

بهینه‌سازی ترمودینامیکی و ترمواکونومیکی نیروگاه سیکل ترکیبی

علی‌رضا صولت‌پور، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب

Ali.solatpoor@gmail.com

محسن عبداللهی، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان

Mohsen abdollahi@gmail.com

سیروس آقاجفی، دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

aghanajafi@Kntu.ac.ir

چکیده

نیروگاه سیکل ترکیبی مؤثرترین نوع نیروگاه در بین تمامی نیروگاه‌هاست زیرا علاوه بر بازده و توان بالا از مزایای دیگری همچون انعطاف‌پذیری و راه‌اندازی سریع نیز برخوردار است. در این مقاله نیروگاه سیکل ترکیبی فارس، شامل بخش‌های گاز و بخار، با نرم‌افزار ایز^۱ مورد تحلیل و بهینه‌سازی فنی و اقتصادی قرار گرفته است. معیار ارزیابی در عملیات بهینه‌سازی تابع هدف هزینه کل است که شامل قسمت‌های مربوط به هزینه‌های جاری (بخش ترمودینامیکی) و هزینه‌های سرمایه‌گذاری (بخش اقتصادی) می‌باشد. در این روش ابتدا با استفاده از معادلات بالانس انرژی در اجزای مختلف، مقدار جریان انرژی در خطوط سیستم و میزان انهدام انرژی در هر یک از اجزای سیکل تعیین شده است. در مرحله بعد، با اعمال بالانس انرژی انرژی در هر یک از اجزای سیستم، دستگاه معادلات انرژی انرژی تعیین می‌شود که از آن قیمت واحد انرژی در خطوط جریان، هزینه انهدام انرژی در اجزای مختلف سیستم و سایر متغیرهای موردنیاز در تحلیل انرژی - اقتصادی به دست آمده است.

واژه‌های کلیدی: نیروگاه سیکل ترکیبی، تحلیل ترمودینامیکی، بهینه‌سازی ترمواکونومیک، انرژی

مقدمه

بهینه‌سازی جهت کاهش هزینه سوخت‌های مصرفی

بسیار مؤثر است [۱]. مهم‌ترین نکته در مورد نیروگاه

سیکل ترکیبی این است که از خروجی معین سیکل

نیروگاه سیکل ترکیبی مؤثرترین نوع نیروگاه در بین

تمامی نیروگاه‌هاست. در این نوع از نیروگاه‌ها، طراحی

نیروگاه گازی بتوانیم بیشترین توان را از سیکل نیروگاه بخاری به دست آوریم. با توجه به اینکه سیکل ترکیبی بازده بیشتری نسبت به سیکل رنکین و برایتون دارد، برای تولید توان نیز بیشتر مورد توجه قرار می گیرد و به جهت داشتن آلودگی کمتر در دنیا گسترش یافته است. تحلیل اگزرژی یک سیستم ترمودینامیکی سبب می شود که بتوان میزان اتلافات اگزرژی سیستم را برآورد کرد و راندمان مجموعه را محاسبه نمود [۲].

در اینجا منظور از اگزرژی، حداکثر کار قابل دسترس سیستم از حالت فعلی به حالت تعادل ترمودینامیکی با محیط اطرافش است [۳].

تحلیل اگزرژی سیستم معمولاً ارتباط تنگاتنگی با مشخصات اقتصادی آن دارد، از این رو تحلیل ترمو اقتصادی ابزار مناسبی است که این امکان را فراهم می کند تا قیمت واحد محصولات تولیدی را حساب کرده، میزان هزینه تلفات اگزرژی و تولید آنتروپی برآورد شود [۲].

