



تحلیل ترمودینامیکی و اگزرژیواکونومیکی ترکیب سیکل تولید توان زمین‌گرمایی با سیکل کالینا و سیکل رانکین با سیال‌های آلی مختلف

ناصر شوکتی^۱، فرامرز رنجبر^{۲*}

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۲ استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۱۵؛ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۳/۱۱/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۳۰

چکیده

در این تحقیق، سیکل‌های ترکیبی تولید توان تک‌تبخیره زمین‌گرمایی و سیکل کالینا و سیکل رانکین با سیال‌های آلی مختلف از نظر انرژی، اگزرژی و اگزرژیواکونومیکی مورد بررسی قرار گرفته‌است. سیال‌های آلی بکاررفته در این تحقیق عبارتند از: ایزوپنتان، ایزوبنتان، پنتان، ان-پنتان و R123. از دیدگاه SPECO برای تحلیل اگزرژیواکونومیکی سیکل‌های ترکیبی استفاده گردیده‌است. نتایج نشان داده‌است که در بین سیکل‌های ترکیبی مورد بررسی، سیکل ترکیبی زمین‌گرمایی-ORC با سیال R123 و ان-پنتان دارای بیشترین بازده قانون اول هستند در حالی که سیکل ترکیبی زمین‌گرمایی-کالینا با غلظت‌های متفاوت آمونیاک در مخلوط آب-آمونیاک، دارای کمترین هزینه تولید توان است. همچنین سیکل ترکیبی زمین‌گرمایی-ORC با سیال R123 دارای کمترین مقدار نرخ هزینه مرتبط با تخریب اگزرژی است. با توجه به نتایج بهینه‌سازی سیکل‌های ترکیبی، در سیکل ترکیبی زمین‌گرمایی و سیکل کالینا با غلظت آمونیاک ۰/۷ کمینه هزینه تولید توان ۸/۶۳٪ کمتر از هزینه تولید توان در حالت بیشینه بازده ترمودینامیکی است که بیشترین تغییر را در بین سیکل‌های مورد بررسی دارد و کمترین تغییر مربوط به سیکل ترکیبی زمین‌گرمایی-ORC با سیال ان-پنتان است. همچنین تحلیل پارامتری صورت گرفته و اثرات متغیرهای ترمودینامیکی مختلف سیکل‌ها بر عملکرد اگزرژیواکونومیکی سیکل‌های ترکیبی در نظر گرفته‌شده، مورد بررسی قرار گرفته‌است.

کلمات کلیدی: زمین‌گرمایی؛ کالینا؛ اگزرژیواکونومیک؛ ORC؛ تخریب اگزرژی.

Thermodynamic and Exergoeconomic Analysis of Combination of Single-Flash Geothermal Power Cycle with Kalina and ORC with different Organic Fluids

N.Shokati¹, F. Ranjbar^{2,*}

¹ Ph.D. Student, Mech. Eng., Tabriz Univ., Tabriz, Iran

² Assis. Prof., Mech. Eng., Tabriz Univ., Tabriz, Iran

Abstract

In this paper, single-flash geothermal power cycle with Kalina and ORC combined cycles are examined from energy, exergy and exergoeconomic viewpoints. Isobutane, isopentane, n-butane, n-pentane and R123 are used as working fluids in ORC. Exergoeconomic analysis is performed using the SPECO method. The results show that geothermal power cycle-ORC with R123 and n-pentane have the highest value of first law efficiency among considered combined cycles whereas geothermal power cycle-Kalina has the lowest unit cost of power produced by turbines. According to optimization of the combined cycles, the minimum unit cost of power produced for the geothermal power cycle-Kalina is 8.63% lower than the unit cost of power produced in the maximum first law efficiency.

Keywords: geothermal; Kalina; exergoeconomic; ORC; exergy destruction.

۱-مقدمه

افزایش نیاز به انرژی، منابع محدود سوخت های فسیلی و اثرات مضر زیست محیطی آنها (از جمله گرمایش جهانی) تلاش برای استفاده از منابع انرژی های پاک را بیشتر کرده است. در بین منابع انرژی تجدیدپذیر، انرژی زمین گرمایی به دلیل منابع وسیع در گستره ی زمین جایگاه ویژه ای دارد [۱]. سیال حامل انرژی زمین گرمایی از قسمت زیرین پوسته ی زمین با دمای ۵۰ تا ۳۵۰ می تواند وجود داشته باشد. این سیال دارای حالت های بخار، مخلوط بخار و مایع یا فقط آب مایع می باشد [۲]. در ادبیات فن ، مطالعات زیادی مربوط به نیروگاه های زمین گرمایی وجود دارد. آنه- که^۱ و همکاران [۲] مدلی برای تحلیل نیروگاه سیکل رانکین با سیال عامل آلی بر پایه انرژی زمین گرمایی چنا^۲ را ارائه داد و درستی نتایج را با استفاده از داده های واقعی تایید کرد. از این مدل برای نشان دادن تاثیر تغییرات دمای منبع زمین گرمایی بر عملکرد نیروگاه استفاده شده است. تحلیل نشان داد که افزایش دمای منبع زمین گرمایی در بالای نقطه طراحی نیروگاه، دبی جرمی سیال عامل را بالا می برد، درجه ی فوق گرم کردن در ورودی توربین را کاهش می دهد، توان خالص خروجی نیروگاه را افزایش می دهد و بازده را کاهش می دهد. کانگلو^۳ و بولاتورک^۴ [۳] یک نیروگاه زمین گرمایی دوگانه^۵ را از نظر انرژی با استفاده از داده های نیروگاه واقعی برای تعیین عملکرد و تخریب انرژی نیروگاه مطالعه کردند. در این مطالعه، بازده های انرژی و انرژی نیروگاه به ترتیب ۴/۵٪ و ۲۱/۷٪ به دست آمد. همچنین تاثیرات فشار و دمای ورودی توربین و فشار کندانسور بر روی بازده های انرژی و انرژی و توان خالص خروجی نیروگاه نشان داده شد. گابریلی^۶ [۴] یک دیدگاه و رویکرد جدید برای انتخاب نقطه طراحی نیروگاه های دوگانه سیکل رانکین با سیال عامل آلی و سیال ژئوترمال در مقیاس

کوچک پیشنهاد داد. در عمل، چهار نقطه ی طراحی که بستگی به مقادیر مختلف دمای سیال ژئوترمال دارد از دید اقتصادی مقایسه گردیده است. یاری [۵] نیروگاه مختلف زمین گرمایی را بر اساس تحلیل انرژی برای منابع زمین گرمایی با دمای متوسط بررسی کرد. سیکل های مورد مطالعه در این تحقیق عبارت بودند از: سیکل رانکین با سیال عامل آلی با منبع گرمایی سیال ژئوترمال، سیکل رانکین با سیال عامل آلی و مبدل گرمایی داخلی با منبع گرمایی سیال ژئوترمال، سیکل تک تبخیره^۷ تولید توان ژئوترمال، سیکل تولید توان ژئوترمال با دو سطح فشار تبخیر^۸ و سیکل ترکیبی با سیال ژئوترمال. برای هر سیکل یک مدل ترمودینامیکی در نظر گرفته شده است و در مورد عملکرد هر سیکل با توجه به پارامترهای بازده ی قانون دوم، نرخ تخریب انرژی و بازده ی قانون اول بحث شده است. بیشترین بازده ی قانون اول برای سیکل رانکین با سیال عامل آلی R123 و مبدل گرمایی داخلی بدست آمد که این مقدار برابر ۷/۷٪ است. هتیاراچی^۹ و همکاران [۶] سیکل رانکین با سیال عامل آلی با منبع گرمایی سیال ژئوترمال دما پایین را براساس کمینه کردن هزینه مورد بررسی قرار داد. این سیکل ها با سیالات عامل HCFC123 ، n-Pentane و آمونیاک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که آمونیاک دارای کمترین مقدار برای تابع هدف هزینه و بیشترین استفاده از سیال زمین گرمایی را دارد اما لزوماً بیشترین بازده ی چرخه را ندارد. دی پیپو^{۱۰} [۷] سیکل های تولید توان با استفاده از منابع زمین گرمایی با دمای پایین را بر اساس قانون دوم تحلیل کرده است. نتایج نشان داد که نیروگاه های دوگانه می توانند با بازده ی قانون دوم یا بازده-ی انرژی بالا کار کنند حتی وقتی که سیال ژئوترمال دارای دمای پایین باشد. در این تحقیق بازده انرژی بالای ۴۰٪ برای سیکل های گفته شده بدست آمد. همچنین دی پیپو در تحقیق دیگری [۸] برای تولید توان از منابع گرمایی ژئوترمال از سیکل های مثلثی بهره گرفته است که بازده

^۱ Aneke^۲ Chena^۳ Kanoglu^۴ Bolatturk^۵ binary^۶ Gabbrielli^۷ single-flash^۸ double flash^۹ Hettiarachchi^{۱۰} DiPippo

بوتان^۵، ان-پنتان^۶ و R123. این سیال‌های آلی بدلیل تاثیرات محیطی کم (پایین بودن پارامتر تخریب اوزون^۷ و پارامتر گرمایش زمین^۸) سیال‌های مناسبی برای استفاده در سیکل تولید توان ORC هستند. در این تحقیق از دیدگاه SPECO^۹ برای تحلیل ترموآکونومیکی بهره گرفته شده است. بنابراین ابتدا سیکل‌های ترکیبی از نظر انرژی و اگزرژی تحلیل شده و سپس معادلات بالانس هزینه و معادلات کمکی برای همه-ی اجزای سیکل اعمال شده و پارامترهای اگزرژی و آکونومیکی برای همه‌ی اجزا و کل سیکل بدست آمده است. سپس سیکل‌ها برای حالت‌های بیشینه مقدار بازده قانون اول و کمینه مقدار هزینه توان تولیدی بهینه‌سازی شده و پارامترهای بدست آمده با هم مقایسه گردیده است. در نهایت تحلیل پارامتریکی صورت گرفته و اثرات متغیرهای ترمودینامیکی سیکل‌ها بر روی عملکرد اگزرژی و آکونومیکی سیکل‌های ترکیبی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

۲- شرح سیکل

طرح شماتیک سیکل‌های ترکیبی تک تبخیره سیال زمین گرمایی و ORC و کالینا به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱، مقدار مشخصی از سیال زمین گرمایی ابتدا در طی فرایند خفانش که در آن افت فشار در آنتالپی ثابت داریم، تبدیل به سیال دوفازی می‌شود. سیال دوفازی وارد جداساز^{۱۰} شده و قسمت بخار اشباع سیال وارد توربین شده و در توربین بخار توان تولید می‌کند. قسمت مایع اشباع جدا شده در جداساز هم قبل از اینکه با سیال عامل خروجی از کندانسور ۱ مخلوط شده و به لایه-های زمین بازگردد، انرژی گرمایی خود را به یک سیکل رانکین با سیال عامل آلی می‌دهد. سیال عامل آلی که با استفاده از انرژی قسمت مایع اشباع سیال

اگزرژی در حدود ۸۵٪ برای این نوع سیکل‌ها ارائه شده است. فرانکو^۱ و ویلانی^۲ [۹] در تحلیل سیکل ترکیبی تولید توان بر اساس سیال زمین گرمایی، مصرف ویژه ۲۰ تا ۱۲۰ کیلوگرم بر ثانیه سیال زمین گرمایی به ازای تولید هر مگاوات توان خالص تولیدی بدست آوردند. بازده اگزرژی این نوع سیکل‌ها هم بین ۲۰٪ تا ۴۵٪ بدست آمد.

