



شبیه سازی و تحلیل عملکرد انرژی و انرژی سیکل ترکیبی تولید توان با استفاده از نرم افزار ASPEN HYSYS

فرزین حسینی فرد^۱، مصطفی امیددی بیدگلی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی سیستم انرژی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی،

f.h.fard2016@gmail.com

* ۲- استادیار، گروه مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، واحد بادرود، دانشگاه آزاد اسلامی، بادرود، ایران mostafaomidibidgoli@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۰، بازنگری: ۱۴۰۴/۲/۲۵، پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۶

چکیده

یکی از نیازهای اولیه بشر تأمین برق آن می باشد و نیروگاه های برق این نیاز اساسی را تأمین می کنند. یکی از انواع این نیروگاه ها، نیروگاه های سیکل ترکیبی می باشند. نیروگاه های سیکل ترکیبی نوعی از نیروگاه هستند که از دو یا چند چرخه حرارتی بهره می گیرند و مصرف سوخت کمتری نسبت به دیگر نیروگاه ها دارند. به همین جهت، در این مطالعه با استفاده از نرم افزار Aspen Hysys v11 شبیه سازی یک سیکل ترکیبی با ظرفیت ۶۶ مگاوات که سیال واسط آن Pentane می باشد، مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از بررسی های پایه ای در کنار تحلیل انرژی در مباحث ترمودینامیک صورت می گیرد، تحلیل انرژی می باشد. تحلیل انرژی به طور کلی عملیاتی بودن مسئله را مورد بررسی قرار می دهد. با بررسی این تحلیل برای این مطالعه مشخص گردید که میانگین راندمان انرژی سیستم حدود ۸۳ درصد می باشد که بیانگر شرایط بهینه سیستم از لحاظ انرژی می باشد.

* عهده دار مکاتبات: mostafaomidibidgoli@gmail.com

کلمات کلیدی: نیروگاه، سیکل ترکیبی، انرژی، انرژی، راندمان، اسپن هایسیس

نحوه استناد به این مقاله فرزین حسینی فرد، مصطفی امیددی بیدگلی. شبیه سازی و تحلیل عملکرد انرژی و انرژی سیکل ترکیبی تولید توان با استفاده از نرم افزار ASPEN HYSYS. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۴؛ ۱۲(۱): ۶۷-۷۴.

۱- مقدمه

مطابق با گزارش‌های بین‌المللی سازمان‌های انرژی، در سال گذشته تقاضای انرژی بین ۵۰ تا ۸۰ درصد افزایش داشته است. پاسخ به این تقاضا باید همراه با کاهش آلاینده‌گی باشد [۱]. در سال‌های اخیر، کاهش انتشار کربن‌دی‌اکسید هدف اصلی صنایع بزرگ بوده است [۲]. افزایش بسیار زیاد انتشار کربن در سال‌های اخیر باعث مشکلات زیادی برای اقلیم کره زمین مانند گرم شدن کره زمین، تخریب لایه ازن، آتش‌سوزی مراتع و جنگل‌ها و همچنین باران‌های اسیدی شده است [۳][۴][۵][۶].

در این بین، استفاده از تکنولوژی‌های کاهش انتشار کربن [۱۷][۱۶] و بهینه‌سازی سیستم‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۱۸][۱۹]. در این مسیر، دولت‌ها کارهای بسیاری انجام داده‌اند مانند استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر [۷] یا بهره‌گیری از نیروگاه‌های سیکل ترکیبی [۸] به‌طوری‌که کشوری مانند سنگاپور ۹۶ درصد از نیروگاه‌ها از نوع سیکل ترکیبی می‌باشد [۹]. ترکیبی‌سازی سیکل یک روش کارآمد در بهبود راندمان و کاهش مصرف انرژی می‌باشد [۱۰][۱۱].