تاکنون کارهای زیادی در رابطه با تحلیل ترمو اکونومیک نیروگاه های سیکل ترکیبی انجام شده است که از آن جمله می توان به کار داینس^۲ و روزن^۳ اشاره کرد، که در آن به تحلیل انرژی و اگزرژی نیروگاه بخار با پیش گرمایش برای حالت های مختلف راه اندازی و دما و فشار بویلر پرداخته شده است [۴]. همچنین احمدی و همکارانش به تحلیل ترمودینامیکی و ترمو اکونومیک نیروگاه سیکل ترکیبی دو شاره نکا پرداخته اند [۵]. برزگر نیز یک نیروگاه سیکل ترکیبی را از لحاظ اگزرژی و اگزرو اکونومیک تحلیل کرده است [۶]. احمدی و همکارانش نیروگاه های سیکل ترکیبی ایران را از لحاظ اگزرژی و ترمو اکونومیک نیز بررسی کرده اند [۷]. همچنین صیادی و همکارانش راکتور یک

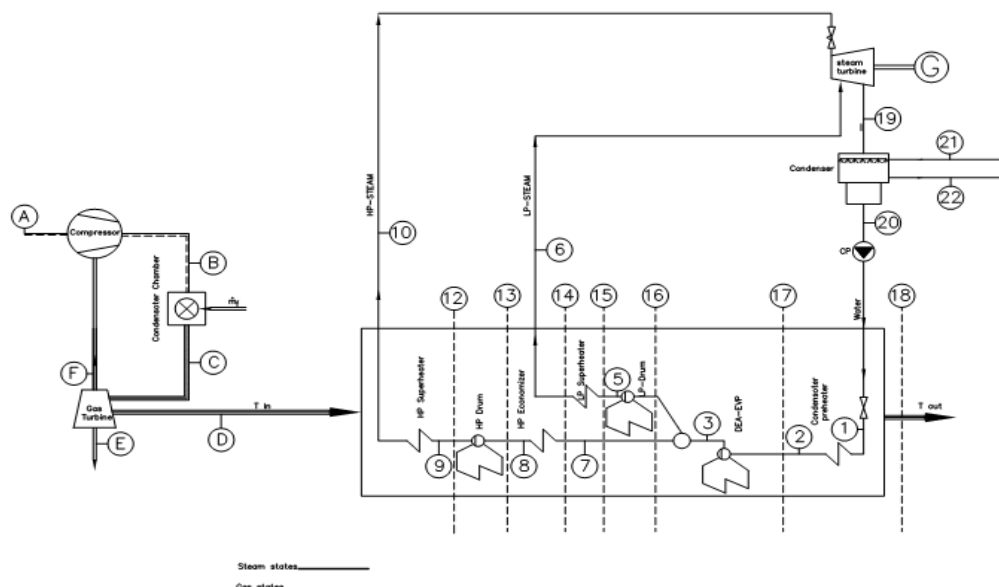
نیروگاه آب سبک را با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه سازی کرده اند [۸]. عمیدپور و همکارانش نیز یک نیروگاه هسته ای کوپل شده با آب شیرین کن را با استفاده از الگوریتم محاسباتی به صورت چند هدفه بهینه سازی ترمو اکونومیک کرده اند [۹].

بهینه سازی سیکل های ترمودینامیکی به روش های متفاوتی همچون پینچ، اگزرژی، پینچ اگزرژی و ترمو اکونومیک انجام می گیرند که در هر کدام از این روش ها متغیرهای متفاوتی می تواند به عنوان پارامتر طراحی مدنظر قرار گیرند. در این مقاله از روش بهینه سازی ترمو اکونومیک استفاده شده است که پارامترهای طراحی و بهینه سازی آن نسبت فشار و راندمان کمپرسور، دمای ورودی به توربین گاز و بخار، فشار کندانسور و غیره می باشند. این بهینه سازی براساس تابع هدفی مشخص صورت می گیرد. این تابع می تواند هزینه کل نیروگاه که شامل هزینه خرید تجهیزات، هزینه سوخت مصرفی و تعمیرات باشد. بهینه سازی در قالب یکی از الگوریتم های بهینه سازی و به منظور کمینه نمودن تابع هدف انجام شود. در این مقاله ابتدا نیروگاه سیکل ترکیبی فارس مورد تحلیل ترمودینامیکی قرار گرفته، سپس ضمن انجام تحلیل اگزرژی به کمک الگوریتم ژنتیک و با مدل سازی در نرم افزار ایز به روش ترمو اکونومیک بهینه سازی شده است.

