ظرفیتی ۱۳۰ تا ۱۶۰ مگاوات می باشد. توربین بخار مدل E یک توربین فشار بالا (HP) و فشار متوسط (IP) است که تحت لیسانس زیمنس توسط توگا تولید می شود. این توربین دارای یک پوسته و جریان بخار یک طرفه با روتور یک پارچه است و به منظور استفاده در سیکل های ترکیبی طراحی شده است، اگرچه قابلیت استفاده در سیکل ساده بخار را نیز دارد. ظرفیت عملی نیروگاه متاثر از شرایط مکان بهره برداری شامل دمای محیط، ارتفاع ساختگاه و رطوبت نسبی محیط می باشد. که مطابق جدول ۳ متوسط دمای محیط برای سایت مورد نظر ۱۵ درجه سانتیگراد، رطوبت نسبی سالانه ۵۴٪ و ارتفاع ساختگاه ۹۰۰ متر است. مشخصات همه تجهیزات اصلی از کاتالوگ ها و مدارک شرکت های سازنده آنها به نرم افزار داده شد که با انجام محاسبات مختلف، شبیه سازی نیروگاه سیکل ترکیبی در سایت مورد نظر استان زنجان انجام شد. برخی از نتایج حاصله از شکل شماره ۱ در جدول ۴ ارائه شد.

جدول ۴: مشخصات شبیه سازی مدل اول، با طراحی به روش مینا 2*160MW

مساحت سیکل	هزینه تولید سرمایه گذار	هزینه تولید پیمانکار	آب مصرفی سیکل	سوخت مصرفی	راندمان توربین گاز	راندمان کل	ظرفیت خروجی	شاخص ها
m ²	\$/kw	\$/kw	Kg/s	Kg/s	%	%	Kw	واحد
۲۲۳*۲۲۴	۸۸۳/۷	۸۱۰/۸	۱/۴۱۷	۱۸/۰۳	۴۹/۷۶	۳۳/۸۸	۴۱۷۰۵۷	نتایج



مجموعه مقالات پنجمین کنفرانس انرژی و محیط زیست

شماره شایک مقالات: ۸-۴۵-۴۵-۸۰۴۵-۶۰۰-۹۷۸

سوم دی ۱۳۹۴، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: هم‌اندیشان انرژی کیمیا و

انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران

www.Energyconf.ir



شکل ۱: نتایج حاصل از مدل اول

از آنجا که راندمان نیروگاه نقش تعیین کننده ای در میزان ظرفیت عملی خروجی نیروگاه دارا است مطابق جدول ۴ مشاهده می شود که راندمان توربین گاز مورد استفاده در شرایط سایت ۳۳/۸۸٪ و راندمان کل بلوک سیکل ترکیبی برابر ۴۹/۷۶٪ رسید. در نتیجه ظرفیت عملی نیروگاه شامل دو واحد گازی ۱۳۸/۶۱۵*۲ مگاوات و واحد بخار با ۱۳۹/۸۲۶ مگاوات برابر ۴۱۷/۵۰۷ مگاوات گردید. از سوی دیگر میزان سوخت مصرفی در نیروگاه به دلیل نیاز به صرف جویی در مصرف آن قابل اهمیت است که در این مدل میزان مصرفی ۱۸/۰۳ Kg/s بدست آمد. از آنجا که هزینه های تملک زمین و حفظ منابع طبیعی در ایران مورد توجه است که در این مدل مساحت مورد نیاز برای احداث نیروگاه ۲۲۳*۲۲۴ m² بود. اهمیت صرفه جویی در مصرف اب امری ضروری و حیاتی تلقی می شود به همین علت در نظر گرفتن میزان آن در طرح مورد نیاز است.