همچنین از دیگر مزایای آن می‌توان به تعمیر و نگهداری آسان‌تر نسبت به دیگر سیکل‌ها اشاره نمود [۱۲]. همان‌طور که اشاره شد، ترکیبی‌سازی یک روش کارآمد می‌باشد، اما باید در کنار تحلیل انرژی، تحلیل انرژی هم مورد بحث و بررسی قرار گیرد تا منابع ناکارآمد سیستم شناسایی شود و در جهت رفع این ناکارآمدی و افزایش بهره‌وری پیش رفت [۱۳، ۱۴].

از این‌رو، هدف از این مطالعه بررسی ظرفیت انرژی و انرژی یک سیکل تولید توان ترکیبی و همچنین شناسایی اجزای سیکل که تخریب انرژی زیادی دارند، است تا بتوان راندمان و بهره‌وری سیستم را افزایش داد. تحلیل انرژی یکی از تحلیل‌های پایه‌ای در تحلیل‌های ترمودینامیکی حرارتی می‌باشد [۱۶].

در این مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار اسپن‌هایسیس شبیه‌سازی سیکل تولید توان تولید بخار صورت گرفته است که با توجه به ظرفیت بالای این نرم‌افزار در شبیه‌سازی سیالات آلی این انتخاب صورت گرفته است. یکی از تفاوت‌های این مطالعه با دیگر مطالعات، استفاده از سیال آلی پنتان می‌باشد که کم‌تر در مطالعات مورد استفاده قرار گرفته و تأثیر انتخاب این سیال آلی بر تغییر برگشت‌ناپذیری‌ها در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- روش تحقیق

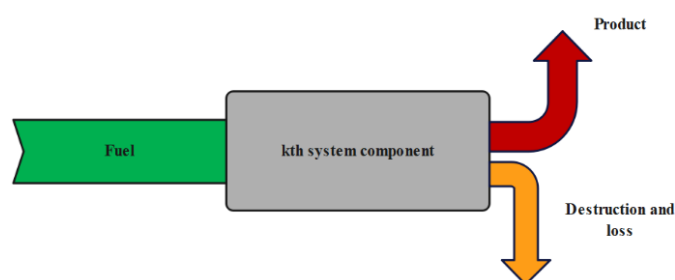
در این مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار اسپن‌هایسیس و تحت معادلات پایا، شبیه‌سازی یک سیکل ترکیبی با ظرفیت توان تولیدی ۶۶ مگاوات مورد بررسی قرار گرفت. پس از آن، با بررسی تحلیل انرژی برای این سیکل، راندمان و همچنین تخریب اجزا تحقیق شد.

تحلیل انرژی یکی از بررسی‌های دقیق در حوزه ترمودینامیک است، به‌طوری‌که با بررسی کیفیت تبدیل انرژی، عوامل برگشت‌ناپذیری شناسایی می‌شود. در بررسی تحلیل انرژی و انرژی که مرتبط با قانون اول و دوم ترمودینامیک است، در ابتدا فرضیاتی در نظر گرفته می‌شود که حائز اهمیت است. در جدول (۱)، خلاصه‌ای از این فرضیات برای سیکل مورد بررسی ارائه شده است.

در قسمت بررسی شرایط سیستم از منظر انرژی، دیدگاهی که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است، دیدگاه "سوخت-محصول" می‌باشد. در این دیدگاه، جریان سوخت وارد حجم کنترل شده، و پس از اعمال یا دریافت کار بر روی آن، جریان محصول از سیستم خارج می‌شود (شکل ۱). همچنین، جریان تخریب دیگر جریان خروجی از سیستم می‌باشد.