معرفی نیروگاه سیکل ترکیبی فارس

نیروگاه سیکل ترکیبی فارس، که نمای شماتیک آن در شکل ۱ نمایش داده شده است، از شش واحد گازی، هریک با توان ۳/۱۲۱ مگاوات و سه واحد بخار، هر کدام با توان ۲/۹۸ مگاوات تشکیل شده است. لازم به ذکر است که توربین بخار سیکل نیروگاه فارس دوفشاره می باشد.





شکل ۱. شماتیک نیروگاه سیکل ترکیبی فارس

تحلیل ترمودینامیکی

در این قسمت با توجه به شکل ۱ قانون بقای انرژی نوشته و مقدار آنتالپی، دما و فشار جریان در کل سیکل محاسبه می‌شود.

در رابطه فوق η_{cc} ارزش حرارتی سوخت، که در اینجا گاز طبیعی است، می‌باشد. η_{cc} راندمان محفظه احتراق است. برای افت فشار محفظه احتراق نیز داریم:

$$\frac{P_c}{P_b} = 1 - \Delta p_{cc}$$

کمپرسور سیکل گاز

$$T_b = T_a \times \left(1 + \left(\frac{1}{\eta_{com}} \right) \times \left(r_c^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right) \right)$$

کار کمپرسور نیز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$W_{com} = M_a C_{pa} (T_b - T_a)$$

به‌طوری‌که مقدار η_c و کاملاً وابسته به دما بوده، از رابطه زیر محاسبه می‌شود،

$$C_{pa}(T) = 1.04841 - \left(\frac{3.8371T}{10^4} \right) + \left(\frac{9.4537T^2}{10^7} \right) - \left(\frac{5.4931T^3}{10^{10}} \right) + \left(\frac{7.9298T^4}{10^{14}} \right)$$

محفظه احتراق

$$M_a h_b + m_f LHV = M_g h_c + (1 - \eta_{cc}) m_f LHV$$

$$M_g = M_a + m_f$$

توربین گاز

$$T_d = T_c * \left(1 - \eta_{gt} * \left(1 - (rc)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \right) \right)$$

که در رابطه فوق η_{gt} راندمان آیزنتروپیک توربین می‌باشد.

$$W_{GT} = M_g C_{pg} (T_c - T_d)$$

به‌طوری‌که در این رابطه η_c و مقدار از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C_{pg}(T) = 0.991615 - \left(\frac{6.99703T}{10^5} \right) + \left(\frac{2.7129T^2}{10^7} \right) - \left(\frac{1.22442T^3}{10^{10}} \right)$$

بدین ترتیب برای کار خالص خروجی از توربین داریم،

$$M_{s,HP} + M_{s,LP} = M_s$$

و برای راندمان توربین بخار نیز داریم،

$$\eta_{ST} = \frac{W_{act}}{W_{is}}$$

کندانسور

$$\dot{M}_s(h_{19} - h_{20}) = \dot{M}_{cooling}(h_{22} - h_{21}) \times \eta_{cond}$$

پمپ

$$W_{p1} = \frac{M_s(h_1 - h_{20})}{\eta_p}$$

$$W_{BFP,HP} = \frac{M_{s,HP}(h_{out} - h_{in})}{\eta_p}$$

$$W_{BFP,LP} = \frac{M_{s,LP}(h_{out} - h_{in})}{\eta_p}$$

محاسبه راندمان حرارتی سیکل

راندمان حرارتی سیکل گاز

$$\eta_{gas,cycle} = \frac{W_{GT} - W_{com}}{Q_{CC}}$$

راندمان سیکل توربین بخار

$$\eta_{steam,cycle} = \frac{W_{ST} - W_{pump}}{Q_{HRSg}}$$

راندمان سیکل ترکیبی

$$\eta_{CCPP} = \frac{W_{ST} + W_{GT} - W_{com} - W_{pump}}{Q_{in,CCPP}}$$

که در رابطه بالا $Q_{in,CCPP}$ شامل حرارت انتقالی در محفظه احتراق و حرارت مصرفی در بویلر کمکی (در صورت استفاده) می باشد.