مطابق نتایج میزان آب مصرفی کل سیکل نیروگاه $1/417 \text{ Kg/s}$ می باشد. یکی از عوامل مهم برای احداث نیروگاه هزینه های بالای آن است که برای برخورداری طرح از توجیه اقتصادی مناسب سبب جذب سرمایه گذاری های بیشتر در این زمینه می شود که مشاهده می گردد هزینه تولید برای سرمایه گذار و همچنین پیمانکار نیروگاه در این مدل به ترتیب $883/7 \text{ \$/kw}$ و $810/8$ حاصل شد.

۳-۲ شبیه سازی مدل دوم

در راستای افزایش بهره‌وری در بخش تولید انرژی کشور ایران، افزایش راندمان متوسط واحدهای نیروگاهی در اولویت قرار گرفته است چنانچه استفاده از تکنولوژی جدید با راندمان بالاتر از اهمیت ویژه‌ای برخورد است. باتوجه به محدودیتهای موجود در زمینه تامین اعتبار لازم برای اجرای طرحهای مذکور، اولویت بندی و نهایتا تعیین مناسب ترین گزینه برای اجرای طرح از جمله فعالیت های ضروری در این زمینه می باشد. لذا برای مدل دوم شبیه سازی نیروگاه سیکل ترکیبی در سایت مورد نظر استان زنجان، به استفاده از تجهیزات با تکنولوژی جدیدتری اقدام گردید. بدین ترتیب اینبار مشخصات تجهیزات اصلی شامل یک واحد گازی نوع توربینهای کلاس F (توربین $V94.3 \text{ A}$) ساخت شرکت آنسالدو ایتالیا به ظرفیت 310 مگاوات در شرایط ISO و راندمان $39/9\%$ ، یک واحد HRSG به همراه سیستم Cooling نوع ACC و همچنین یک واحد بخاری سه فشاره، با فشار بالا (HP) فشار متوسط (IP) و فشار پایین (LP) و بازه ظرفیتی تا 320 مگاوات از کاتالوگ ها و مدارک سازندگان آنها استخراج و به همراه مشخصات سایت مورد نظر شامل متوسط دمای محیط 15 درجه سانتیگراد، رطوبت نسبی سالانه 54% و ارتفاع ساختمان 900 متر به نرم افزار ترموفلو جهت شبیه سازی نیروگاه سیکل ترکیبی داده شد. نتایج حاصل از خروجی نرم افزار مذکور در شکل شماره ۲ مشاهده می شود. از سوی دیگر شاخص پر اهمیت برای تحلیل عملکرد نیروگاه مطابق جدول ۴ برای این مدل نیز استخراج و در جدول ۵ آورده شد.

جدول ۵: مشخصات شبیه سازی مدل دوم، طراحی با تغییر توربین گاز $1*310 \text{ MW}$

مساحت سیکل	هزینه تولید سرمایه گذار	هزینه تولید پیمانکار	آب مصرفی سیکل	سوخت مصرفی	راندمان توربین گاز	راندمان کل	ظرفیت خروجی	شاخص ها
m^2	$\text{\$/kw}$	$\text{\$/kw}$	Kg/s	Kg/s	$\%$	$\%$	Kw	واحد
$252*196$	$649/1$	$595/5$	$1740/9$	$15/25$	$55/49$	$39/32$	417572	نتایج