جدول ۱: پارامترهای کلیدی سیکل تولید توان

واحد	مقدار	پارامتر
°C	۲۵	دمای هوا
Kpa	۱۰۱	فشار هوا
°C	۲۵	دمای سوخت
Kpa	۲۰۰	فشار سوخت
%	۷۵	راندمان توربین
%	۷۵	راندمان پمپ
-	پوسته-لوله	نوع مبدل
-	گاز طبیعی	نوع سوخت
°C	HP-400	نوع بخار



شکل ۱: شماتیک تحلیل انرژی بر پایه دیدگاه سوخت-محصول

محاسبه بالانس جرم و انرژی برای تحلیل انرژی و انرژی که از روابط زیر استخراج می‌شود، پیش‌نیاز این تحلیل می‌باشد. همچنین شرایط اولیه برای سیستم در فشار ۱ بار و دمای ۲۹۸ درجه کلوین برقرار است.

$$\sum \dot{m}_{in} h_{in} = \sum \dot{m}_{out} h_{out} \quad [18] \quad (1)$$

$$\sum \dot{m}_{in} h_{in} - \sum \dot{m}_{out} h_{out} - \dot{W} + \dot{Q} = 0 \quad [18] \quad (2)$$

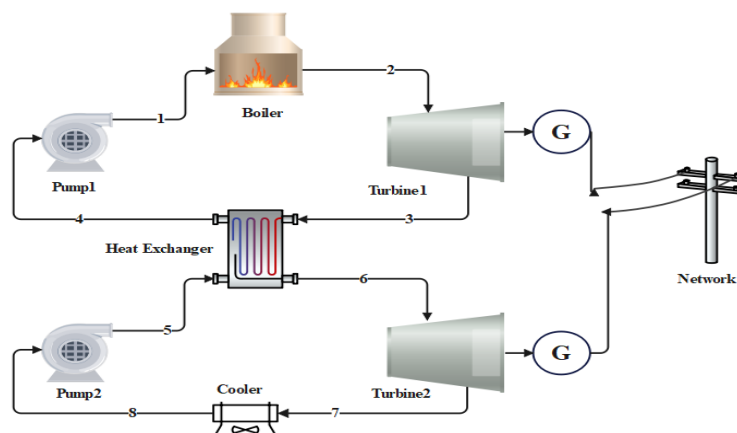
$$Ex_{system} = Ex_{physical} + Ex_{chemical} \quad [19] \quad (3)$$

$$Ex_{fuel} = Ex_{product} + Ex_{destruction} \quad [19] \quad (4)$$

$$E_n = \frac{Ex_{product}}{Ex_{fuel}} \quad [19] \quad (5)$$

در معادلات فوق پارامترهای مختلفی استفاده شده است. $\dot{m}_{in}$ بیانگر دبی ورودی به سیستم و h_{in} نشان‌دهنده آنتالپی جریان ورودی به سیستم است. در معادله (۳) انرژی سیستم از انرژی فیزیکی و شیمیایی جریان تشکیل شده است که در معادله (۴)

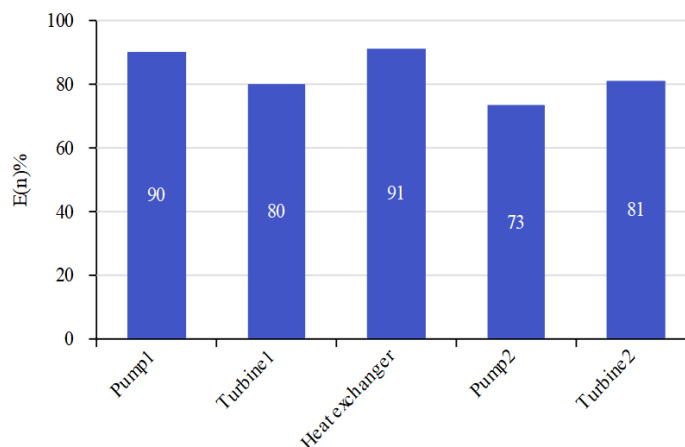
برای محاسبه انرژی سوخت از معادله بالانس انرژی شامل انرژی محصول و تخریب انرژی استفاده می شود. در معادله (۵) برای محاسبه راندمان انرژی استفاده می شود به طوری که با نسبت انرژی محصول به سوخت این پارامتر قابل محاسبه است.