تحلیل انرژی

در ادامه مقاله برای انجام آنالیز انرژی، مقادیر انرژی تمامی نقاط از جریانها محاسبه می شود. برای محاسبه

$$W_{net} = W_{GT} - W_{com}$$

مدلسازی حرارتی بویلر بازیاب

بویلر بازیاب از چندین بخش تشکیل شده است که در ادامه به مدلسازی هریک از این بخشها می پردازیم:

سوپرهیتر فشار بالا

$$M_g C_p (T_d - T_{12}) = M_{s,HP} (h_{10} - h_9)$$

که در رابطه فوق M_g چدبی بخار ورودی به توربین فشار قوی می باشد.

اوپراتور فشار بالا

$$M_g C_p (T_{12} - T_{13}) = M_{s,HP} (h_9 - h_8)$$

اکونومایزر فشار بالا

$$M_g C_p (T_{13} - T_{14}) = M_{s,HP} (h_8 - h_7)$$

سوپرهیتر فشار پایین

$$M_g C_p (T_{14} - T_{15}) = M_{s,LP} (h_6 - h_5)$$

اوپراتور فشار پایین

$$M_g C_p (T_{15} - T_{16}) = M_{s,LP} (h_5 - h_4)$$

دی اریتور

$$M_g C_p (T_{16} - T_{17}) = M_{s,LP} (h_3 - h_2)$$

پیش گرمکن

$$M_g C_p (T_{17} - T_{18}) = M_{s,LP} (h_2 - h_1)$$

توربین بخار

$$(M_{s,HP} h_{10} + M_{s,LP} h_6 - M_s h_{19}) = W_{ST,i}$$

که داریم،



هزینه‌یابی انرژی

برای یک سیستم ترمودینامیکی می‌توان تعدادی جریان جرم و انرژی در ورودی و خروجی به همراه مبادله کار و گرما با محیط در نظر گرفت. این جریان‌های جرم و انرژی، می‌توان جریان‌های انرژی به داخل و خارج سیستم هم داشت و به طور همزمان برگشت ناپذیری‌های موجود در سیستم اتلاف انرژی هم وجود خواهد داشت. از آنجایی که انرژی نشان دهنده ارزش ترمودینامیکی یک جریان است، طبیعی است که هزینه این جریان‌ها را به نرخ انتقال انرژی آن مرتبط گردد. به این قسمت ترمواکونومیک، هزینه‌یابی برای انرژی می‌گویند. بسته به منشأ، هزینه‌ها را به \dot{E}_f (برای ورودی) و \dot{E}_g (برای خروجی) و \dot{E}_l (برای انتقال گرما نشان داده می‌شود، یعنی،

$$\dot{C}_i = c_i \times \dot{E}_i = c_i (\dot{m}_i \times e_i)$$

$$\dot{C}_e = c_e \times \dot{E}_e = c_e (\dot{m}_e \times e_e)$$

$$\dot{C}_w = c_w \times \dot{W}$$

$$\dot{C}_q = c_q \times \dot{Q}$$

که در آن \dot{E}_i انرژی ورودی بر واحد جرم به سیستم بر حسب کیلوژول بر کیلوگرم و \dot{E}_g انرژی خروجی بر واحد جرم از سیستم بر حسب کیلوژول بر کیلوگرم است. هم چنین \dot{C}_i دبی جرمی بر حسب کیلوگرم بر ثانیه و \dot{C}_e هزینه‌های متوسط بر واحد انرژی است. برای یک جزء در مجموعه یک سیکل معادله موازنه نرخ هزینه‌ها به صورت زیر است،

$$\sum \dot{C}_{e,k} + \dot{C}_{w,k} = \dot{C}_{q,k} + \sum \dot{C}_{i,k} + \dot{Z}_k$$

سمت چپ معادله نشان دهنده هزینه‌های خروجی از جزء بوده و سمت راست آن نیز نرخ هزینه‌های ورودی را نشان می‌دهند. در معادله بالا $\dot{C}_{q,k}$ هزینه مربوط به سرمایه‌گذاری اولیه و تعمیرات و نگهداری است که با استفاده از مراجع معتبر $\dot{C}_{q,k}$ قیمت تجهیزات بر حسب