مجموعه مقالات پنجمین کنفرانس انرژی و محیط زیست

شماره شایک مقالات: ۸-۴۵-۸۰۴۵-۶۰۰-۹۷۸

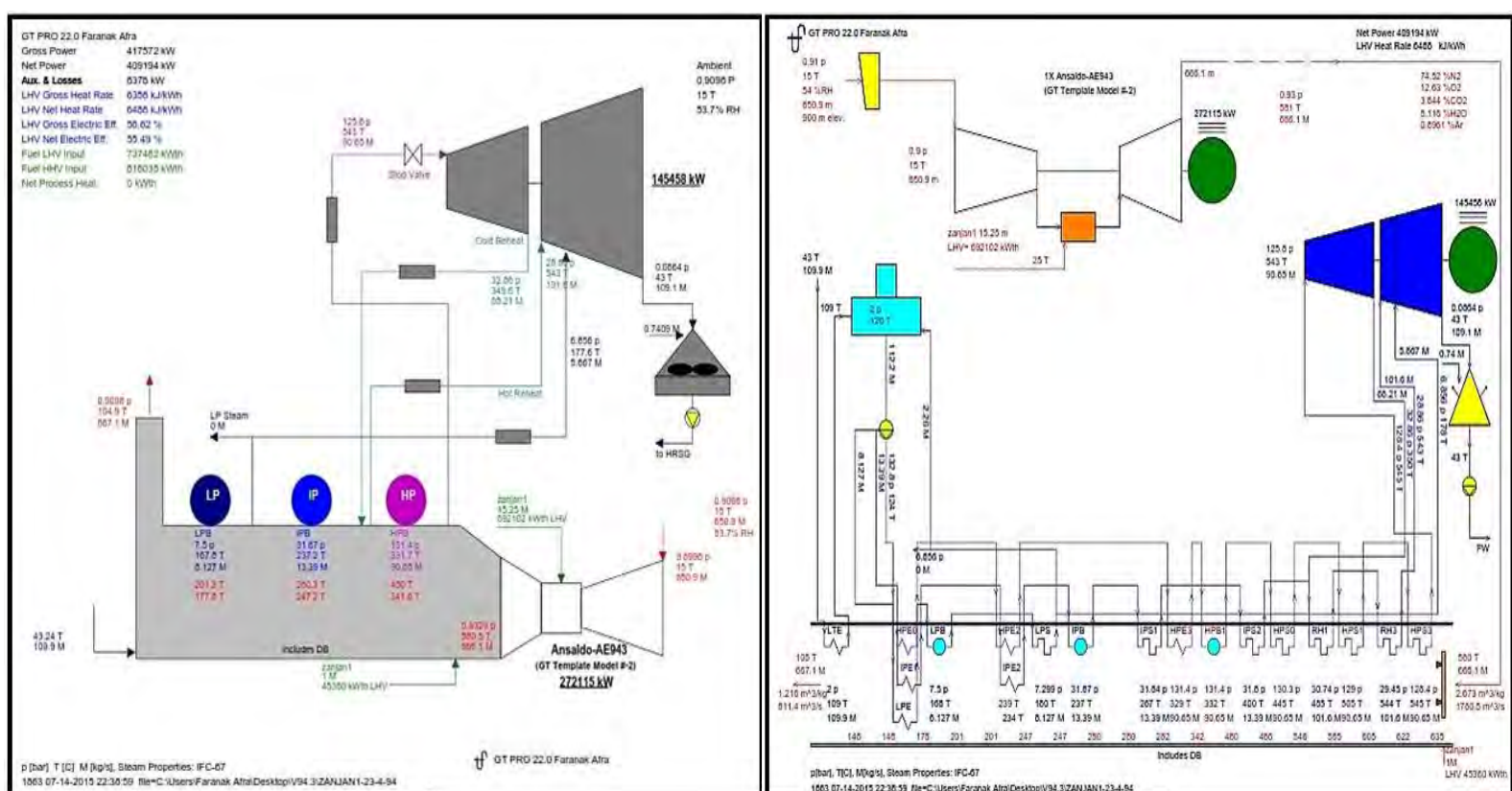
سوم دی ۱۳۹۴، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجربان: هم‌اندیشان انرژی کیمیا و

انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران

www.Energyconf.ir



شکل ۲: نتایج حاصل از مدل دوم

مطابق نتایج جدول ۵ راندمان توربین گاز مورد استفاده برای مدل دوم در شرایط سایت ۳۹/۳۲٪ و راندمان کل بلوک سیکل ترکیبی برابر ۵۵/۴۹٪ می‌باشد. در نتیجه ظرفیت عملی نیروگاه که شامل یک واحد گازی کلاس F (توربین V94.3 A) ۲۷۲/۱۱۵ مگاوات با واحد بخار سه فشاره با ۱۴۵/۴۵۸ مگاوات برابر ۴۱۷/۵۷۲ مگاوات گردید. مزیت این توربین در راندمان بالای با میزان ۳۹/۳۲٪، نسبت به راندمان توربین‌های مرسوم مورد استفاده با میزان ۳۳/۸۸٪، بیشتر است. یادآوری می‌شود راندمان بلوک سیکل ترکیبی در این نیروگاه برابر ۵۵/۴۹٪ می‌باشد که حدود ۶/۸۶٪ از راندمان واحدهای مشابه مورد استفاده در صنعت برق ایران بالاتر است. از سوی دیگر باتوجه به اهمیت انتخاب سایر شاخصها میزان سوخت مصرفی در این مدل با استفاده از یک توربین گاز با ظرفیت بالاتر برابر ۱۵/۲۵ Kg/s شد. که نسبت به مدل قبلی کاهش قابل ملاحظه‌ای دارد. از



طرفی مساحت مورد نیاز برای احداث این مدل 296×252 m برآورد می شود. افزایش راندمان کل سیکل باعث صرفه جویی در مصرف آب مصرفی شد و میزان آب مصرفی کل سیکل نیروگاه 0.7409 Kg/s کاهش یافت. هزینه تولید انرژی الکتریکی با توجه به افزایش راندمان و افزایش ظرفیت و کاهش سوخت و آب مصرفی به ترتیب $\$/kw$ ۶۴۹/۱ و ۵۹۵/۵ برای سرمایه گذار و پیمانکار نیروگاه رسید.

۳-۳ انتخاب بهینه ترین شبیه سازی با استفاده از Topsis

با توجه به روش تحقیق توضیح داده شده در این پژوهش و مراحل مختلف الگوریتم Topsis در این قسمت گام به گام داده های خروجی از نرم افزار ترموفلو در ماتریس تصمیم گیری Topsis پیاده سازی شده که مطابق گام های گفته شده ماتریس نرمال شده الگوریتم تصمیم گیری Topsis و پس از آن ماتریس وزن دهی شاخص ها بدست آمد که در این جدول مقادیر قطر اصلی همان وزن شاخص ها می باشد. در ادامه ماتریس V که از ضرب درایه های ماتریس N در ماتریس وزن شاخص ها تشکیل و مقادیر ایده آل و ایده آل منفی تعیین شد. در انتها با تعیین مقادیر di^+ ، di^- و Ci^+ و انجام محاسبات مشخص شد که مدل دوم گزینه ارجح شبیه سازی شده می باشد.

گزینه ها	di^+	di^-	Ci^+
مدل اول	۰,۰۵۸۱۴	۰,۰۰۷۹۵	۰,۱۲۰۲۶
مدل دوم	۰,۱۱۶۲۸	۰,۰۵۸۱۴	۰,۳۳۳۳۹

جدول ۶: امتیاز هر دو مدل اول و دوم

۴- فهرست علائم

di^+	فاصله گزینه i از ایده آل	$W_{n \times n}$	ماتریس تصمیم گیرنده
di^-	فاصله گزینه i از ایده آل منفی	N_D	ماتریس نرمال شده
Ci^+	نزدیکی نسبی به راه حل ایده آل	V	ماتریس بی مقیاس شده
HRSG	Heat recovery steam generator	A^+	گزینه ی ایده آل
ACC	Air Cooled Condensers	A^-	گزینه ی منفی

۵- نتیجه گیری

پژوهش حاضر پس از شبیه سازی نیروگاه سیکل ترکیبی با استفاده نرم افزار ترموفلو برای سایت انتخابی زنجان در دو مدل مختلف که به ترتیب شامل مدل اول با استفاده از دو واحد گازی از نوع توربین کلاس E (توربین ۷۹۴.۲)، دو واحد HRSG