در تحلیل سیستم‌های انرژی استفاده از تکنیک‌هایی که اصول ترمودینامیکی را با اصول اقتصادی ترکیب می‌کنند رو به افزایش است. ترکیب قانون دوم ترمودینامیک با تحلیل اقتصادی، ابزاری بسیار قدرتمند برای مطالعه اصولی و بهینه سازی سیستم‌های انرژی ارائه می‌کند. این ترکیب اساس و پایه شاخه جدیدی به نام ترموآکونومیک یا اگزرژی و آکونومیک را تشکیل می‌دهد. واضح است که تحلیل اگزرژی می‌تواند محل، نوع و مقدار واقعی تلفات و تخریب اگزرژی را مشخص کند. اگزرژی و آکونومیک اصول اقتصادی را با تحلیل اگزرژی ترکیب کرده و هزینه نسبت داده شده به این تخریب را در هزینه کل محصولات سیستم شرکت می‌دهد. این مفهوم می‌تواند در بهینه سازی سیستم‌های انرژی که معمولاً تمرکز بر کاهش هزینه‌های کل سیستم دارد مورد استفاده قرار گیرد [۱۰]. تاکنون تحقیقاتی در مورد تحلیل اگزرژی و آکونومیکی سیستم‌های مختلف صورت گرفته است [۱۱-۱۴]. اباسوگلو و همکاران [۱۵] مروری جامع بر تحلیل اگزرژی و آکونومیک سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت ارائه کرده و دیدگاه‌های مختلف تحلیل اگزرژی و آکونومیک بررسی شده است. همچنین معایب و مزایای هر کدام از این دیدگاه‌ها بیان شده و این دیدگاه‌ها با هم مقایسه شده اند.

در این تحقیق، سیکل تولید توان تک تبخیره زمین گرمایی با سیکل‌های تولید توان کالینا و سیکل رانکین با سیال‌های عامل مختلف ترکیب شده و این سیکل‌های ترکیبی از نظر انرژی، اگزرژی و ترموآکونومیکی مورد تحلیل قرار گرفته و مقایسه گردیده است. سیال‌های آلی مختلفی که در این تحقیق بکار رفته‌اند عبارتند از: ایزوبوتان^۳، ایزوپنتان^۴، ان-

⁵ n-butane

⁶ n-pentane

⁷ ODP

⁸ GWP

⁹ specific exergy costing

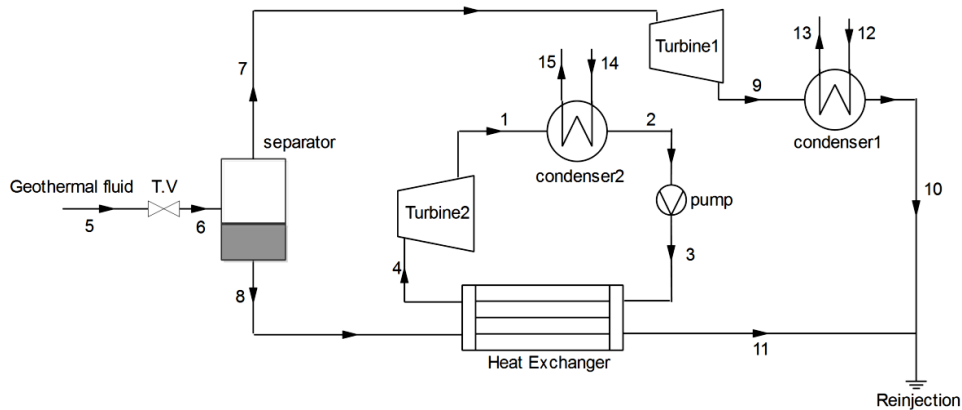
¹⁰ separator

¹ Franco

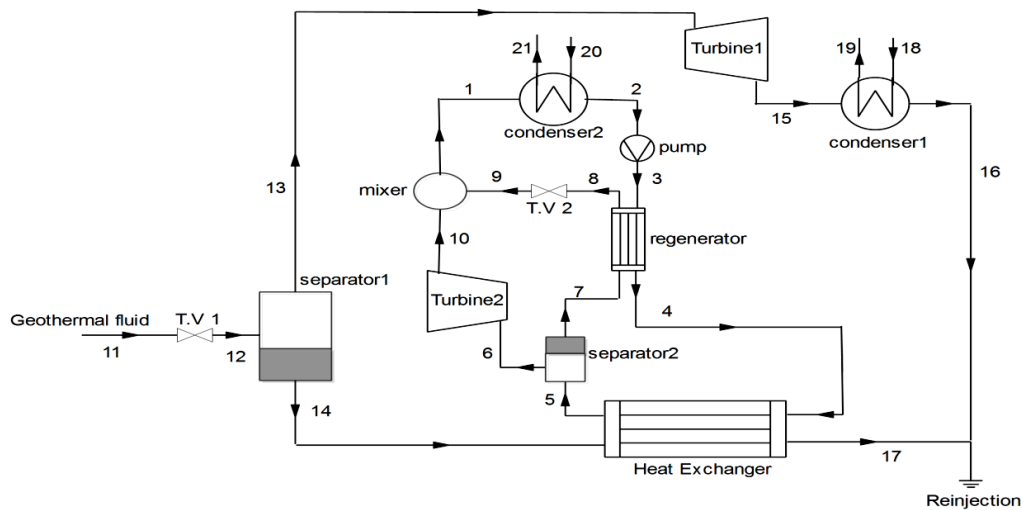
² Villani

³ isobutane

⁴ isopentane



شکل ۱- سیکل ترکیبی تک تبخیره زمین گرمایی و ORC



شکل ۲- سیکل ترکیبی تک تبخیره زمین گرمایی و کالینا

سیال ورودی به بویلر سیکل کالینا (که در این سیکل ترکیبی انرژی گرمایی خود را از قسمت مایع اشباع سیال زمین گرمایی می‌گیرد) بکار رفته و سپس برای رسیدن به فشار کندانسور ۲ از شیر خفانش دوم عبور می‌کند. مخلوط-های آب آمونیاک خروجی از توربین و شیر خفانش با هم مخلوط شده و وارد کندانسور می‌شوند و سیکل را دوباره طی می‌کنند.

۳- تحلیل ترمودینامیکی

با صرف نظر کردن از انرژی‌های جنبشی و پتانسیل، معادله بقای جرم و انرژی در حالت پایا برای همه اجزای سیکل‌های ترکیبی بصورت زیر بیان میشود:

زمین گرمایی، دما و فشار نسبتاً بالایی دارد وارد توربین ۲ شده و تا فشار کندانسور منبسط شده و توان تولید می‌کند. سیال آلی که پس از عبور از توربین دما و فشارش کاهش یافته وارد کندانسور ۲ شده و سیکل تولید توان ORC دوباره طی می‌شود. در شکل ۲ نیز قسمت مایع اشباع جدا شده در جداساز، بعنوان منبع گرمایی بالادست سیکل تولید توان کالینا با سیال عامل آب آمونیاک عمل می‌کند. سیال عامل آب آمونیاک که با حصول انرژی گرمایی قسمت مایع اشباع سیال زمین گرمایی، دارای دما و فشار متوسطی است ابتدا وارد جداساز دوم شده و قسمت بخار اشباع مخلوط آب آمونیاک وارد توربین ۲ شده و تولید توان می‌کند. قسمت مایع اشباع مخلوط آب آمونیاک نیز برای پیش‌گرم کردن

های سیستم و فعل و انفعالاتی است که سیستم با محیط خود تجربه می‌کند [۱۶]. برای تحلیل اگزروزواکونومیک دیدگاه‌های مختلفی مطرح شده است. در این مطالعه از دیدگاه SPECO استفاده شده است. این روش بر پایه اگزروزی، بازده اگزروزی و معادلات کمکی برای اجزای سیستم حرارتی بنا شده است. روش SPECO شامل سه گام است: الف) شناسایی جریان‌های اگزروزی، ب) تعریف سوخت و محصول برای هر یک از اجزای سیستم و ج) تخصیص معادلات هزینه. حال برای هر جریان اگزروزی در سیستم، پارامتری به نام نرخ هزینه جریان \dot{C} [\$/s] تعریف می‌شود. معادله توازن هزینه برای هر جزء از سیستم که گرما گرفته و کار انجام می‌دهد بصورت زیر است [۱۷]:

$$\sum \dot{C}_{i,k} + \dot{C}_{q,k} + \dot{Z}_k = \sum \dot{C}_{e,k} + \dot{C}_{w,k} \quad (8)$$

که در آن \dot{Z}_k نرخ هزینه اولیه جزء k ام، اندیس‌های i و e معرف جریان‌های ورودی و خروجی و $\dot{C}_{w,k}$ و $\dot{C}_{q,k}$ به ترتیب نشانگر هزینه‌های مرتبط با انتقال گرما و کار است. در معادله بالا:

$$\dot{C}_j = c_j \dot{E}x_j \quad (9)$$

در این تحقیق برای محاسبه هزینه اولیه یا سرمایه‌گذاری اجزای مختلف سیکل از روابط موجود در مرجع [۱۸] استفاده شده است. برای تبدیل هزینه خرید هر یک از اجزای سیستم به هزینه اولیه در واحد زمان می‌توان نوشت:

$$\dot{Z}_k = \frac{Z_k \cdot CRF \cdot \varphi}{N \cdot 3600} \quad (10)$$

در رابطه بالا φ ضریب نگهداری (برابر ۱/۰۶)، N تعداد ساعات کارکرد سیستم در سال (در این مطالعه ۷۴۴۶ ساعت) و CRF برابر است با:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (11)$$

در رابطه بالا منظور از i ، نرخ بهره (در این مطالعه ۱۰٪) و n عمر سیستم بر حسب سال (در این مطالعه ۲۰ سال) می‌باشد. در کاربرد معادله توازن هزینه برای اجزای سیستم معمولاً بیش از یک جریان ورودی و خروجی برای هر جزء وجود دارد. بنابراین تعداد هزینه‌های مجهول بیشتر از معادلات موجود است. برای حل این مشکل از قواعد P و F دیدگاه SPECO استفاده می‌شود [۱۷]. معادلات بالانس اگزروزی، بالانس هزینه و معادلات کمکی برای اجزای مختلف سیکل-

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

$$\sum \dot{Q} + \sum \dot{m}_i h_i = \sum \dot{W} + \sum \dot{m}_i h_i \quad (2)$$

چون در تحلیل ترمواکونومیک از مفهوم اگزروزی استفاده می‌شود بنابراین اگزروزی مربوط به هر جریان و اتلافات اگزروزی هر جز باید محاسبه گردد. اگزروزی هر جریان بیشترین کارتنوری است که یک جریان در شرایط معین می‌تواند داشته باشد تا موقعی که جریان به حالت مرده می‌رسد اگر تنها با محیط تبادل حرارت داشته باشد. با صرفنظر از اگزروزی‌های جنبشی و پتانسیل، اگزروزی هر جریان از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\dot{E}x_{ph} = \dot{m}[(h - h_0) - T_0(s - s_0)] \quad (3)$$

$$\dot{E}x_{ch} = \dot{m} \left[\sum_{i=1}^n X_i ex_{ch,i} + RT_0 \sum_{i=1}^n X_i \ln(X_i) \right] \quad (4)$$

$$\dot{E}x = \dot{E}x_{ph} + \dot{E}x_{ch} \quad (5)$$

در رابطه (۴) X_i کسر مولی اجزای مختلف تشکیل دهنده جریان مورد نظر است. در سیکل‌های مورد بررسی در تحقیق حاضر، همه جریان‌های موجود در سیکل‌های مورد بررسی دارای یک جزء بوده و در نتیجه مقدار X_i برای همه جریان‌ها برابر یک است.