انرژی لازم است نسبت به یک حالت مبدا که در اینجا همان شرایط محیطی می‌باشد سنجیده گردد. برای شرایط محیطی دما ۲۵ درجه سانتیگراد و فشار اتمسفر در نظر گرفته شده است. با دانستن این شرایط و محاسبه مقدار آنتالپی و آنتروپی جریان‌ها با استفاده از تحلیل ترمودینامیکی مقدار انرژی هر یک از جریان‌ها از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$e = (h - h_0) - T_0(S - S_0)$$

با نوشتن این رابطه برای تمامی نقاط مورد نظر مقدار انرژی تمامی نقاط محاسبه می‌گردد. هم چنین با داشتن مقدار انرژی ورودی و خروجی به هر یک از اجزا نیروگاه می‌توان میزان تخریب انرژی در هر قسمت را با استفاده از روابط جدول ۱ محاسبه کرد.

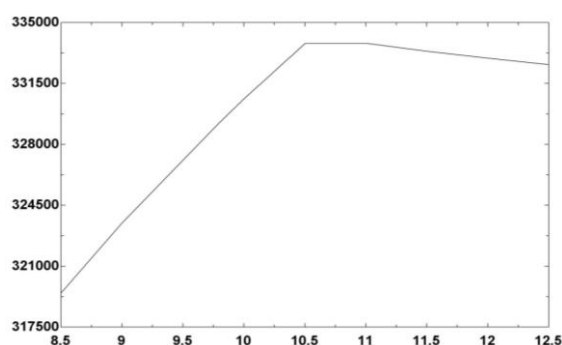
تحلیل ترمواکونومیک

ترمواکونومیک ترکیبی از تحلیل انرژی و اقتصاد است. تحلیل انرژی قادر است که انهدام انرژی را برآورد کند و برای این کار باید برنامه‌ای تهیه کرد که کل یک سیکل را تحلیل ترمودینامیکی کرده و پس از حل کامل معادلات بقای جرم و انرژی و تعیین خواص مختلف در کلیه گرهای تعریف شده در سیکل به برآورد تلفات انرژی بپردازد که این کار جداگانه انجام می‌گیرد، بدین صورت که پس از نوشتن معادلات بقای جرم و انرژی برای کلیه اجزای نیروگاه دستگاه معادلات حاکم با استفاده از روش‌های تکرار عددی حل می‌گردد. البته این قسمت چون امر شناخته شده‌ای است از آوردن آن خودداری شده است پس از برآورد تلفات انرژی نکته مهم بعدی دانستن هزینه‌های این تلفات است. به هنگام بحث ترمواکونومیک لازم است که بین هزینه انرژی \dot{C}_i و نرخ هزینه \dot{C}_e تفاوت قائل شویم.

هوا را بر توان تولیدی و تاثیر Δ و دبی هوا را بر هزینه مصرفی نشان داده شده است. با توجه با اشکال مذکور می توان محدوده مناسب پارامترهایی نظیر Δ و دبی هوا را به دست آورد. بدین ترتیب با توجه به اهداف تعیین شده که افزایش توان خروجی و کاهش هزینه کل بوده است مقادیر هریک از پارامترها برای رسیدن به یک شرایط کارکردی بهینه محاسبه شده است.

نتیجه گیری

در این مقاله با بررسی قانون اول و دو ترمودینامیک برای نیروگاه سیکل ترکیبی فارس به تحلیل ترمودینامیکی و انرژی مبادرت شده است که نتیجه آن تعیین انرژی برای نقاط مختلف سیکل با حل مجموعه دستگاه های چندمعادله چند مجهولی بوده است. حال به کمک این نتایج و نوشتن بالانس هزینه برای تک تک اجزای سیکل مذکور تحلیل ترمواکونومیک شده، که در پایان با داشتن نرخ جریانهای انرژی برای نقاط مختلف سیکل بهینه سازی ترمواکونومیکی انجام شده است. که نتیجه آن یافتن پارامترهای مهم طراحی از جمله نسبت تراکم و دبی هوای کمپرسور و ... برای کمینه نمودن هزینه کل و بیشینه نمودن توان کل خروجی بوده است. این کار برای اولین بار برای نیروگاه سیکل ترکیبی فارس انجام شده است.