به همراه سیستم Cooling نوع ACC و یک واحد بخارمدل E و مدل دوم با استفاده از یک واحد گازی نوع توربین کلاس F (توربین V94.3 A)، یک واحد HRSG به همراه سیستم Cooling نوع ACC و همچنین یک واحد بخاری سه فشاره بود. و بعد از بررسی از خروجی‌های حاصل از نرم‌افزار ترموفلو برای مدل‌های شبیه‌سازی شده با الگوریتم Topsis مدل بهینه مشخص گردید. به این ترتیب که پس از مقایسه و امتیاز دهی هر مدل از لحاظ شاخص‌های راندمان، سوخت مصرفی، آب مصرفی، مساحت و هزینه‌های تولید به این نتیجه دست یافت که مدل دوم با امتیاز ۰/۳۳۳۳۹ عملکرد بهتری نسبت به مدل اول با امتیاز ۰/۱۲۰۲۶ دارد.

۶- مراجع

- [۱] Mansouri, mohammad Tajik; Ahmadi, Pouria; Ganjeh Kaviri, Abdosaeid; Nazari mohd Jafar, Mohammad. (2012). Exergetic and Economic Evaluation of the effect of HRSG Configurading on the Performance of Combined Cycle Power Plant. *Energy Conversion and Management* , 47-58.
- [۲] Saikia, Lalit Chandar; Sahu, Shashi Kant. (2013). Automatic Generation Control of a Combined Cycle Gas Turbine Plant with Classical Controllers Using Firefly Algorithm . *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 27-33.
- [۳] علی پسندی، مریم؛ محمدی اردهانی، مرتضی. (1390). مدل سازی عملکرد نیروگاه بخاری بعثت و پیش بینی توان تولیدی با استفاده از داده های تجربی جمع اوری شده و شبکه های عصبی مصنوعی. چهارمین کنفرانس نیروگاه های کشور. (pp. 1-10). تهران: پژوهشگاه نیرو.
- [۴] حمدوند، مهدی؛ سربندی فراهانی، محمد ابراهیم. (1390). انتخاب نیروگاه هدف جهت اجرای طرح افزایش راندمان نیروگاه های حرارتی کشور. چهارمین کنفرانس نیروگاه های برق (pp. 1-11). تهران: پژوهشگاه نیرو.
- [۵] رحمانی، فرشته؛ نمازی تجرق، اکبر؛ سربندی فراهانی، محمد ابراهیم. (1390). ارزیابی فنی -اقتصادی روش های رفع محدودیت تولید در واحد شماره سه نیروگاه بعثت. چهارمین کنفرانس نیروگاه های برق. (pp. 1-10). تهران: پژوهشگاه نیرو.
- [۶] عظیمیان، احمد رضا؛ خانمحمدی، شعیب. (1387). بررسی اثرات وجود احتراق اضافی بر روی عملکرد ترمودینامیکی و ترمواکونومیکی نیروگاه سیکل ترکیبی. اولین کنفرانس نیروگاه های برق (pp. 1-12). قزوین: دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره).
- [۷] اصغریور، م. (۱۳۸۸) تصمیم گیری‌های چند معیاره، انتشارات دانشگاه تهران، صفحات ۲۶۶-۱۹۱.
- [۸] Rao, V. R. (2007) *Decision Making in the Manufacturing Environment Using Graph Theory and Fuzzy Multiple Attribute Decision Making*, Springer.

مجموعه مقالات پنجمین کنفرانس انرژی و محیط زیست

شماره شایک مقالات: ۸-۴۵-۸۰۴۵-۶۰۰-۹۷۸

سوم دی ۱۳۹۴، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجربان: هم اندیشان انرژی کیمیا و

انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران

www.Energyconf.ir



www.Energyconf.ir