شکل ۲: جریانات فرآیندی سیکل تولید توان

۳- بحث و نتایج

همان طور که در قسمت قبل اشاره شد، تحلیل انرژی یکی از تحلیل های پایه ای به همراه تحلیل انرژی است. تحلیل انرژی به بررسی حفظ انرژی در سیستم می پردازد و از نظر معادلات قانون اول انرژی را بررسی می کند، اما تحلیل انرژی به میزان کار مفید و راندمان سیستم توجه دارد. حتی اگر سیکل از نظر انرژی پایدار باشد، باید از منظر انرژی نیز دارای راندمان بالا و تخریب قابل قبولی باشد. در نمودار زیر، تحلیل انرژی برای اجزای سیکل تولید توان مورد بررسی قرار گرفته است. راندمان بالای انرژی در هر سیکل نشان دهنده حداقل بارگشت ناپذیری های سیستم انرژی است. به این معنا که سیکل تولید توان از تجهیزات مختلفی تشکیل شده و برخی از این تجهیزات به دلیل ماهیت حرارتی خود، دارای تخریب انرژی بالایی هستند، مانند مبدل های حرارتی. تخریب انرژی به معنای از دست رفتن توانایی تبدیل انرژی به کار مفید است و این مسئله به طور خاص در تجهیزات حرارتی مشهود است. با این حال، سیستم های انرژی معمولاً به صورت حجم کنترلی بررسی می شوند تا به تحلیل دقیق تری از کارایی و تخریب انرژی دست یابند. در نتیجه، تحلیل انرژی به ما این امکان را می دهد که بهینه سازی های لازم را برای کاهش تخریب و افزایش راندمان در سیستم های انرژی انجام دهیم. به طور کلی، تحلیل انرژی به ما کمک می کند تا بتوانیم بهره وری سیستم های تولید توان را بهبود بخشیم و از منابع انرژی به طور بهینه استفاده کنیم.



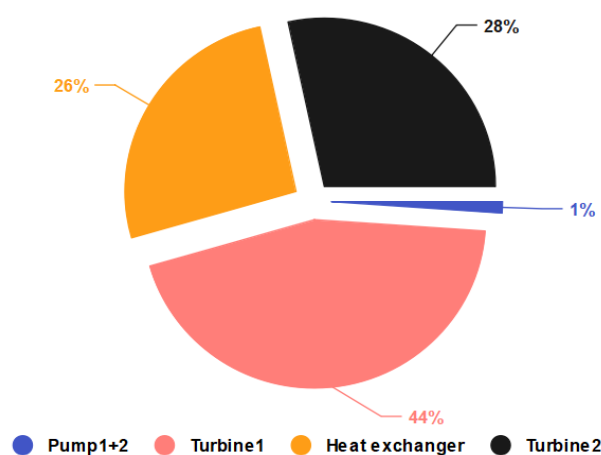
شکل ۳: نمودار مقایسه راندمان انرژی برای تجهیزات سیکل

همان طور که از نمودار بالا مشهود است، مبدل بازیاب حرارتی با راندمان ۹۱ درصد بیشترین بهره‌وری را دارد. این مبدل به دلیل طراحی خاص و بهینه‌سازی‌های انجام شده، قادر است مقدار زیادی از حرارت را بازیابی کند و به همین دلیل، راندمان بالایی را به نمایش می‌گذارد. از طرفی، تجهیزاتی مانند توربین‌ها که نقش مهمی در تولید توان دارند، به دلیل پیچیدگی‌های فنی و شرایط عملیاتی، دارای راندمان کمتری هستند. این کاهش راندمان به دلیل ویژگی‌های خاص توربین‌ها و همچنین اتلاف انرژی در فرآیندهای تبدیل انرژی است.

راندمان کلی سیکل برابر با ۸۳ درصد است که نشان‌دهنده بهره‌وری بالا و عملکرد مطلوب سیستم است. این مقدار راندمان به این معنی است که سیستم به خوبی طراحی و پیاده‌سازی شده و توانسته است انرژی را به طور مؤثر تبدیل کند و در نتیجه، شرایط بهره‌وری سیستم بسیار مطلوب است.

در شکل زیر، میزان تخریب انرژی توسط هر جزء از سیستم به تصویر کشیده شده است. تحلیل این تخریب‌ها کمک می‌کند تا نقاط ضعف سیستم شناسایی شده و بهینه‌سازی‌های لازم انجام شود. تخریب انرژی نشان‌دهنده میزان انرژی است که به دلیل ناکارآمدی در فرآیندهای مختلف از دست می‌رود و نمی‌تواند به کار مفید تبدیل شود. این تخریب‌ها معمولاً در تجهیزاتی مانند مبدل‌های حرارتی و توربین‌ها مشاهده می‌شود، جایی که انرژی به دلیل تبدیل ناپایدار یا اتلاف‌های حرارتی به صورت غیرقابل برگشتی از بین می‌رود.

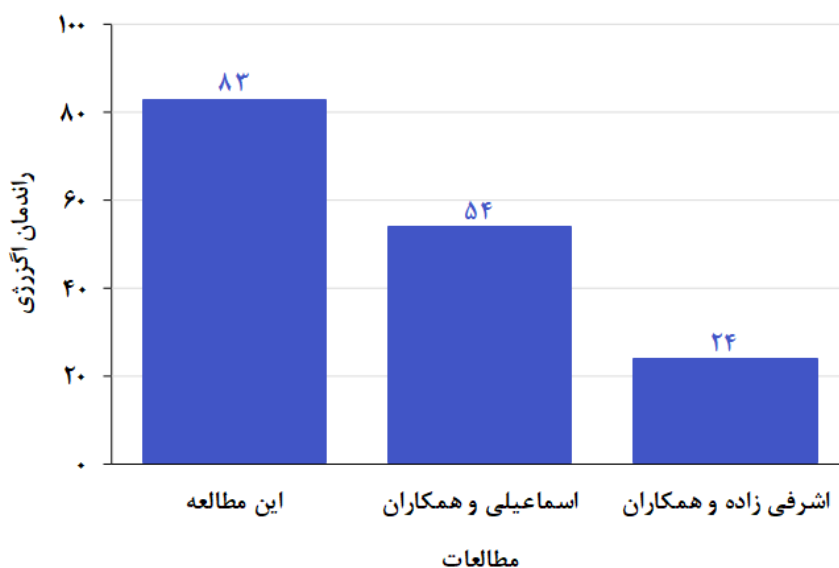
با بررسی میزان تخریب انرژی، می‌توان نقاط بحرانی سیستم را شناسایی کرده و اقدامات لازم برای کاهش این تخریب‌ها و افزایش راندمان کل سیستم را به کار بست. به این ترتیب، تحلیل انرژی ابزار ارزشمندی برای بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌های انرژی و کاهش اتلاف‌های انرژی محسوب می‌شود.



شکل ۴: نمودار تخریب انرژی

همان طور که از شکل (۴) هم قابل بررسی است، بیشترین تخریب انرژی مربوط به توربین ۱ که در سیکل بخار وجود دارد، می‌باشد. به این صورت که این جزء به تنهایی ۴۴ درصد کل تخریب سیستم را شامل می‌شود. پس از آن، توربین ۲ با ۲۸ درصد و مبدل بازیاب حرارتی با ۲۶ درصد در رتبه‌های بعد قرار دارند.

در شکل (۵) بررسی مقایسه راندمان سیکل حرارتی در این مطالعه و مقایسه این پارامتر با مطالعات دیگر در این حوزه که شامل مطالعه اسماعیلی و همکاران [۲۰] و همچنین اشرفی زاده و همکاران [۲۱] در حوزه افزایش راندمان در سیکل‌های حرارتی و ترکیبی مقایسه شده است.