شکل ۲. کل توان خروجی بر حسب نسبت تراکم و محل نقطه بیشینه توان

ظرفیتشان به صورت تابعی معلوم به دست آمده و در معادلات منظور میگردد. روش های مختلفی جهت محاسبه Δ پیشنهاد شده است ولی آن چه که در این جا مورد استفاده قرار گرفته، روشی است که احمدی و همکارانش **ض ۵** پیشنهاد داده است و به صورت زیر می باشد

$$\dot{Z}_k = Z_k \times CRF \times \varphi / (N \times 3600)$$

$$CRF = i \times \frac{1 + i}{\{(1 + i)^n - 1\}}$$

بطوری که \dot{Z}_k قیمت به دلار، Z_k میزان کارکرد سالانه بر حسب ثانیه یا ساعت F میزان سود بانکی و k تعداد سال کارکرد است.

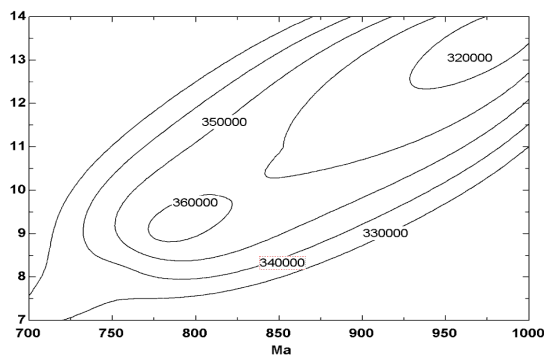
تحلیل و بهینه سازی ترمواکونومیک

با توجه به مطالب قسمت قبل، سیکل نیروگاه فارس در نرم افزار ایز به صورت کامل شبیه سازی شده است. سپس با در نظر گرفتن پارامترهای بهینه سازی که در جدول ۲ مقادیر این پارامترها در دو حالت بهینه و کنونی ارائه شده اند و همچنین تعریف تابع هدف که هزینه کل اعم از هزینه خرید تجهیزات، هزینه سوخت و هزینه تعمیرات و نگهداری می باشد و با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه سازی ترمواکونومیک شده است. با توجه به این که الگوریتم ژنتیک قادر به بهینه سازی مسائل به صورت همزمان و بر اساس چندین متغیر می باشد، در این جا نتایج حاصل از بهینه سازی تابع هدف را بر اساس متغیرهای جدول ۲ محاسبه شد، در جدول ۳ ارائه شده است. هم چنین از آن جایی که در یک سیکل نیروگاهی علاوه بر میزان هزینه کل، مقدار توان تولیدی نیز بسیار مورد توجه است، از جمله کارهای مهمی که در این مقاله انجام شده است، انتخاب نسبت تراکم مناسب برای کمپرسور و دبی مناسب هوا به منظور دستیابی به حداکثر توان تولیدی و حداقل هزینه مصرفی است. در اشکال ۳ و ۴ به ترتیب تاثیر مقدار Δ و دبی

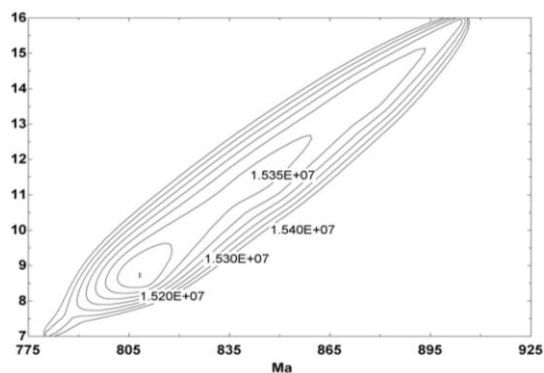


تشکر و قدردانی

در اینجا لازم می‌دانیم از مدیریت محترم شرکت برق منطقه ای فارس و نیروگاه سیکل ترکیبی فارس به خاطر دراختیار قرار دادن اطلاعات فنی نیروگاه مذکور، تشکر و قدردانی نماییم.