تخریب اگزروزی در هر جز هم از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\dot{E}x_{D,i} = \sum_j \dot{Q}_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j} \right) - \dot{W} + \sum_i (\dot{E}x_i)_{in} - \sum_i (\dot{E}x_i)_{out} \quad (6)$$

و بازده ترمودینامیکی سیکل برابر است با:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}_{net}}{(\dot{m}_i h_i - \dot{m}_r h_r)} \quad (7)$$

که اندیس i مربوط به جریان ورودی به سیکل ترکیبی و اندیس r مربوط به جریان سیال زمین گرمایی دوباره تخلیه شده به زمین است. \dot{W}_{net} هم برابر مجموع توان‌های تولیدی توربین‌ها منهای توان مصرفی پمپ‌ها در سیکل‌های مورد بررسی است.

۴- تحلیل اگزروزواکونومیکی

تحلیل اگزروزواکونومیک بر این پایه استوار است که اگزروزی تنها مفهوم منطقی برای نسبت دادن هزینه به ناکارآمدی

جدول ۳ فرضیات و پارامترهای ورودی برای شبیه سازی و تحلیل سیکل‌های ترکیبی مورد بحث در این تحقیق را نشان می دهد.

۵- اعتبار سنجی

مدل ترمودینامیکی سیکل‌های کالینا و ORC با استفاده از نتایج منتشر شده توسط هیتیاراچی [۱۹] و راسکوویچ [۲۰] اعتبار سنجی شده است و در جداول ۳ و ۴ نشان داده شده است. با توجه به جداول ۳ و ۴ کاملاً مشخص است که نتایج مدل ترمودینامیکی کار حاضر با نتایج موجود در مراجع ذکر شده دارای مطابقت بسیار بالایی هستند.

۶- نتایج و بحث

در این تحقیق برای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی سیکل‌های ترکیبی از نرم‌افزار EES بهره گرفته شده است. در جدول ۵ پارامترهای ورودی برای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی سیکل‌ها مشخص شده است. در جداول ۶ و ۷ به ترتیب مشخصات ترمودینامیکی و اقتصادی بدست آمده از شبیه‌سازی سیکل‌ها برای جریان‌های مختلف سیکل ترکیبی تک تبخیره با ORC با سیال عامل R123 (که در بخش بهینه سازی مشاهده می‌شود

های ترکیبی در جداول ۱ و ۲ نمایش داده شده است. با حل دستگاه خطی معادلات جداول ۱ و ۲ هزینه جریان های اگزرژی سیستم‌ها محاسبه می شود. بعد از محاسبه نرخ هزینه جریان‌های سیستم می توان کارایی هزینه ای هر یک از اجزای سیستم را بررسی کرد. این بررسی از طریق پارامترهای اگزژیواکونومیک انجام می شود. این پارامترها شامل هزینه متوسط در واحد اگزرژی سوخت ($c_{F,k}$)، هزینه متوسط در واحد اگزرژی محصول ($c_{P,k}$)، اختلاف هزینه نسبی (Γ_k)، ضریب اگزژیواکونومیک (f_k) و نرخ هزینه متناسب با تخریب اگزرژی (\dot{C}_D) می باشند. پارامترهای اگزژیواکونومیک بصورت زیر بیان می شوند [۱۷]:

$$c_{F,k} = \frac{\dot{C}_{F,k}}{\dot{E}x_{F,k}} \quad (12)$$

$$c_{P,k} = \frac{\dot{C}_{P,k}}{\dot{E}x_{P,k}} \quad (13)$$

$$\dot{C}_{D,k} = c_{F,k} \dot{E}x_{D,k} \quad (14)$$

$$\Gamma_k = \frac{c_{P,k} - c_{F,k}}{c_{F,k}} \quad (15)$$

$$f_k = \frac{\dot{Z}_k}{\dot{C}_{D,k} + \dot{Z}_k + \dot{C}_{L,k}} \quad (16)$$

جدول ۱- معادلات بالانس اگزرژی و هزینه برای سیکل ترکیبی تک تبخیره و ORC

معادله بالانس هزینه و معادلات کمکی	معادله بالانس اگزرژی	اجزای سیکل
$\dot{C}_7 + \dot{Z}_{T1} = \dot{C}_9 + \dot{C}_{wT1}$ $c_7 = c_9$	$\dot{E}x_7 = \dot{E}x_9 + \dot{W}_{T1} + \dot{E}x_{D,T1}$	توربین ۱
$\dot{C}_9 + \dot{C}_{12} + \dot{Z}_{cond1} = \dot{C}_{10} + \dot{C}_{13}$ $c_9 = c_{10}$ و $c_{12} = 0$	$\dot{E}x_9 + \dot{E}x_{12} = \dot{E}x_{10} + \dot{E}x_{13} + \dot{E}x_{D,cond1}$	کندانسور ۱
$\dot{C}_8 + \dot{C}_3 + \dot{Z}_{HX} = \dot{C}_4 + \dot{C}_{11}$ $c_8 = c_{11}$	$\dot{E}x_8 + \dot{E}x_3 = \dot{E}x_4 + \dot{E}x_{11} + \dot{E}x_{D,HX}$	مبدل حرارتی
$\dot{C}_4 + \dot{Z}_{T2} = \dot{C}_1 + \dot{C}_{wT2}$ $c_4 = c_1$	$\dot{E}x_4 = \dot{E}x_1 + \dot{W}_{T2} + \dot{E}x_{D,T2}$	توربین ۲
$\dot{C}_1 + \dot{C}_{14} + \dot{Z}_{cond2} = \dot{C}_2 + \dot{C}_{15}$ $c_1 = c_2$ و $c_{14} = 0$	$\dot{E}x_1 + \dot{E}x_{14} = \dot{E}x_2 + \dot{E}x_{15} + \dot{E}x_{D,cond2}$	کندانسور ۲
$\dot{C}_2 + \dot{Z}_p + \dot{C}_{WP} = \dot{C}_3$ $\frac{\dot{C}_{wT2}}{\dot{W}_{T2}} = \frac{\dot{C}_{WP}}{\dot{W}_p}$	$\dot{E}x_2 + \dot{W}_p = \dot{E}x_3 + \dot{E}x_{D,p}$	پمپ
$\dot{C}_5 + \dot{Z}_{sep} = \dot{C}_7 + \dot{C}_8$ $c_5 = 1.3 \left(\frac{\$}{GJ}\right)$, $\dot{C}_5 = \dot{C}_6$ $\frac{\dot{C}_7 - \dot{C}_6}{\dot{E}_7 - \dot{E}_6} = \frac{\dot{C}_8 - \dot{C}_6}{\dot{E}_8 - \dot{E}_6}$	$\dot{E}x_5 = \dot{E}x_7 + \dot{E}x_8 + \dot{E}x_{D,sep} + \dot{E}x_{D,TV}$	جداساز و شیر انبساط

جدول ۲- معادلات بالانس انرژی برای سیکل ترکیبی تک تبخیره و سیکل کالینا

اجزای سیکل	معادله بالانس انرژی	معادله بالانس انرژی و معادلات کمکی
توربین ۱	$\dot{E}x_{13} = \dot{E}x_{15} + \dot{W}_{T1} + \dot{E}x_{D,T1}$	$\dot{C}_{13} + \dot{Z}_{T1} = \dot{C}_{15} + \dot{C}_{WT1}$ $c_{13} = c_{15}$
کندانسور ۱	$\dot{E}x_{15} + \dot{E}x_{18} = \dot{E}x_{16} + \dot{E}x_{19} + \dot{E}x_{D,cond1}$	$\dot{C}_{15} + \dot{C}_{18} + \dot{Z}_{cond1} = \dot{C}_{16} + \dot{C}_{19}$ $c_{15} = c_{16}$ و $c_{18} = 0$
مبدل حرارتی	$\dot{E}x_{14} + \dot{E}x_4 = \dot{E}x_{17} + \dot{E}x_5 + \dot{E}x_{D,HX}$	$\dot{C}_{14} + \dot{C}_4 + \dot{Z}_{HX} = \dot{C}_{17} + \dot{C}_5$ $c_{14} = c_{17}$
توربین ۲	$\dot{E}x_6 = \dot{E}x_{10} + \dot{W}_{T2} + \dot{E}x_{D,T2}$	$\dot{C}_6 + \dot{Z}_{T2} = \dot{C}_{10} + \dot{C}_{WT2}$ $c_6 = c_{10}$
کندانسور ۲	$\dot{E}x_1 + \dot{E}x_{20} = \dot{E}x_2 + \dot{E}x_{21} + \dot{E}x_{D,cond2}$	$\dot{C}_1 + \dot{C}_{20} + \dot{Z}_{cond2} = \dot{C}_2 + \dot{C}_{21}$ $c_1 = c_2$ و $c_{20} = 0$
مبدل حرارتی داخلی سیکل کالینا	$\dot{E}x_3 + \dot{E}x_7 = \dot{E}x_4 + \dot{E}x_8 + \dot{E}x_{D,IHX}$	$\dot{C}_3 + \dot{C}_7 + \dot{Z}_{IHX} = \dot{C}_4 + \dot{C}_8$ $c_7 = c_8$
پمپ	$\dot{E}x_2 + \dot{W}_p = \dot{E}x_3 + \dot{E}x_{D,p}$	$\dot{C}_2 + \dot{Z}_p + \dot{C}_{WP} = \dot{C}_3$ $\frac{\dot{C}_{WT2}}{\dot{W}_{T2}} = \frac{\dot{C}_{WP}}{\dot{W}_p}$
جداساز و شیر انبساط ۱	$\dot{E}x_{11} = \dot{E}x_{13} + \dot{E}x_{14} + \dot{E}x_{D,sep1} + \dot{E}x_{D,TV1}$	$\dot{C}_{11} + \dot{Z}_{sep1} = \dot{C}_{13} + \dot{C}_{14}$ $c_{11} = 1.3 \left(\frac{\$}{GJ}\right)$, $\dot{C}_{11} = \dot{C}_{12}$
جداساز ۲	$\dot{E}x_5 = \dot{E}x_6 + \dot{E}x_7 + \dot{E}x_{D,sep2}$	$\frac{\dot{C}_{13} - \dot{C}_{12}}{\dot{E}_{13} - \dot{E}_{12}} = \frac{\dot{C}_{14} - \dot{C}_{12}}{\dot{E}_{14} - \dot{E}_{12}}$ $\dot{C}_5 + \dot{Z}_{sep2} = \dot{C}_6 + \dot{C}_7$ $\frac{\dot{C}_6 - \dot{C}_5}{\dot{E}_6 - \dot{E}_5} = \frac{\dot{C}_7 - \dot{C}_5}{\dot{E}_7 - \dot{E}_5}$ $c_8 = c_9$
شیر انبساط ۲	$\dot{E}x_8 = \dot{E}x_9 + \dot{E}x_{D,TV2}$	
مخلوط کننده	$\dot{E}x_9 + \dot{E}x_{10} = \dot{E}x_1 + \dot{E}x_{D,mix}$	$\dot{C}_9 + \dot{C}_{10} = \dot{C}_1$

سیکل ترکیبی زمین گرمایی با سیکل کالینا دارای بیشترین مقدار است. نکته مهم با توجه به نتایج حاصل از بهینه‌سازی آن است که نتایج حاصل از بهینه‌سازی برای بیشینه بازده ترمودینامیکی و کمینه هزینه تولید توان بر هم منطبق نیستند و هزینه تولید توان کمینه برای سیکل‌های ترکیبی مورد بررسی کمتر از هزینه تولید توان در حالت بیشینه بازده ترمودینامیکی است. بیشترین تغییر مربوط به سیکل ترکیبی زمین گرمایی- سیکل کالینا با غلظت آمونیاک ۰/۷ است که در این سیکل ترکیبی کمینه هزینه تولید توان ۸/۶۳٪ کمتر از هزینه تولید توان در حالت بیشینه بازده ترمودینامیکی است. در بین سیکل‌های ترکیبی زمین گرمایی و ORC بیشترین تغییر مربوط به سیکل ترکیبی زمین گرمایی و ORC با سیال عامل ایزوبوتان است که کمینه هزینه تولید توان ۲/۴٪ کمتر از

که در بین سیکل‌های مورد بررسی دارای بیشترین بازده است) و سیکل کالینا نشان داده شده است. جداول ۸ و ۹ نتایج حاصل از بهینه‌سازی سیکل‌های ترکیبی مذکور به ترتیب برای بیشینه مقدار بازده قانون اول و کمینه مقدار هزینه تولید توان را نشان می‌دهد. نتایج نشان داده است که بیشترین بازده ترمودینامیکی برای سیکل ترکیبی تولید توان تک تبخیره سیال زمین گرمایی- سیکل رانکین با سیال عامل R123 اتفاق می‌افتد. سیکل ترکیبی زمین گرمایی با ORC با سیال عامل n-pentane هم از این حیث در رتبه دوم قرار دارد. ولی همانطوریکه ملاحظه می‌شود هزینه تولید توان برای سیکل ترکیبی زمین گرمایی- سیکل کالینا با غلظت آمونیاک ۰/۸ در بین سیکل‌های ترکیبی مورد بررسی دارای کمترین مقدار است. همچنین هزینه مرتبط با تخریب انرژی برای سیکل ترکیبی زمین گرمایی و ORC با سیال عامل R123 دارای کمترین مقدار و برای

جدول ۳- اعتبارسنجی مدل ترمودینامیکی سیکل کالینا کار حاضر (a) با داده‌های مرجع [۱۹] (b)

جریان	دما (K)		فشار (bar)		غلظت آمونیاک	
	a	b	a	b	a	b
۱	۳۱۵/۰	۳۱۵/۲	۱۰/۸	۱۰/۵	۰/۸	۰/۸
۲	۳۰۸/۲	۳۰۸/۲	۱۰/۸	۱۰/۵	۰/۸	۰/۸
۳	۳۰۸/۷	۳۰۸/۶	۳۰	۳۰	۰/۸	۰/۸
۴	۳۳۶/۴	۳۳۵/۱۵	۳۰	۳۰	۰/۸	۰/۸
۵	۳۵۸/۲۰	۳۶۰/۱۵	۳۰	۳۰	۰/۸	۰/۸
۶	۳۵۸/۲۰	۳۶۰/۱۵	۳۰	۳۰	۰/۹۹۵۱	۰/۹۹۴۷
۷	۳۵۸/۲۰	۳۶۰/۱۵	۳۰	۳۰	۰/۶۹۳۶	۰/۶۹۳۰
۸	۳۱۵/۲	۳۱۵/۰	۳۰	۳۰	۰/۶۹۳۶	۰/۶۹۳۰
۹	۳۱۵/۶	۳۱۵/۳	۱۰/۸	۱۰/۵	۰/۶۹۳۶	۰/۶۹۳۰
۱۰	۳۰۵/۱۰	۳۰۵/۱۵	۱۰/۸	۱۰/۵	۰/۹۹۵۱	۰/۹۹۴۷
پارامترهای ورودی	$T_{gW}=۳۶۳/۱۵$ (K), $m_{gW}=۱$ (kg/s), $x[2]=۰/۸$, $P[5]=۳۰$ (bar)					

دارند مهم ترین جزءها از نقطه نظر اگزورژواکونومیکی هستند. در سیکل ترکیبی زمین گرمایی و ORC با سیال عامل n-butane بیشترین مقدار برای این پارامتر متعلق به توربین ۲ است. مقدار بالای پارامتر f برای این جزء نشان می‌دهد که هزینه خرید توربین بر هزینه مرتبط با تخریب اگزورژو توربین غالب است. بنابراین با خرید توربینی با هزینه کمتر می‌توان تا حدودی از مقدار $\dot{C}_{D,k}+\dot{C}_{L,k}+\dot{Z}_k$ کم کرده و عملکرد کلی توربین را از نظر هزینه بهتر کرد. بعد از توربین، کندانسور ۲ دارای بیشترین مقدار $\dot{C}_{D,k}+\dot{C}_{L,k}+\dot{Z}_k$ است که با توجه به پارامتر f برای این جزء خرید کندانسور با سطح تبادل حرارت کمتر می‌توان از مقدار مربوط به هزینه مبدل حرارتی بکاهد. در سیکل ترکیبی زمین گرمایی و ORC با سیال عامل n-butane بیشترین مقدار r مربوط به کندانسور ۱ و کمترین مقدار آن برای جداساز و شیراختلاط است.

جدول ۵- پارامترهای ورودی برای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی

واحد	مقدار	پارامتر
$^{\circ}\text{C}$	۱۶۲ ^a	دمای سیال ژئوترمال
\$/GJ	۱/۳ ^b	هزینه واحد اگزورژو سیال ژئوترمال
kPa	۲۰۰-۶۰۰	فشار جدا کننده سیکل تولید توان ژئوترمال
kPa	۳۰	فشار خروجی کندانسور ۱
$^{\circ}\text{C}$	۱۰	اختلاف دمای $T_8 - T_4$ در سیکل ژئوترمال-ORC
$^{\circ}\text{C}$	۱۰	اختلاف دمای $T_{14} - T_5$ در سیکل ژئوترمال-کالینا
$^{\circ}\text{C}$	۴۰ ^c	دمای خروجی کندانسور ۲
-	۰/۸ ^c	بازده آیزنتروپیک توربین ها
-	۰/۸۵ ^c	بازده آیزنتروپیک پمپ
$^{\circ}\text{C}$	۸۰-۱۲۵	دمای اواپراتور در سیکل ORC
bar	۱۰-۵۰	فشار اواپراتور در سیکل کالینا
-	۰/۶	ضریب تاثیر مبدل حرارتی داخلی سیکل کالینا
-	۰/۶-۰/۸	غلظت محلول آب آمونیاک در سیکل کالینا

^a مرجع [۲۱]

^b مرجع [۲۳ و ۲۲]

^c مرجع [۱۸]

جدول ۴- اعتبارسنجی مدل ترمودینامیکی ORC با سیال ایزوپنتان کار حاضر (a) با داده‌های مرجع [۲۰] (b)

جریان	دما (K)		فشار (kPa)		دبی جرمی (kg/s)	
	a	b	a	b	a	b
۱	۳۲۴/۴۸	۳۳۳/۷۹	۱۰۱/۴	۱۰۱/۴	۸۲/۳۱	۸۲/۸۳
۲	۳۰۱	۳۰۱	۱۰۱/۴	۱۰۱/۴	۸۲/۳۱	۸۲/۸۳
۳	۳۰۱/۲۸	۳۰۱/۴۲	۸۹۷/۱	۸۹۷/۱	۸۲/۳۱	۸۲/۸۳
۴	۳۸۳/۵۱	۳۸۳/۶	۸۹۷/۱	۸۹۷/۱	۸۲/۳۱	۸۲/۸۳
پارامترهای ورودی	$T_{gW}=۴۴۹/۱۴$ (K), $m_{gW}=۸۳$ (kg/s), $P_{gW}=۷۰۰$ (kPa), $P[1]=۸۹۷/۱$ (kPa)					

هزینه تولید توان در حالت بیشینه بازده ترمودینامیکی است.

جداول ۱۰ و ۱۱ به ترتیب مقادیر پارامترهای مهم اگزورژو و اگزورژواکونومیک اجزای سیکل ترکیبی زمین گرمایی و ORC با سیال عامل n-butane و سیکل ترکیبی زمین گرمایی و کالینا که دارای کمترین مقادیر هزینه تولید توان در بین سیکل‌های ترکیبی مورد بررسی هستند را نشان می‌دهد. اجزایی که بالاترین مقدار $\dot{C}_{D,k}+\dot{C}_{L,k}+\dot{Z}_k$ را

جدول ۶- مشخصات ترمودینامیکی و اقتصادی بدست آمده از شبیه سازی برای جریان‌های مختلف سیکل ترکیبی تک تبخیره و ORC با سیال

عامل R123

جریان	دما ($^{\circ}C$)	فشار (kPa)	دبی جرمی (kg/s)	اگرزری (kW)	آهنگ هزینه ($\$/s$)	هزینه واحد اگرزری ($\$/GJ$)
۱	۷۸/۲	۱۵۴/۷	۱۰۹/۷	۱۲۶۱	۰/۰۰۲۵۵۹	۲/۰۳
۲	۴۰	۱۵۴/۷	۱۰۹/۷	۵۱/۹۸	۰/۰۰۱۰۵۵	۲/۰۳
۳	۴۰/۳۲	۷۸۶/۸	۱۰۹/۷	۱۰۱/۲	۰/۰۰۷۴۹۴	۷/۴۰۸
۴	۱۱۹/۶	۷۸۶/۸	۱۰۹/۷	۴۴۶۸	۰/۰۰۹۰۶۸	۲/۰۳
۵	۱۶۲	-	۱۰۰	۱۰۳۶۷	۰/۰۱۳۴۸	۱/۳
۶	۱۲۹/۶	۲۶۶/۷	۱۰۰	۹۹۴۱	۰/۰۱۳۴۸	۱/۳۵۶
۷	۱۲۹/۶	۲۶۶/۷	۶/۴۲۷	۴۰۳۶	۰/۰۰۵۶۳۲	۱/۳۹۶
۸	۱۲۹/۶	۲۶۶/۷	۹۳/۵۷	۵۹۰۵	۰/۰۰۸۱۱۶	۱/۳۷۴
۹	۶۹/۰۹	۳۰	۶/۴۲۷	۱۸۶۲	۰/۰۰۲۵۹۸	۱/۳۹۶
۱۰	۶۹/۰۹	۳۰	۶/۴۲۷	۷۹/۴	۰/۰۰۱۱۰۸	۱/۳۹۶
۱۱	۶۹/۰۹	۲۶۶/۷	۹۳/۵۷	۱۱۷۸	۰/۰۰۱۶۱۹	۱/۳۷۴
۱۲	۲۵	۱۰۰	۳۲۳/۸	.	.	.
۱۳	۳۵/۲۲	۱۰۰	۳۲۳/۸	۲۳۱/۸	۰/۰۰۲۵۴	۱۰/۹۶
۱۴	۲۵	۱۰۰	۵۰۰	.	.	.
۱۵	۳۵/۱۸	۱۰۰	۵۰۰	۳۵۵/۴	۰/۰۰۳۳۵۷	۹/۴۴۶

جدول ۷- مشخصات ترمودینامیکی و اقتصادی بدست آمده از شبیه سازی برای جریان‌های مختلف سیکل ترکیبی تک تبخیره و کالینا

جریان	دما (K)	فشار (bar)	دبی جرمی (kg/s)	اگرزری (kW)	آهنگ هزینه ($\$/s$)	هزینه واحد اگرزری ($\$/GJ$)
۱	۳۷۱/۸	۱۰/۳۳	۲۱/۸۷	۴۹۲۶	۰/۰۱۱۷۱	۲/۳۷۳
۲	۳۱۳/۲	۱۰/۳۳	۲۱/۸۷	۲۲۹۰	۰/۰۰۵۴۳۳	۲/۳۷۳
۳	۳۱۳/۴	۲۰	۲۱/۸۷	۲۳۱۹	۰/۰۰۵۷۵۱	۲/۴۷۹
۴	۳۳۱/۷	۲۰	۲۱/۸۷	۲۴۶۲	۰/۰۰۶۹۶۱	۲/۸۲۷
۵	۴۰۲	۲۰	۲۱/۸۷	۶۸۹۲	۰/۰۱۶۱۶	۲/۳۴۴
۶	۴۰۲	۲۰	۱۴/۱	۶۳۵۶	۰/۰۱۴۹۱	۲/۳۴۷
۷	۴۰۲	۲۰	۷/۷۷	۵۳۶/۲	۰/۰۰۱۴۴۱	۲/۶۸۸
۸	۳۴۸/۸	۲۰	۷/۷۷	۱۴۷/۴	۰/۰۰۰۳۹۶۱	۲/۶۸۸
۹	۳۴۹	۱۰/۳۳	۷/۷۷	۱۳۹/۸	۰/۰۰۰۳۹۶۱	۲/۸۳۴
۱۰	۳۷۶/۳	۱۰/۳۳	۱۴/۱	۴۸۲۲	۰/۰۱۱۳۲	۲/۳۴۷
۱۱	۴۳۵/۲	-	۱۰۰	۱۰۳۶۷	۰/۰۱۳۴۸	۱/۳
۱۲	۴۱۲	۳/۵	۱۰۰	۱۰۱۴۸	۰/۰۱۳۴۸	۱/۳۲۸
۱۳	۴۱۲	۳/۵	۴/۶۵۴	۳۱۰۷	۰/۰۰۴۳۱۳	۱/۳۸۸
۱۴	۴۱۲	۳/۵	۹۵/۳۵	۷۰۴۲	۰/۰۰۹۴۲۵	۱/۳۴
۱۵	۳۴۲/۲	۰/۳	۴/۶۵۴	۱۳۳۵	۰/۰۰۱۸۵۳	۱/۳۸۸
۱۶	۳۴۲/۲	۰/۳	۴/۶۵۴	۵۷/۴۹	۰/۰۰۰۷۹۸۲	۱/۳۸۸
۱۷	۳۵۲/۲	۳/۵	۹۵/۳۵	۱۷۷۳	۰/۰۰۲۳۷۵	۱/۳۴
۱۸	۲۹۸	۱	۳۲۳/۸	.	.	.
۱۹	۳۰۵/۳	۱	۳۲۳/۸	۱۱۵	۰/۰۰۱۸۱۲	۱۵/۷۶
۲۰	۲۹۸/۱	۱	۲۰۰	.	.	.
۲۱	۳۲۵/۵	۱	۲۰۰	۹۸۹/۶	۰/۰۰۶۴۵۹	۶/۵۲۷

جدول ۸- نتایج حاصل از بهینه‌سازی سیکل‌های ترکیبی بر اساس بیشینه بازده قانون اول در سیکل‌های ترکیبی

Kalina			ORC				پارامتر	
X=0.8	X=0.7	X=0.6	R123	n-pentane	n-butane	Isopentane	Isobutane	
۱۰/۹۸	۱۰/۵۴	۱۰/۰۴	۱۳/۶۶	۱۳/۱۷	۱۳	۱۳/۰۳	۱۲/۶	بازده ترمودینامیکی (%)
۳۹۹/۳	۳۹۹/۵	۳۹۹/۹	۴۴۹/۶	۴۴۹/۴	۴۷۹/۶	۴۴۷/۷	۴۷۸/۸	فشار جداساز (kPa)
-	-	-	۱۲۵	۱۲۵	۱۲۵	۱۲۵	۱۲۵	دمای اواپراتور در مبدل حرارتی (°C)
۵۰۰۰	۴۵۶۶	۳۴۴۴	۱۳۲۶	۹۹۹/۳	۲۴۱۵	۱۱۹۴	۳۰۹۱	فشار اواپراتور در مبدل حرارتی (kPa)
۳۸۹۲	۳۷۲۵	۳۳۵۷	۵۲۹۴	۵۱۹۸	۵۱۳۱	۵۱۴۵	۴۹۷۴	توان خالص تولیدی سیکل ترکیبی (kW)
۳۵۰۸	۳۶۲۵	۳۸۴۴	۴۳۱۸	۴۵۰۵	۴۵۲۸	۴۵۵۷	۴۶۸۸	اتلافات اغزرژی کل سیکل ترکیبی (kPa)
۰/۷۶۷۶	۰/۶۷۷۶	۰/۷۶۷۷	۰/۷۷۶۷	۰/۷۷۶۶	۰/۷۸۸۶	۰/۷۷۶۲	۰/۷۸۵۷	هزینه تولید توان در توربین اول (cent/kW-hr)
۱/۰۶۸	۱/۲۴۷	۱/۱۸۸	۲/۱۳۸	۱/۳۸۵	۱/۳۹۱	۱/۴۰۸	۱/۴۸۴	هزینه تولید توان در توربین دوم (cent/kW-hr)
۱/۸۳۶	۲/۰۱۵	۱/۹۵۶	۲/۹۱۴	۲/۱۶۲	۲/۱۷۷	۲/۱۸۴	۲/۲۷	هزینه تولید توان در سیکل ترکیبی (cent/kW-hr)
۲۴/۱	۲۹/۶۸	۲۹/۷۳	۱۸/۶۳	۱۹/۲	۲۰/۷۶	۱۹/۷۳	۲۲/۶۸	نرخ هزینه کلی مرتبط با تخریب اغزرژی (\$/h)
۴۲/۳	۴۵/۱۷	۳۹/۷۹	۸۰/۷۵	۶۸/۱۱	۶۶/۶۲	۶۷/۷۸	۶۶/۰۲	پارامتر اغزرژواکونومیکی سیکل ترکیبی (foverall)
۰/۰۰۴۹۰۶	۰/۰۰۶۷۹۱	۰/۰۰۵۴۵۶	۰/۰۲۱۷	۰/۰۱۱۳۹	۰/۰۱۱۵	۰/۰۱۱۵۲	۰/۰۱۲۲۴	نرخ هزینه خرید تجهیزات (\$/s)

خرید اجزا با هزینه‌های کمتر می‌تواند تا حدی این پارامتر را کاهش داده و به مقادیر نزدیک به ۵۰٪ برساند که مقدار مطلوبی برای پارامتر f می‌تواند باشد. در کل اجزایی که در آنها انتقال حرارت وجود دارد مانند کندانسورها و مبدل‌های حرارتی بدلیل ماهیت انتقال حرارت دارای بازده اغزرژی پایین و مقدار نرخ تخریب اغزرژی بالا و در نتیجه مقدار بالای $\dot{C}_{D,k}$ هستند. حال به بررسی تاثیر پارامترهایی همچون فشار جداساز، دمای اواپراتور در ORC و فشار اواپراتور در سیکل کالینا بر عملکرد اغزرژواکونومیکی سیکل‌های ترکیبی مورد

در سیکل ترکیبی زمین گرمایی و سیکل کالینا هم کندانسور ۲ و مبدل حرارتی دارای بیشترین مقدار $\dot{C}_{D,k} + \dot{C}_{L,k} + \dot{Z}_k$ هستند که باید از نظر ترمواکونومیکی بیشترین توجه را به این اجزا داشت. در همه سیکل‌های ترکیبی مورد بررسی، مقدار $\dot{C}_{D,k} + \dot{C}_{L,k} + \dot{Z}_k$ برای پمپ پایین تر از سایر اجزاست. بنابراین پمپ‌ها هزینه بسیار پایینی به سیستم تحمیل می‌کنند و اهمیت بسیار کمتری از دیدگاه اغزرژواکونومیکی دارند. تغییر پارامترهای اغزرژواکونومیکی پمپ‌ها اثر ناچیزی بر پارامترهای اغزرژواکونومیکی کل سیکل ترکیبی خواهد داشت. در کل مقدار پارامتر f برای سیکل‌های ترکیبی زمین گرمایی و سیکل ORC مقادیر بالایی هستند که

جدول ۹- نتایج حاصل از بهینه‌سازی سیکل‌های ترکیبی بر اساس کمینه هزینه تولید توان در سیکل‌های ترکیبی

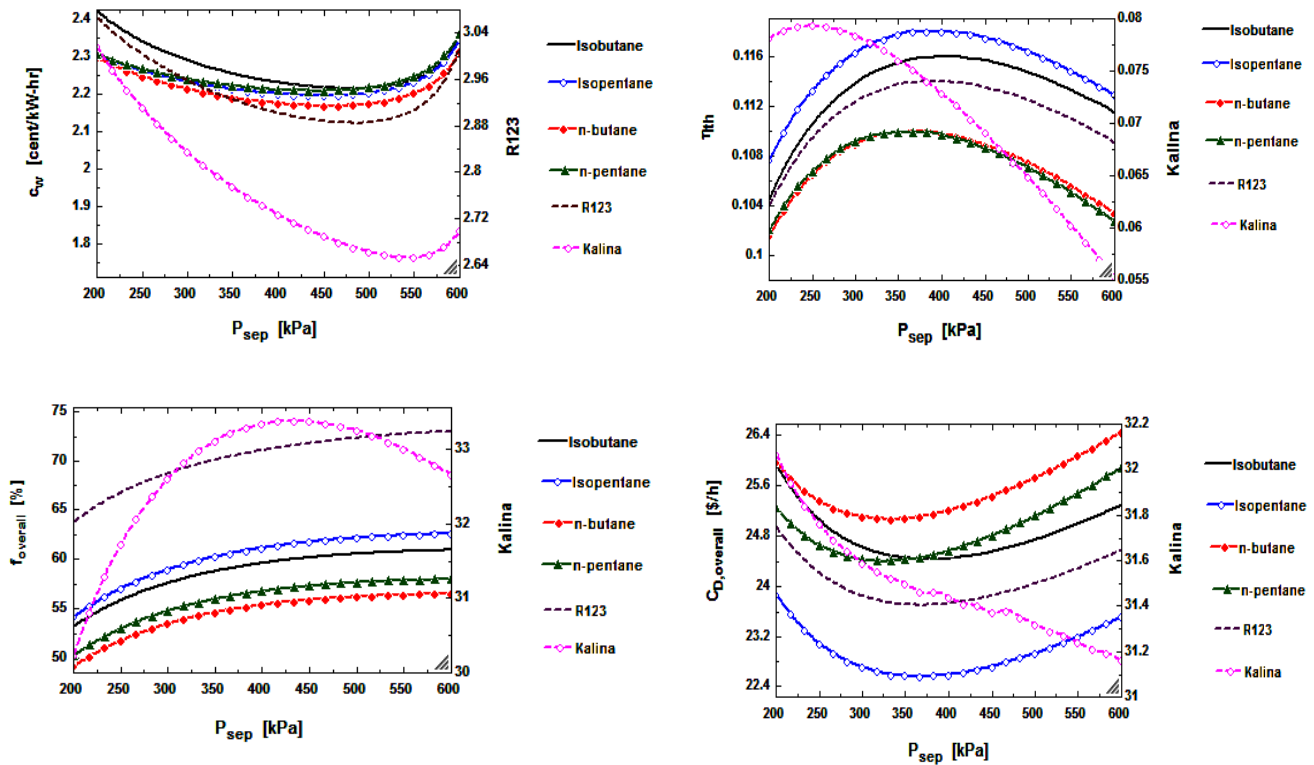
Kalina			ORC				پارامتر	
X=0.8	X=0.7	X=0.6	R123	n-pentane	n-butane	Isopentane	Isobutane	
۱/۸۰۲	۱/۸۴۱	۱/۸۲۲	۲/۸۸	۲/۱۶۱	۲/۱۵۸	۲/۱۸۲۸	۲/۲۱۱	هزینه تولید توان در سیکل ترکیبی (cent/kW-hr)
۱۰/۲۳	۹/۰۱۷	۸/۸۱۷	۱۲/۰۸	۱۳/۱۶	۱۱/۹۳	۱۲/۹۳	۱۰/۹۵	بازده ترمودینامیکی (%)
۴۰۳/۲	۳۹۷/۲	۴۰۰/۶	۴۸۳/۵	۴۵۰/۸	۴۶۷/۹	۴۵۴/۹	۴۷۳	فشار جداکننده (kPa)
-	-	-	۱۰۷/۵	۱۲۵	۱۱۱/۳	۱۲۳/۸	۱۰۳/۴	دمای اواپراتور در مبدل حرارتی (°C)
۵۰۰۰	۲۷۷۷	۲۱۵۴	۹۲۶/۷	۹۹۹/۳	۱۸۹۰	۱۱۶۷	۲۱۱۵	فشار اواپراتور در مبدل حرارتی (kPa)
۳۶۲۸	۳۱۸۶	۲۹۴۸	۴۷۷۱	۵۱۹۶	۴۷۱۰	۵۱۰۷	۴۳۲۲	توان خالص تولیدی سیکل ترکیبی (kW)
۳۷۳۹	۴۱۵۰	۴۲۱۸	۴۸۷۸	۴۵۰۸	۴۹۵۹	۴۵۸۷	۵۳۱۸	اتلافات اگزرژی کل سیکل ترکیبی (kPa)
۰/۷۶۸	۰/۷۶۷۳	۰/۷۶۷۷	۰/۷۸۷۵	۰/۷۶۶۶	۰/۷۸۰۱	۰/۷۷۶۸	۰/۷۸۳۶	هزینه تولید توان در توربین اول (cent/kW-hr)
۱/۰۳۴	۱/۰۷۳	۱/۰۵۴	۲/۰۹۳	۱/۳۸۴	۱/۳۷۸	۱/۴۰۶	۱/۴۲۷	هزینه تولید توان در توربین دوم (cent/kW-hr)
۲۴/۵۵	۲۸/۱	۲۸/۶۵	۲۲/۰۸	۱۹/۲۶	۲۳	۱۹/۹۴	۲۵/۹۱	نرخ هزینه کلی مرتبط با تخریب اگزرژی (\$/h)
۳۸/۵۲	۳۵/۷۸	۳۳/۵۹	۷۵/۳۵	۶۸/۱۲	۶۱/۰۸	۶۷/۴۲	۵۷/۵	پارامتر اگزژیواکونومیک سیکل ترکیبی (f _{overall})
۰/۰۰۴۲۷۳	۰/۰۰۴۳۴۸	۰/۰۰۴۰۲۷	۰/۰۱۸۷	۰/۰۱۱۳۹	۰/۰۱۰۰۲	۰/۰۱۱۴۶	۰/۰۰۹۷۴	نرخ هزینه خرید تجهیزات (\$/s)

جدول ۱۰- پارامترهای مهم اگزرژی و اگزژیواکونومیک اجزای سیکل ترکیبی تک تبخیره و سیکل رانکین با سیال n-butane

r (%)	f (%)	$\dot{Z}_k + \dot{C}_{D,k} + \dot{C}_{L,k}$ (\$/h)	$\dot{C}_{D,k}$ (\$/h)	ϵ (%)	\dot{E}_D (kW)	\dot{E}_P (kW)	\dot{E}_F (kW)	جزء
۳۴/۵۲	۵۸/۶۸	۴/۷۲۷	۱/۹۵۳	۸۲/۱۲	۳۸۹	۱۷۸۵	۲۱۷۴	توربین ۱
۸۷/۲۷	۲/۳۸۸	۷/۹۸	۷/۷۹	۱۳	۱۵۵۰/۲	۲۳۱/۸	۱۷۸۲	کندانسور ۱
۲۹/۳۷	۷۴/۹۴	۸/۸۱	۲/۲۰۷	۹۰/۵۶	۴۴۶	۴۲۸۱	۴۷۲۷	مبدل حرارتی
۴۷/۸۱	۷۶/۷۳	۱۸/۱۵	۴/۲۲	۸۲/۴۳	۵۵۱/۴	۲۵۸۷	۳۱۳۸	توربین ۲
۷۵/۱۲	۱۸/۰۶	۱۱/۰۶	۶/۸۱	۲۸/۷۹	۸۸۹/۶	۳۵۹/۴	۱۲۴۹	کندانسور ۲
۵۹/۱۶	۸۷/۴۲	۲/۰۶۵	۰/۲۶	۸۵/۶۲	۱۷/۷	۱۰۵/۴	۱۲۳/۱	پمپ
۵/۹۹۷	۳۲/۷۵	۲/۹۷	۱/۹۹	۹۷/۸۸	۲۱۹	۱۰۱۴۸	۱۰۳۶۷	جداساز و شیر انبساط

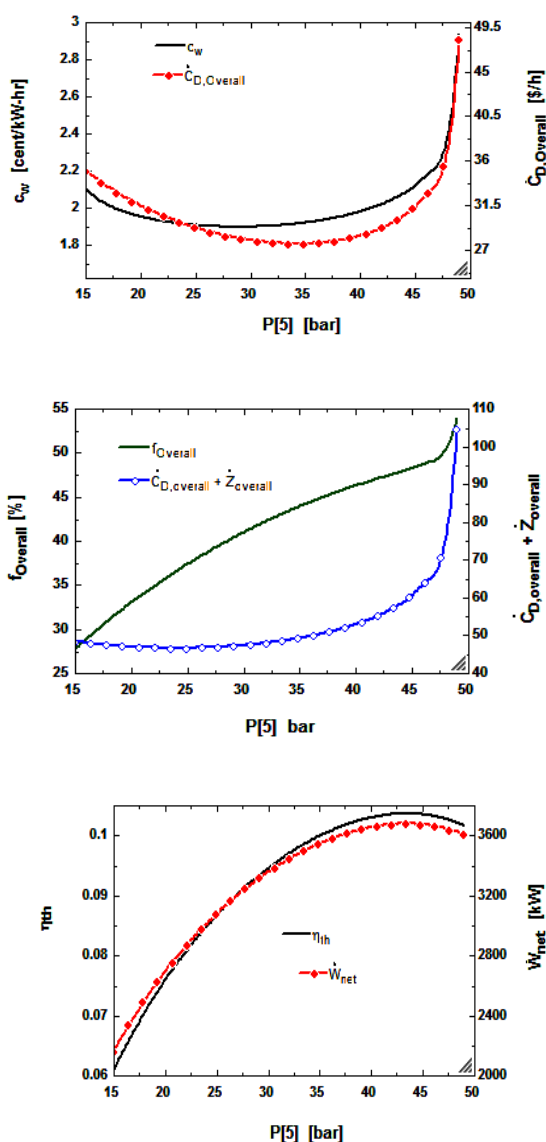
جدول ۱۱- پارامترهای مهم آگزرژی و آگزرواکنومیک اجزای سیکل ترکیبی تک تبخیره و سیکل کالینا

جزء	\dot{E}_F (kW)	\dot{E}_P (kW)	\dot{E}_D (kW)	ϵ (%)	$\dot{C}_{D,k}$ (\$/h)	$\dot{Z}_k + \dot{C}_{D,k} + \dot{C}_{L,k}$ (\$/h)	f (%)	r (%)
توربین ۱	۱۷۷۲	۱۴۵۵	۳۱۶/۹	۸۲/۱۲	۱/۵۸۴	۳/۸۴۳	۵۸/۷۹	۳۴/۵۷
کندانسور ۱	۱۲۷۶	۱۱۴/۹	۱۱۶۲	۸/۹۹۶	۵/۸۱	۵/۹۴۸	۲/۳۲	۹۱/۱۹
مبدل حرارتی	۵۲۶۹	۴۴۳۰	۸۳۹/۵	۸۴/۰۷	۴/۰۴۹	۱۱/۷۳	۶۵/۴۹	۳۵/۴۵
توربین ۲	۱۵۳۳	۱۲۸۰	۲۵۳/۴	۸۳/۴۷	۲/۱۴۱	۳/۹۸۱	۴۶/۲۳	۲۸/۹۲
کندانسور ۲	۲۶۴۷	۹۸۹/۶	۱۶۵۷	۳۷/۳۹	۱۴/۱۵	۱۴/۸	۴/۳۸	۶۳/۶۵
مبدل حرارتی داخلی سیکل کالینا	۳۸۸/۹	۱۴۲/۹	۲۴۶	۳۶/۴۷	۲/۳۸۱	۲/۹۷۶	۲۰	۶۸/۲۸
پمپ	۳۴/۶۳	۲۹/۵۷	۵/۰۵۶	۸۵/۴	۰/۰۶۰۰۹	۰/۷۹۳۳	۹۲/۴۳	۶۹/۳
جداکننده و شیر انبساط ۱	۱۰۳۶۷	۱۰۱۴۸	۲۱۹/۲	۹۷/۸۸	۱/۰۲۶	۱/۹۹۸	۴۸/۶۵	۴۰/۳۷
جداکننده ۲	۶۸۹۲	۶۸۹۱	۱	۹۹/۹	۰/۰۰۰۰۲	۰/۷۲	۰/۹۹	۱/۲۳۳
شیر انبساط ۲	۱۴۷/۴	۱۳۹/۸	۷/۶۰۲	۹۴/۸	۰/۰۷۳۵	۰/۰۷۳۵	۰	۵/۱۵۹



شکل ۳- تاثیر فشار جداساز بر بازده و پارامترهای آگزرواکنومیکی سیکل‌های ترکیبی

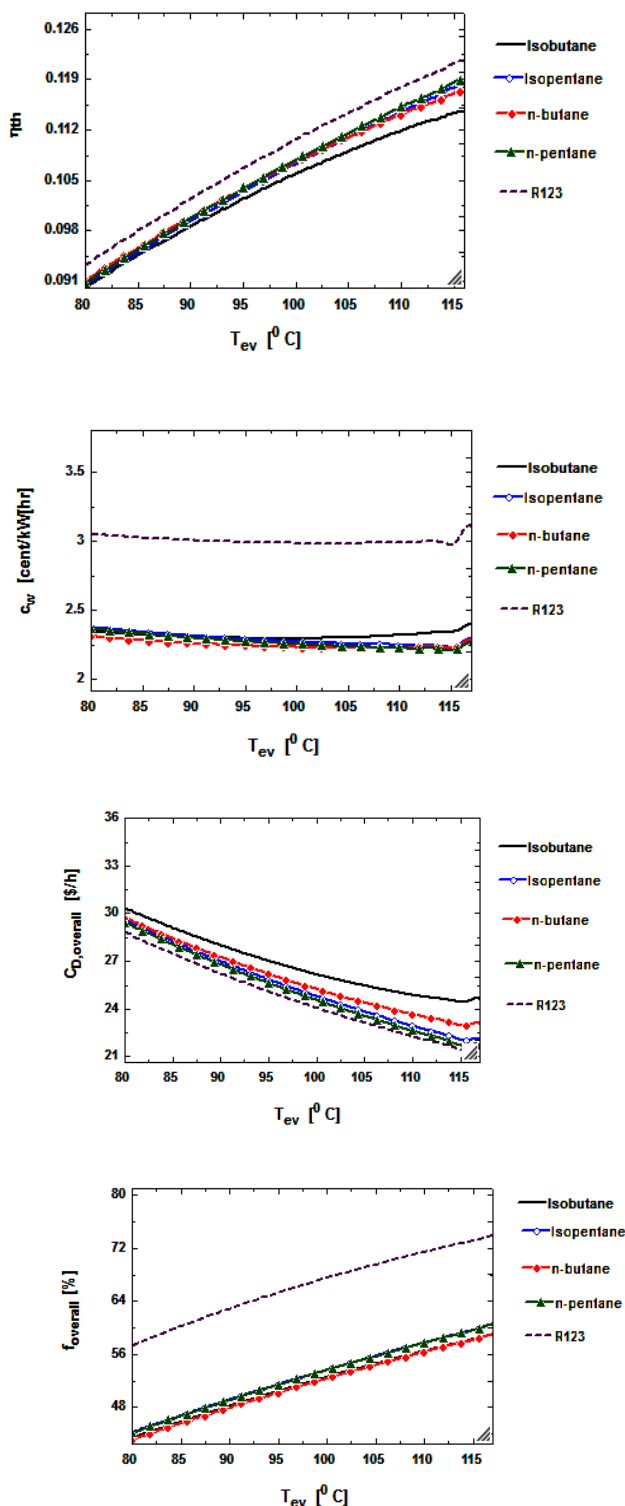
داشت و با توجه به تعریف پارامتر f در ابتدا چون هم مقدار \dot{C}_D و هم Z کاهش می‌یابد بنابراین شیب افزایش f در سیکل‌های ترکیبی با ORC بالا بوده ولی سپس با افزایش بیشتر فشار جداساز و افزایش مقدار \dot{C}_D



شکل ۴- تاثیر فشار اواپراتور بر پارامترهای اگزورژواکونومیکی سیکل ترکیبی تک تبخیره و کالینا

شیب افزایش f هم کاهش خواهد یافت. اما در سیکل ترکیبی با کالینا، مقدار \dot{C}_D با افزایش فشار جداساز مرتباً

بررسی پرداخته و نتایج با استفاده از نمودارهای ذکر شده در ادامه با هم مقایسه می‌گردند. شکل ۳ تاثیر تغییرات فشار جداساز را بر روی بازده ترمودینامیکی و پارامترهای اگزورژواکونومیکی سیکل‌های ترکیبی نشان می‌دهد. در این شکل‌ها، دمای اواپراتور برای همه ORC ها برابر ۱۱۰ درجه سانتیگراد و فشار و غلظت آمونیاک برای سیکل کالینا به ترتیب برابر ۲۰ بار و ۰/۷ در نظر گرفته شده است. با افزایش فشار جداساز، مقدار هزینه واحد تولید توان توربین ۲ مرتباً کاهش یافته ولی مقدار C_{WT1} ابتدا روندی کاهشی داشته ولی سپس بصورت نمایی افزایش می‌یابد. بنابراین ابتدا که هر دو پارامتر C_{WT1} و C_{WT2} روندی کاهشی دارند، مقدار C_{WT} هم کاهش یافته ولی در فشارهای بالاتر جداساز، چون مقدار C_{WT1} بصورت نمایی افزایش می‌یابد بنابراین شیب افزایش آن بر شیب کاهش C_{WT2} غلبه کرده و در کل مقدار C_{WT} برای هر دو سیکل ترکیبی با کالینا و ORC افزایش می‌یابد. با افزایش فشار جداساز، مقدار \dot{W}_{T1} روندی کاملاً کاهشی و مقدار \dot{W}_{T2} روندی کاملاً صعودی را خواهد داشت. بنابراین ابتدا مقدار توان توربین ۲ غالب بوده و باعث افزایش مقدار \dot{W}_{net} در سیکل‌های ترکیبی شده ولی در فشارهای بالاتر جداساز، شیب کاهشی \dot{W}_{T1} غلبه کرده و مقدار \dot{W}_{net} را هم کاهش می‌دهد. همچنین اختلاف انرژی ورودی و خروجی از سیکل‌های ترکیبی با افزایش فشار جداساز روندی کاهشی را داشته و در کل مقدار بازده ترمودینامیکی هم ابتدا روندی افزایشی را داشته و به یک مقدار ماکزیمم رسیده ولی سپس کاهش می‌یابد. نکته قابل توجه آن است که روند تغییرات در سیکل ترکیبی با کالینا بصورتی است که ماکزیمم بازده در فشارهای پایین‌تر جداساز نسبت به سیکل ترکیبی با ORC ها رخ می‌دهد. همانطوری که در جدول ۱۰ هم مشاهده شد بیشترین مقدار \dot{C}_D در سیکل‌های ترکیبی مورد بررسی در کندانسورها و توربین اتفاق می‌افتد و چون رفتار پارامتر \dot{C}_D در این اجزا با افزایش فشار جداساز ابتدا روندی کاهشی داشته و به یک مقدار کمینه رسیده و سپس افزایش می‌یابد، بنابراین مقدار \dot{C}_D برای کل سیکل‌های ترکیبی با ORC هم شبیه رفتار \dot{C}_D برای این اجزا است. با افزایش فشار جداساز، مقدار Z برای کل سیکل ترکیبی با ORC روندی کاملاً صعودی را خواهد



شکل ۵- تاثیر دمای اواپراتور بر پارامترهای
اگرزواکونومیکی سیکل‌های ترکیبی تک تبخیره و ORC

کاهش می‌یابد ولی چون مبدل حرارتی و توربین بیشترین سهم را در مقدار \dot{Z} سیکل ترکیبی دارند و روند تغییرات \dot{Z} این اجزا با افزایش فشار جداساز بصورتی است که ابتدا افزایش یافته و به مقداری بیشینه رسیده و سپس کاهش می‌یابد، بنابراین روند تغییرات f هم باتوجه به تعریف آن و با توجه به رفتارهای \dot{Z} و \dot{C}_D برای کل سیکل ترکیبی با کالینا، مقدار پارامتر f هم ابتدا با افزایش مقدار \dot{Z} و کاهش \dot{C}_D با شیب زیادی افزایش ولی سپس در فشارهای بالاتر جداساز، چون مقدار \dot{Z} کل سیکل ترکیبی کاهش می‌یابد مقدار پارامتر f هم با شیب کمتری کاهش خواهد یافت.

شکل ۴ تغییرات پارامترهای اگرزواکونومیکی سیکل ترکیبی زمین گرمایی و کالینا را نسبت به تغییرات فشار اواپراتور در سیکل کالینا نشان می‌دهد. در این حالت فشار جداساز برابر ۳۵۰ کیلوپاسکال و غلظت آمونیاک در سیکل کالینا برابر ۰/۷ در نظر گرفته شده است. با افزایش فشار اواپراتور در سیکل کالینا، مقدار توان تولیدی توربین ۱ ثابت و مقدار توان تولیدی توربین ۲ ابتدا با شیب زیادی افزایش ولی سپس شیب افزایش کاهش می‌یابد. مقدار اختلاف انرژی ورودی و خروجی از سیکل هم به مقدار کمی کاهش یافته بنابراین مشاهده می‌شود که شیب افزایش بازده ترمودینامیکی به مقدار کمی بیشتر از شیب افزایش توان خالص تولیدی سیکل است. با افزایش فشار اواپراتور در سیکل کالینا، مقدار C_{WT1} مقداری ثابت ولی مقدار C_{WT2} ابتدا کاهش یافته و به مقدار کمینه‌ای رسیده و سپس افزایش می‌یابد. در نتیجه با توجه به مقدار ثابت C_{WT1} ، روند تغییرات C_{WT} شبیه به روند تغییرات C_{WT2} خواهد بود. مقدار کمینه C_{WT} در فشار حدود ۲۵ بار در اواپراتور رخ می‌دهد. در سیکل کالینا بیشترین مقدار \dot{C}_D مربوط به مبدل حرارتی و کندانسور ۲ است. با افزایش فشار اواپراتور، مقدار \dot{C}_D برای مبدل حرارتی مرتباً کاهش یافته ولی برای کندانسور ۲ ابتدا کاهش ولی سپس روندی افزایشی را خواهد داشت. با توجه به غالب بودن مقدار \dot{C}_D برای این اجزا در سیکل ترکیبی با کالینا، رفتار \dot{C}_D برای کل سیکل ترکیبی هم از تغییرات \dot{C}_D برای این دو جزء تبعیت کرده و ابتدا تا فشار حدود ۳۷ بار کاهش ولی سپس با افزایش مقدار \dot{C}_D در کندانسور مقدار \dot{C}_D کل سیکل ترکیبی هم

- تبخیره سیال زمین گرمایی و سیکل رانکین با سیال عامل R123 اتفاق می‌افتد.
- هزینه تولید توان برای سیکل ترکیبی زمین گرمایی و سیکل کالینا با غلظت آمونیاک ۸/۰ در بین سیکل‌های ترکیبی مورد بررسی دارای کمترین مقدار است.
 - هزینه مرتبط با تخریب انرژی برای سیکل ترکیبی زمین گرمایی با ORC با سیال عامل R123 دارای کمترین مقدار و برای سیکل ترکیبی زمین گرمایی با سیکل کالینا دارای بیشترین مقدار است.
 - در سیکل ترکیبی زمین گرمایی و سیکل کالینا با غلظت آمونیاک ۰/۷ است کمینه هزینه تولید توان ۸/۶۳٪ کمتر از هزینه تولید توان در حالت بیشینه بازده ترمودینامیکی است.
 - در بین سیکل‌های ترکیبی زمین گرمایی و ORC بیشترین تغییر مربوط به سیکل ترکیبی زمین گرمایی و ORC با سیال عامل ایزوبوتان است که کمینه هزینه تولید توان ۲/۶٪ کمتر از هزینه تولید توان در حالت بیشینه بازده ترمودینامیکی است.
 - در سیکل‌های ترکیبی زمین گرمایی و ORC توربین ۲ و کندانسور ۲ و در سیکل‌های ترکیبی زمین گرمایی و کالینا، کندانسور ۲ و مبدل حرارتی دارای بیشترین مقدار $\dot{C}_{D,k} + \dot{C}_{L,k} + \dot{Z}_k$ هستند که باید از نقطه‌نظر ترمودینامیکی مورد بیشترین توجه قرار گیرند.
 - افزایش دمای جداساز باعث کاهش هزینه تولید توان در سیکل‌های ترکیبی زمین گرمایی و ORC و کالینا شده و این پارامتر به مقدار کمینه‌ای می‌رسد.
 - در سیکل ترکیبی زمین گرمایی و ORC، هزینه تولید توان نسبت به دمای اواپراتور دارای مقادیر کمینه‌ای است و سپس با افزایش بیشتر دمای اواپراتور افزایش می‌یابد. همچنین هزینه مرتبط با تخریب انرژی و پارامتر f با افزایش دمای اواپراتور به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابند که این روند برای همه سیکل‌های ترکیبی زمین گرمایی و ORC با سیالات عامل مختلف یکسان است.
 - در سیکل ترکیبی زمین گرمایی و کالینا، با افزایش فشار اواپراتور سیکل کالینا هزینه تولید توان نسبت دارای مقادیر کمینه‌ای است که در فشار ۲۵ بار اتفاق می‌افتد. همچنین همین روند برای هزینه مرتبط با تخریب انرژی نسبت به

افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش فشار اواپراتور، مقدار \dot{Z} برای مبدل حرارتی و در نتیجه کل سیکل افزایش یافته و با توجه به تعریف f می‌بینیم که ابتدا شیب افزایش پارامتر f بالا بوده ولی سپس با افزایش مقدار \dot{C}_D در فشارهای بالای اواپراتور، شیب افزایش f هم کم می‌شود.

شکل ۵ تغییرات پارامترهای انرژی‌اقتصادی سیکل ترکیبی زمین گرمایی-ORC را نسبت به تغییرات دمای اواپراتور در ORC نشان می‌دهد. در تمامی حالات فشار جداساز برابر ۲۶۶/۷ کیلوپاسکال فرض شده است. با افزایش دمای اواپراتور در سیکل‌های ترکیبی با ORC، مقدار توان تولیدی توربین ۲ افزایش یافته و در نتیجه مقدار توان تولیدی خالص سیکل ترکیبی هم روندی صعودی خواهد داشت. بنابراین با توجه به تعریف بازده مشاهده می‌شود که مقدار بازده ترمودینامیکی هم با افزایش دمای اواپراتور روندی صعودی را خواهد داشت. با افزایش دمای اواپراتور، مقدار C_{WT1} ثابت مانده ولی مقدار C_{WT2} به مقدار بسیار ناچیزی کاهش و سپس افزایش می‌یابد و در نتیجه با توجه به ثابت بودن C_{WT1} ، مقدار C_{WT} هم روندی شبیه رفتار C_{WT2} را خواهد داشت. همانطوریکه در شکل ۵ ملاحظه می‌شود تغییرات در مقدار C_{WT} بسیار کم است. با افزایش دمای اواپراتور در سیکل‌های ترکیبی با ORC، مقدار \dot{Z} برای مبدل حرارتی افزایش و مقدار \dot{C}_D برای این جزء کاهش می‌یابد و تطابق دمایی در مبدل حرارتی صورت می‌گیرد. بنابراین چون در این حالت تغییرات مبدل حرارتی بیشترین تاثیر را در سیکل ترکیبی دارد در نتیجه مقدار \dot{C}_D و \dot{Z} برای کل سیکل ترکیبی هم به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. با توجه به تعریف پارامتر f و رفتار \dot{Z} و \dot{C}_D کاملاً واضح است که مقدار پارامتر f باید مرتباً افزایش یابد.

۷- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، سیکل‌های ترکیبی تولید توان تک‌تبخیره زمین گرمایی و سیکل کالینا و سیکل رانکین با سیال‌های آلی ایزوبوتان، ایزوپنتان، ان-پنتان، ان-پنتان و R123 از نظر انرژی، انرژی و اگزرژی و اگزژیواکونومیکی مورد بررسی قرار گرفته‌است. از مهمترین نتایج بدست آمده در این تحقیق می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- در بین سیکل‌های مورد بررسی بیشترین بازده ترمودینامیکی برای سیکل ترکیبی تولید توان تک

- [12] Mert MS, Dilmac OF, Ozkan S, Karaca F, Bolat E (2012) Exergoeconomic analysis of a cogeneration plant in an iron and steel factory. *Energy* 46:78-84.
- [13] Rezayan O, Behbahaninia A (2011) Thermoeconomic optimization and exergy analysis of CO₂/NH₃ cascade refrigeration systems. *Energy* 36:888-895.
- [14] Baghernejad A, Yaghoubi M (2011) Exergoeconomic analysis and optimization of an integrated solar combined cycle system (ISCCS) using genetic algorithm. *Energy Convers Manage* 52:2193-2203.
- [15] Abusoglu A, Kanoglu M (2009) Exergoeconomic analysis and optimization of combined heat and power production: a review. *Renew SustEnergy Rev* 13: 2295-2308.
- [16] Tsatsaronis G (2007) Definitions and nomenclature in exergy analysis and exergoeconomics. *Energy* 32: 249-253.
- [17] Bejan A, Tsatsaronis G, Moran M (1996) *Thermal Design and Optimization*. John Wiley & Sons, pp: 408-427.
- [18] Mohammadkhani F, Shokati N, Mahmoudi SMS, Yari M, Rosen MA (2014) Exergoeconomic assessment and parametric study of a Gas Turbine-Modular Helium Reactor combined with two Organic Rankine cycles. *Energy* 65,533-543.
- [19] Hettiarachchi HD, Golubovic M, Worek WM, Ikegami Y (2007) The Performance of the Kalina Cycle System 11 (KCS-11) With Low-Temperature Heat Sources. *Journal of Energy Resources Technology* 129, 243-247.
- [20] Raskovic P, Guzovic Z, Cvetkovic S (2013) Performance analysis of electricity generation by the medium temperature geothermal resources: VelikaCiglena case study. *Energy*: 54, 11-31.
- [21] Coskun A, Bolatturk A, Kanoglu M (2014) Thermodynamic and economic analysis and optimization of power cycles for a medium temperature geothermal resource. *Energy Conversion and Management* 78,39-49.
- [22] Dorj P (2005) *Thermoeconomic Analysis of a New Geothermal Utilization CHP Plant in Tsetserleg, Mongoloa*. Master Thesis, University of Iceland, Reykjavík, Iceland.
- [23] Akbari M, Mahmoudi SMS, Yari M, Rosen MA (2014) Energy and Exergy Analyses of a New Combined Cycle for Producing Electricity and Desalinated Water Using Geothermal Energy. *Sustainability* 6,1796-1820.
- فشار اواپراتور هم تکرار می‌شود با این تفاوت که کمینه هزینه مرتبط با تخریب انرژی در فشار نزدیک به ۳۷ بار اتفاق می‌افتد.
- مراجع**
- [1] Zhou C, Doroodchi E, Moghtaderi B (2013) An in-depth assessment of hybrid solar-geothermal power generation. *Energy Convers Manage* 74:88-101.
- [2] Aneke M, Agnew B, Underwood C (2011), performance analysis of the Chena binary geothermal power plant. *Appl Therm Eng* 31(10):1825-1832.
- [3] Kanoglu M, Bolatturk A (2008) Performance and parametric investigation of a binary geothermal power plant by exergy. *Renewable Energy* 33(11):2366-2374.
- [4] Gabbriellini R (2012) A novel design approach for small scale low enthalpy binary geothermal powerplants. *Energy Convers Manage* 64:263-72.
- [5] Yari M (2010) Exergetic analysis of various types of geothermal power plants. *Renewable Energy* 35(1):112-121.
- [6] Hettiarachchi HDM, Golubovic M, Worek WM, Ikegami Y (2007) Optimum design criteria for an Organic Rankine cycle using low-temperature geothermal heat sources. *Energy* 32(9):1698-1706.
- [7] DiPippo R (2004) Second Law assessment of binary plants generating power from low-temperature geothermal fluids. *Geothermics* 33(5):565-86.
- [8] DiPippo R (2007) Ideal thermal efficiency for geothermal binary plants. *Geothermics* 36(3):276-285.
- [9] Franco A, Villani M (2009) Optimal design of binary cycle power plants for water dominated, medium-temperature geothermal fields. *Geothermics* 38(4):379-391.
- [10] Ahmadi P, Dincer I (2010) Exergoenvironmental analysis and optimization of a cogeneration plant system using Multimodal Genetic Algorithm (MGA). *Energy* 35: 5161-5172.
- [11] Bagdanavicius A, Jenkins N, Hammond GP (2012) Assessment of community energy supply systems using energy, exergy and exergoeconomic analysis. *Energy* 45:247-255.