شکل ۵: مقایسه راندمان انرژی محاسبه شده در این مطالعه و مقایسه با مطالعات دیگر

۴- نتیجه گیری

تولید انتشار کربن بالا در صنایع نیروگاهی و تولید توان، این صنایع را به سمت سیکل های ترکیبی سوق داده است. هم چنین یکی از مشکلات در سیکل های تولید توان، پایین بودن راندمان انرژی می باشد. به همین منظور، لزوم بررسی این موضوع همیشه در دستور کار بوده است. در این مطالعه، با استفاده از این بررسی مشخص شد که راندمان اجزای سیکل شرایط مطلوبی دارند و هم چنین راندمان کلی حدود ۸۲ درصد می باشد. از طرفی، شرایط سیکل از نظر تخریب هم مورد بررسی قرار گرفت که مشخص شد بیشترین تخریب با ۴۴ درصد مربوط به توربین اول می باشد که اگر بخواهیم شرایط سیستم را بهینه کنیم، این توربین یکی از این اجزا محسوب می شود. همان طور که در قسمت قبل نیز اشاره گردیده شد، در این مطالعه از سیال واسطه پنتان استفاده شده است که هدف از بررسی این سیال نو، ارزیابی اضافه شدن برگشتناپذیری ها در سیستم بود. با توجه به نتایج موجود و بررسی انرژی صورت گرفته، کاهش قابل ملاحظه ای با استفاده از این سیال در سیستم مشاهده نگردیده است. استفاده از این سیال از منظر اقتصادی هم بسیار قابل ملاحظه است.

فهرست علائم

علائم انگلیسی			
ورودی	in	نرخ انرژی (kW)	EX
خروجی	out	انتالپی مخصوص (kJ/kg)	h
علائم یونانی		نرخ جریان جرمی (kg/s)	m
بازده	η	انرژی	Ex

مراجع

- [1] L. T. Shireef, T. K. Ibrahim, Influence of operating parameters on the performance of combined cycle based on exergy analysis, Case Stud. Therm. Eng., 40(October) (2022), 102506, doi: 10.1016/j.csite.2022.102506.
- [2] D. Zhao, C. Han, W. Cho, L. Zhao, and Y. Kim, Directly combining a power cycle and refrigeration

- cycle: Method and case study, *Energy*, 259 (2022), doi: 10.1016/j.energy.2022.125017.
- [3] P. Grennfelt, A. Engleryd, M. Forsius, Ø. Hov, H. Rodhe, and E. Cowling, Acid rain and air pollution: 50 years of progress in environmental science and policy, *Ambio*, 49(4) (2020), doi: 10.1007/s13280-019-01244-4.
- [4] S. Sonwani, S. Hussain, and P. Saxena, Air pollution and climate change impact on forest ecosystems in Asian region—a review, *Ecosyst. Heal. Sustain.*, 8(1) (2022), doi: 10.1080/20964129.2022.2090448.
- [5] U. University, ACID RAIN, (2022).
- [6] D. News, climate change, (2018), [Online] Available: <https://www.dallasnews.com/opinion/commentary/2019/01/25/we-humans-restored-the-ozone-layer-and-defeated-acid-rain-we-can-solve-climate-change/>
- [7] F. Parvareh *et al.*, Integration of solar energy in coal-fired power plants retrofitted with carbon capture: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38 (2014) doi: 10.1016/j.rser.2014.07.032.
- [8] A. Corti and L. Lombardi, Biomass integrated gasification combined cycle with reduced CO₂ emissions: Performance analysis and life cycle assessment (LCA), *Energy* (2004), doi: 10.1016/j.energy.2004.03.015.
- [9] Z. Liu and I. A. Karimi, Simulation of a combined cycle gas turbine power plant in Aspen HYSYS, *Energy Procedia*, (2019), doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.901.
- [10] B. Kirtania and V. Shilapuram, Conceptual design, energy, exergy, economic and water footprint analysis of CO₂-ORC integrated dry gasification oxy-combustion power cycle, *J. Clean. Prod.*, (2023), doi: 10.1016/j.jclepro.2023.137930.
- [11] C. Yue and P. Wang, Thermal analysis on vehicle energy supplying system based on waste heat recovery ORC, *Energy Procedia*, (2019), doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.582.
- [12] O. R. C. (ORC) for heat and power Production, Interreg Europe, (2021).
- [13] M. Aliyu, A. B. AlQudaihi, S. A. M. Said, and M. A. Habib, Energy, exergy and parametric analysis of a combined cycle power plant, *Therm. Sci. Eng. Prog.*, 15 (2020), doi: 10.1016/j.tsep.2019.100450.
- [15] F. Hosseinfard, M. Hosseinpour, M. Salimi, M. Amidpour, Optimizing post combustion carbon capture: A comprehensive 3E analyses of energy, exergy and exergoeconomic aspects with solar integration, *Sustain. energy Technol. Assessments*, 62 (october 2023) (2024), 103626, doi:10.1016/j.seta.2024.103626
- [16] J. Bravo, D. Drapanauskaite, N. Sarunac, C. Romero, T. Jesikiewicz, and J. Baltrusaitis, Optimization of energy requirements for CO₂ post-combustion capture process through advanced thermal integration, *Fuel*, 283 (2021), doi: 10.1016/j.fuel.2020.118940.
- [17] S. M. Cohen, M. E. Webber, and G. T. Rochelle, Utilizing solar thermal energy for post-combustion CO₂ capture, ASME 2010 4th International Conference on Energy Sustainability, ES 2010, 2010, doi: 10.1115/ES2010-90147.
- [18] G. Ferrarra, M. T. Ho, A. Lanzini, P. Leone, and D. E. Wiley, Exergetic and Exergoeconomic Analysis of Three Different Technologies for Post-combustion CO₂ Capture, *Energy Procedia*, (2017), doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.1782.
- [19] F. Hosseinfard, M. Hosseinpour, M. Salimi, and M. Amidpour, Toward a greener future: Solar solutions for industrial carbon capture, *Sol. Energy*, 271 (2024), 112436, doi: 10.1016/J.SOLENER.2024.112436.

[۲۰] اشرفی زاده، سیدعلی و ایزد پناه، امین، ۱۳۹۵، بررسی ترمودینامیکی و تحلیل انرژی یک نیروگاه سیکل ترکیبی پیشرفته، ششمین همایش علمی مهندسی فرآیند، پالایش و پتروشیمی، تهران، <https://civilica.com/doc/465383>

[۲۱] اسماعیلی، علیرضا، شکیب، سید احسان، عمیدپور، مجید، (۱۴۰۱). 'تحلیل انرژی و انرژی کوپلینگ نیروگاه سیکل ترکیبی و آب شیرین کن تبخیری چندمرحله‌ای، 'مهندسی و مدیریت انرژی ۲(۱)، ۴۰-۴۴.

Simulation and examination of energy and exergy performance of combined power generation cycle by ASPEN HYSYS software

Farzin Hosseini¹, Mostafa Omidibidgoli^{2*}

¹ Department of Mechanical Engineering, K.N.Toosi university of technology, Tehran, Iran

^{2*} Department of Mechanical Engineering, Badroud Branch, Islamic Azad University, Badroud, Iran

Received: Winter 2025 Accepted: Spring 2025

Abstract

One of the basic needs of mankind is its electricity supply, and power plants provide this basic need. One of these types of power plants are combined cycle power plants. Combined cycle power plants are a type of power plant that consists of two or more cycles. they use heat and have less fuel consumption than other power plants, therefore, in this study, by using Aspen Hysys v11 software, the simulation of a combined cycle with a capacity of 66 megawatts, whose intermediate fluid is pentane, has been investigated. One of the investigations In addition to energy analysis in thermodynamic topics, the basic analysis is exergy analysis. Exergy analysis generally examines the operationality of the problem. By examining this analysis for this study, it was determined that the average exergy efficiency of the system is about 83%. which indicates the optimal conditions of the system in terms of exergy

Key words: Power plant, combined cycle, energy, exergy, efficiency, Aspen hysys

*mostafaomidibidgoli@gmail.com

Cite this article as: Farzin Hosseini¹, Mostafa Omidibidgoli, Mohammad Nazififard, Simulation and examination of energy and exergy performance of combined power generation cycle by ASPEN HYSYS software. *Journal of Energy Conversion*, 2025, 12(1), 67-74.