شکل ۳. کانتور توان خروجی برحسب نسبت تراکم و دبی هوا (جهت یافتن بیشینه توان)



شکل ۴. کانتور هزینه کل بر حسب نسبت تراکم و دبی
هوا جهت یافتن کمینه هزینه

جدول ۱. تخریب اگزرژی و بازده اگزرژی در هر قسمت نیروگاه

Exergy Efficiency	Exergy Destruction	Component
$\eta_{HRSG} = \frac{E_{10} + \dot{E}_6 - E_1}{E_{11} - E_{18}}$	$\dot{E}_{D,HRSG} = \sum_{i,HRSG} \dot{E} - \sum_{o,HRSG} \dot{E}$	ذات
$\eta_{s,s} = \frac{\dot{W}_t}{(\dot{E}_{i,T} - \dot{E}_{s,T})}$	$\dot{E}_{D,T} = \sum_{i,T} \dot{E} - \sum_{s,T} \dot{E} - \dot{W}$	توربین
$\eta_{s,p} = \frac{(\dot{E}_{i,p} - \dot{E}_{o,p})}{\dot{W}_p}$	$\dot{E}_{D,p} = \dot{E}_{i,p} + \dot{W}_p$	پمپ
$\eta_{AC} = \frac{E_2 - E_1}{W_{AC}}$	$E_{D,AC} = E_A - E_B - E_{W,AC}$	کولر
$\eta_{CC} = \frac{E_C}{E_B + E_{f,cc}} - E_C$	$E_{D,CC} = E_B + E_{f,cc} - E_C$	کامپرسور
$\eta_{GT} = \frac{W_{GT}}{E_C - E_D}$	$E_{D,GT} = E_C - E_D - W_{GT}$	توربین گاز
$\eta_{DB} = \frac{E_{11}}{E_D + E_{f,DB}}$	$E_{D,DB} = E_D - E_{11} + E_{f,DB}$	بهره‌دهنده
$\eta_{Cond} = 1 - \frac{E_{D,Cond}}{\sum_{in,Cond} E}$	$\dot{E}_{D,C} = \sum_{i,C} \dot{E} - \sum_{s,C} \dot{E}$	کندانسور

جدول ۳. متغیرهای ترموآکونومیکی جدید و مقادیر آنها

پارامتر	مقدار اولیه	مقدار در حالت بهینه
نسبت تراکم کمپرسور	۱۲/۵	۱۱/۹۷
دمای ورودی به توربین گاز (کلوین)	۱۴۷۴	۱۵۰۰
دمای ورودی به توربین بخار فشار قوی (کلوین)	۷۸۳	۷۸۷/۴
فشار کندانسور (کیلوپاسگال)	۹/۸۱	۱۱/۲۸
فشار بخار ورودی به بخار فشار قوی (کیلوپاسگال)	۸۴۵۳	۸۳۴۶
دمای ورودی به توربین بخار فشار ضعیف (کلوین)	۵۰۲	۵۳۶/۵
فشار ورودی به توربین بخار فشار ضعیف (کیلوپاسگال)	۶۶۰	۶۲۶/۶
دبی هوای کمپرسور (کیلوگرم بر ثانیه)	۸۲۰	۱۰۰۰
دبی سوخت (کیلوگرم بر ثانیه)	۲۰	۱۵/۰۶

منابع

چم کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 قع م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 ع م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.

لا م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 ع م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 د م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 ف م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.

ط م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 د م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.

ا م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 ق م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.

پی نوشت

۱- پی

۲- ع کث

۳- کث

ع کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 ع کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.

ض م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.

عظیمیان، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۲.

ع کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.

ع کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.

ع کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.

ع کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.

ع کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.

ع کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.
 م کث. (۵۱۲-۵۱۳، ۲۰۰۹). لغت معجم فارسی. تهران: انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی.