



Sharif university of technology
Aerospace department

Simulation of thermodynamic cycle in HYSYS

Thermodynamic 2 project

Students:
Ali Baniasad
Javad Mirzaei

Prof: Dr.Morad

Winter 2020

شبیه سازی یک سیکل ترمودینامیکی با HYSYS

چکیده

هدف از انجام این پروژه بررسی سیکل *CCHP* و آشنایی با برنامه های شبیه ساز ترمودینامیکی بود که در این پروژه از *HYSYS* استفاده شد. این نوع سیکل ها بازده بسیار بالایی دارند نسبت به سیکل های معمولی مانند رانکین (البته بازده آن ها قطعا کمتر از کارنو است). دلیل انتخاب این سیکل ها مشکلات محیط زیستی و منابع طبیعی است که هر چه کمتر از آن ها استفاده شود و به سلامت طبیعت کمک کرد.

از ویژگی های *HYSYS* می توان به این اشاره کرد که همیشه در حالت فعال است و استفاده از آن سادس.

در این پروژه این سیکل را به کمک *HYSYS* مورد بررسی قرار دادیم تا ببینیم چه مقدار نیرو لازم است، چه مقدار کار انجام می دهد، چه مقدار گرما تولید می کند و چه مقدار سرد می کند. پاسخ سوال های قبل در پروژه آمده است.

همچنین در این پروژه بررسی شد با تغییر دما میزان توان هر یک از المان های سیستم چه تغییری می کند.

مقدمه

در این پروژه معادلات را با برنامه *HYSYS* و از الگوریتم (*Fluid package*) به نام *Lee – Kesler – Plocker* استفاده کردیم تا معادلات بر اساس آن حل شوند.

در این پروژه از سه سیال آب، هوا و CO_2 استفاده کردیم.

این نرم افزار ساخته شرکت *Hyprotech* است. در این پروژه ما از نسخه ده آن برای شبیه سازی استفاده کردیم.

این نوع سیکل ها جدیداً و بعد از مشکلات زیستی بسار مهم شدن و بررسی آن در این پروژه کاری مهم در جهت حفظ محیط زیست و سلامت بشریت است.

2	شبیه سازی یک سیکل ترمودینامیکی با HYSYS
2	چکیده
2	مقدمه
4	مقدمه ای بر سیکل
4	شرح سیکل پروژه
6	شرح فرایند انجام شده و توضیح چگونگی تولید تبرید
8	مقایسه مقادیر بدست آمده حاصل از شبیه سازی با داده های صورت پروژه
9	گزارش مقدار تبرید تولید شده
9	گزارش مقدار توان خالص تولید شده
10	گزارش مقدار دبی آب گرم در بخش
10	گزارش مقدار دبی آب سرد در بخش
11	گزارش مقدار دبی آب سرد در بخش
11	گزارش دمای هوای خروجی در بخش
12	تغییر دمای از دمای تا درجه سانتی گراد و رسم منحنی تغییرات کار توربین، پمپ، و کمپرسور بر حسب آن
16	راه حل پیشنهادی شما برای افزایش
17	به صورت کیفی شرح دهید که بنظر شما در کدام بخش بیشترین اکسرژی تخریب شده رخ میدهد.
17	بدست آوردن واحد
17	نمودار S-T
19	This project is open source and you can use it and change it >- .
19	مراجع

مقدمه ای بر سیکل *CCHP*

با توجه به رشد جمعیت، صنعت و آلودگی‌های زیست‌محیطی، تقاضا برای سیستم‌های تولید راندمان بالا و آلودگی‌های زیست‌محیطی پایین، افزایش یافته است. یکی از سیستم‌ها، سیستم تولید همزمان برق، حرارت و سرما یا به اختصار (*Combined Cooling, Heat & Power*) است. این سیستم‌ها برخلاف نیروگاه‌های سنتی که راندمان نسبتاً پایینی دارند، می‌توانند به راندمان کل حدود 60 % تا 90 % برسند [1-2].

در این چرخه با بررسی 4E (*energy, exergy, economic and environmental*) می‌توان به نتایج مهمی رسید که در این پروژه هم ما به صورت کلی دو مورد اول را بررسی می‌کنیم. این سیکل تلفیقی از سیکل رانکین، سیکل برایتون، سیکل تبرید انژکتوری و چندین سیکل دیگر است. نتایج نشان می‌دهد که سیکل *CCHP* راندمان انرژی و انژکتوری بیشتری نسبت به یک چرخه ساده برایتون دارد.

سیستم *CHP*، دارای یک مولد قدرت، مبدل‌های حرارتی بازیافت گرما، ژنراتور، لوله‌ها و اتصالات و دیگر تجهیزات نظیر پمپ‌ها و عایق‌ها و غیره است. اگر این سیستم مجهز به مصارف سرمایشی شود، به یک چیلر تراکمی یا جذبی نیاز دارد. به این نوع سیستم‌ها *CCHP* یا

Trigeneration می‌گویند که از توانایی تولید همزمان برق، گرما و سرما برخوردارند. پارامترهای اساسی در طراحی این سیکل می‌توان به دمای ورودی گاز به توربین، ضریب فشار کمپرسور، فشار بخار بازیابی گرما (*HRSG*) و مقدار بازیابی انرژی. به صورت کلی با بررسی سیکل *CCHP* و مقایسه آن با سیکل رانکین می‌توان نتیجه گرفت که این سیکل مقدار راندمان آن در انژکتوری 12 % و در انرژی 7 % بیشتر است.

شرح سیکل پروژه

این سیستم همانطور که در بالا گفته شد تلفیقی از چندین سیکل است. در این سیستم ابتدا فشار گاز را با پمپ افزایش می‌دهیم سپس از روش *regenerator* استفاده می‌کنیم به این صورت از توربین یک خروجی می‌گیریم که هنوز دارای فشار و دما بالاست و با آن در گرم کردن گاز اولیه مقداری صرفه جویی می‌کنیم و آن را برای ورود به توربین آماده می‌کنیم. حال گاز را در فرایند سه به چهار گرم می‌کنیم و وارد توربین می‌شود. مقداری از آن همانطور که گفته شد در وسط فرایند توربین خارج می‌شود و بقیه کار را انجام می‌دهند و از پنج خارج می‌شوند، ما برای شبیه سازی این توربین دو توربین گذاشتیم که همه گاز وارد آن می‌شوند و سپس مقداری از آن برای *regenerator* خارج می‌شود و بقیه وارد توربین می‌شود.

گاز خارج شده از توربین دوم گرما خود را از دست می دهد و به مایع تبدیل می شود و آب استفاده شده در این فرایند گرم می شود. در شبیه ساز ما یک *heat exchanger* استفاده می کنیم که در دو ورودی 5 و 6 داریم و خروجی های آن 6 و 2 است، با دادن ورودی های مناسب قسمت مجهول سیکل بر اساس خود معادلات *HYSYS* و الگوریتم انتخابی توسط نرم افزار بدست می آید. سپس خروجی *water heater* با گازی که برای *regenerator* استفاده شده بود با هم تلفیق می شوند. گاز که برای *regenerator* استفاده شده بود با یک *heat exchanger* در سیمولینک شبیه سازی می شود به این صورت که داری دو ورودی 1C و 2 و خروجی 2C و 3 است که نرم افزار بر اساس گفته ها بالا مجهولات را حساب می کند.

خروجی *recuperator* (2C) را با استفاده از یک *Gas cooler* که ورودی آن آب است خنک می شود، در اینجا ما همانند بالا از یک *heat exchanger* استفاده می کنیم که توضیحات آن در بالا آمده است با این تفاوت که به توجه به داده های صورت پروژه از نظر دیدگاه انتقال حرارتی دچار مشکل می شود بنابراین ما داده ها را به صورتی که مناسب باشد تغییر داده و در اینجا یکی از آن قسمت هایی بود که دچار مشکل بود. بعد از سرد شدن گاز در یک فرایند سه قسمتی با مقداری گاز دیگر از همان جنس تلفیق می شود و در آخر همان مقدار گاز دوباره از آن جدا می شود که معادله بقای جرم ارضا شود و در انجام فرایند تصریح شود.

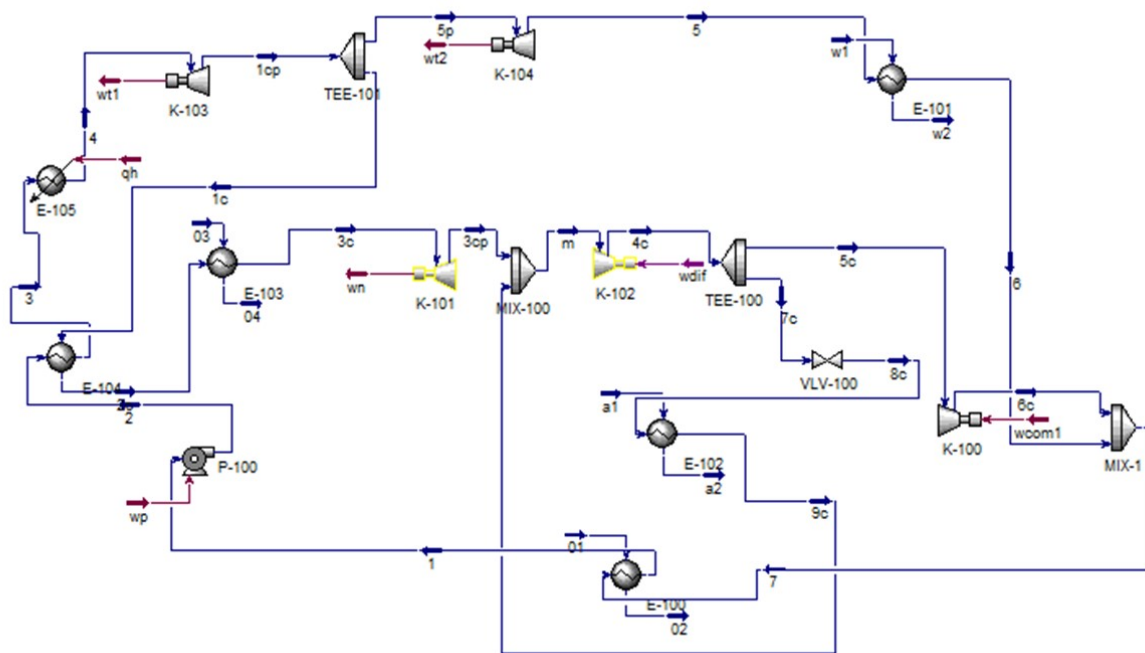
در این فرایند اول هر کدام از گاز ها وارد یک نازل می شوند سپس در میکسر با هم مخلوط می شوند و وارد یک دیفیوزر می شود و در جداکننده مقدار گازی که به آن اضافه شده بود جدا می شود، سپس با یک کمپرسور فشار آن را زیاد می کنیم تا بتوانیم با جریان 6 تلفیق کنیم.

در شبیه سازی به جای *Nozzle* از توربین استفاده کردیم که در اینجا یک مشکل بود. ورودی و خروجی توربین به شکل گاز است اما در اینجا مایع اشباع CO_2 است از طرفی نازل کاری به ما تحویل نمی دهد پس با صرف نظر کردن از کار آن می توان این قسمت *Ejector* را شبیه سازی کرد. قسمت *Mixing* را با یک *mixer* شبیه سازی می کنیم. دوباره ما چون در *HYSYS* دیفیوزر نداریم آن را با یک کمپرسور شبیه سازی می کنیم.

برای شاخه 4C، یک *separator* قرار می دهیم بعد از همانند توضیحات بالا عمل می کنیم. بعد از اینکه مقداری گاز که اضافه شد جدا شد توسط یک شیر فشارشکن فشار آن را کاهش می دهیم و سپس توسط یک *evaporator* آن را از به مایع اشباع تبدیل می کنیم و آب را گرم می کنیم همانند بالا باز هم از یک *heat exchanger* استفاده می کنیم که دارای دو تا ورودی و خروجی مانند بالا و در شکل 1 آمده است.

در نهایت دو گاز جدا شده در قسمت *regenerator* به هم ملحق می شوند (دو خط جریان 6 و 6C). پس از ادغام توسط یک *condenser* دمای آن پایین می آید و کاملاً مانند بالا از یک *heat exchanger* و شرایط گفته شده استفاده می شود، وارد پمپ می شود و فرایند از اول دوباره رخ می دهد.

شکل شبیه ساز به فرم زیر است.



شما می توانید از لینک زیر برای دانلود فایل *HYSYS* استفاده کنید.

[GitHub](#)

شکل 1 شمای کلی سیستم شبیه سازی شده در *HYSYS*

شرح فرایند انجام شده و توضیح چگونگی تولید تبرید

به فرایند انتقال گرما از مخزنی دما-پایین به (Refrigeration: به انگلیسی) سردسازی یا تبرید مخزنی با دمای بالاتر گفته می شود.

	fluid	pressure(Mpa)	T(C)	m_dot(kg/s)
simulation_8c	co2	3.97	6.345	0.209
data_9c	co2	3.97	5	0.209
simulation_9c	co2	3.97	6.345	0.209
data_a1	air	0.122	25	2.753
simulation_a1	air	0.122	25	2.753
data_a2	air	0.122	?	2.753
simulation_a2	air	0.122	8.731	2.753

دو سیستم نسبتاً شبیه هم سیستم CHP و $CCHP$ است که یکی از فرق آن ها می توان به تولید تبرید اشاره کرد که فقط در سیستم $CCHP$ رخ می دهد.

در تمامی $heat\ exchanger$ ها گرما از CO_2 خارج می شود به جز در فرایند 8_C به 9_C که گاز گرما می گیرد و هوا که در $heat\ exchanger$ خنک می شود.

جدول 1 تبرید در سیستم

بر اساس داده های بالا نرم افزار معادلات را بر اساس الگوریتم داده شده حل کرده و میزان تغییر دما را داده است.

Date Name	fluid	pressure(Mpa)	T(C)	m_dot(kg/s)
data_1	co2	5.73	20	0.782
simulation_1	co2	5.73	20	0.782
data_2	co2	12	30.1	0.782
simulation_2	co2	12	29.57	0.782
data_3	co2	12	56.9	0.782
simulation_3	co2	12	50	0.782
data_4	co2	12	220	0.782
simulation_4	co2	12	220	0.782
data_5	co2	5.73	156	0.352
simulation_5	co2	5.73	155	0.352
data_6	co2	5.73	45	0.352
simulation_6	co2	5.73	42.41	0.352
data_7	co2	5.73	34.5	0.782
simulation_7	co2	5.73	34.5	0.782
data_1c	co2	8.4	188	0.43
simulation_1c	co2	8.4	187.6	0.43
data_2c	co2	8.4	52.2	0.43
simulation_2c	co2	8.4	79.71	0.43
data_3c	co2	8.4	36	0.43
simulation_3c	co2	8.4	36	0.43
data_4c	co2	4.6	10.9	0.639
simulation_4c	co2	4.6	12.31	0.639
data_5c	co2	4.6	10.9	0.43
simulation_5c	co2	4.6	12.13	0.43
data_6c	co2	5.73	27.5	0.43
simulation_6c	co2	5.73	28.99	0.43
data_7c	co2	4.6	10.9	0.209
simulation_7c	co2	4.6	12.13	0.209
data_8c	co2	3.97	5	0.209
simulation_8c	co2	3.97	6.345	0.209

مقایسه مقادیر بدست آمده حاصل از شبیه سازی با داده های صورت پروژه

Date Name	fluid	pressure(Mpa)	T(C)	m_dot(kg/s)
data_9c	co2	3.97	5	0.209
simulation_9c	co2	3.97	6.345	0.209
data_a1	air	0.122	25	2.753
simulation_a1	air	0.122	25	2.753
data_a2	air	0.122	?	2.753
simulation_a2	air	0.122	8.731	2.753
data_w1	water	0.101	25	?
simulation_w1	water	0.101	25	0.5566
data_w2	water	0.101	90	?
simulation_w2	water	0.101	42	0.5566
data_0_1	water	0.101	15	?
simulation_0_1	water	0.101	15	10.78
data_0_2	water	0.101	17.7	?
simulation_0_2	water	0.101	17.7	10.78
data_0_3	water	0.101	15	?
simulation_0_3	water	0.101	15	2.638
data_0_4	water	0.101	20	?
simulation_0_4	water	0.101	20	2.638

جدول 2 مقایسه داده ها در شبیه ساز و صورت پروژه

جدول 2 مقایسه داده ها در شبیه ساز و صورت پروژه

Date Name	fluid	pressure(Mpa)	T(C)	m_dot(kg/s)	heat flow(kJ/h)	heat flow(kWh)
data_a1	air	0.122	25	2.753		
simulation_a1	air	0.122	25	2.753	-346200	-96.1666666666
data_a2	air	0.122	?	2.753		
simulation_a2	air	0.122	8.731	2.753	-186900	-51.9166666666

گزارش مقدار تبرید تولید شده

بر اساس داده های در جدول و خروجی شبیه ساز می توان به مقدار تبرید تولید شده رسید. قبلاً گفته شد بود که تولید تبرید در *evaporator* رخ می دهد.

جدول 4 گزارش کار و توان HYSYS

	kJ/h	kw
qh	888170.388329097	246.713996758083
wp	28190.0842953008	7.83057897091689
wt1	70915.8782051916	19.6988550569977
wt2	31778.6985710061	8.82741626972392
wcom1	14348.4653468815	3.98568481857819

بر اساس جدول زیر داریم

جدول 3 فرایند داخل *evaporator*

مقدار گرمای انتقالی از هوا به CO_2 به صورت زیر است:

$$Q_R = -186900 - (-346200) = 159,300 \frac{Kj}{h}$$

گزارش مقدار توان خالص تولید شده

در شبیه ساز برای توان تولیدی و استفاده شده که در شکل 1 به صورت کامل و دقیق نشان داده شده است. بر اساس گزارش های *HYSYS* داریم:

	fluid	pressure(Mpa)	T(C)	m_dot(kg/s)	heat flow(kJ/h)
data_w1	water	0.101	25	?	
simulation_w1	water	0.101	25	0.5566	-32170000
data_w2	water	0.101	90	?	
simulation_w2	water	0.101	42	0.5566	-31990000
data_5	co2	5.73	156	0.352	
simulation_5	co2	5.73	155	0.352	
data_6	co2	5.73	45	0.352	
simulation_6	co2	5.73	42.41	0.352	

$$W_{total} = W_{t1} + W_{t2} - W_{com1} - W_p = 70915.8782 + 31778.6986 - 14348.4653 - 28190.0843 = 60156.0272 \frac{Kj}{h}$$

$$W_{net} = 60156.0272 \frac{Kj}{h}$$

گزارش مقدار دبی آب گرم در بخش *water heater*
بر اساس داده های حاصل از گزارش *HYSYS* داریم:

جدول 5 گزارش مقدار دبی آب گرم در بخش *water heater*

با توجه به جدول بالا مقدار دبی آب گرم در بخش *water heater* برابر است با 0.5566

$$\dot{m}_{\text{warm water}} = 0.5566$$

	fluid	pressure(Mpa)	T(C)	m_dot(kg/s)
data_7	co2	5.73	34.5	0.782
simulation_7	co2	5.73	34.5	0.782
data_0_1	water	0.101	15	?
simulation_0_1	water	0.101	15	10.78
data_0_2	water	0.101	17.7	?
simulation_0_2	water	0.101	17.7	10.78
data_1	co2	5.73	20	0.782
simulation_1	co2	5.73	20	0.782

گزارش مقدار دبی آب سرد در بخش *condenser*
بر اساس داده های حاصل از گزارش *HYSYS* داریم:

	fluid	pressure(Mpa)	T(C)	m_dot(kg/s)
data_2c	co2	8.4	52.2	0.43
simulation_2c	co2	8.4	79.71	0.43
data_3c	co2	8.4	36	0.43
simulation_3c	co2	8.4	36	0.43
data_0_3	water	0.101	15	?
simulation_0_3	water	0.101	15	2.638
data_0_4	water	0.101	20	?
simulation_0_4	water	0.101	20	2.638

جدول 6 گزارش مقدار دبی آب سرد در بخش *condenser*

با توجه به جدول بالا مقدار دبی آب سرد در بخش *condenser* برابر است با 10.78

$$\dot{m}_{cold\ water} = 10.78 \frac{kg}{s}$$

گزارش مقدار دبی آب سرد در بخش *Gas cooler*

بر اساس داده های حاصل از گزارش *HYSYS* داریم:

	fluid	pressure(Mpa)	T(C)	m_dot(kg/s)
data_8c	co2	3.97	5	0.209
simulation_8c	co2	3.97	6.345	0.209
data_9c	co2	3.97	5	0.209
simulation_9c	co2	3.97	6.345	0.209
data_a1	air	0.122	25	2.753
simulation_a1	air	0.122	25	2.753
data_a2	air	0.122	?	2.753
simulation_a2	air	0.122	8.731	2.753

جدول 7 گزارش مقدار دبی آب سرد در بخش *Gas cooler*

با توجه به جدول بالا مقدار دبی آب سرد در بخش *Gas cooler* برابر است با 2.638

$$\dot{m}_{Gas\ cooler} = 2.638 \frac{kg}{s}$$

گزارش دمای هوای خروجی در بخش *evaporator*

بر اساس داده های حاصل از گزارش *HYSYS*

داریم:

جدول 8 گزارش دمای هوای خروجی در بخش *evaporator*

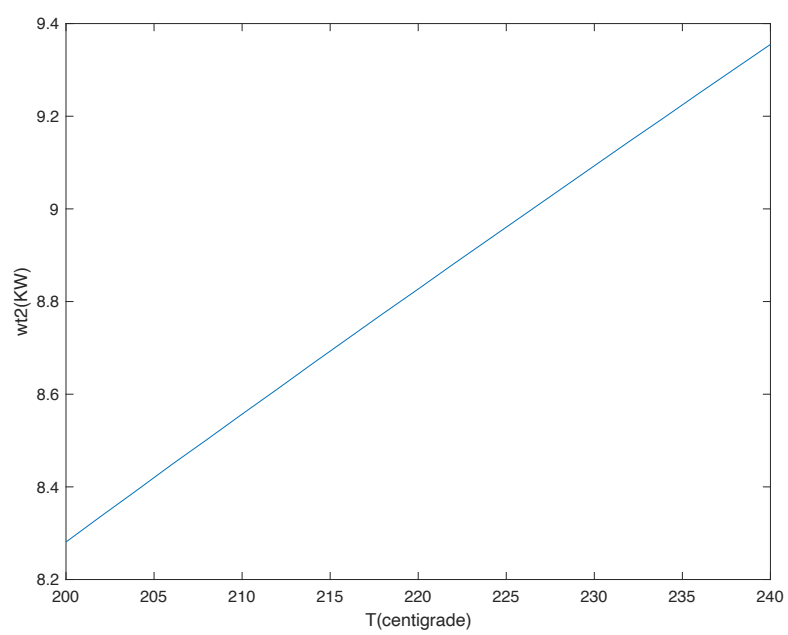
با توجه به جدول بالا دمای هوای خروجی در بخش *evaporator* برابر است با $8.731^{\circ}C$

$$T_{a_2} = 8.731^{\circ}C$$

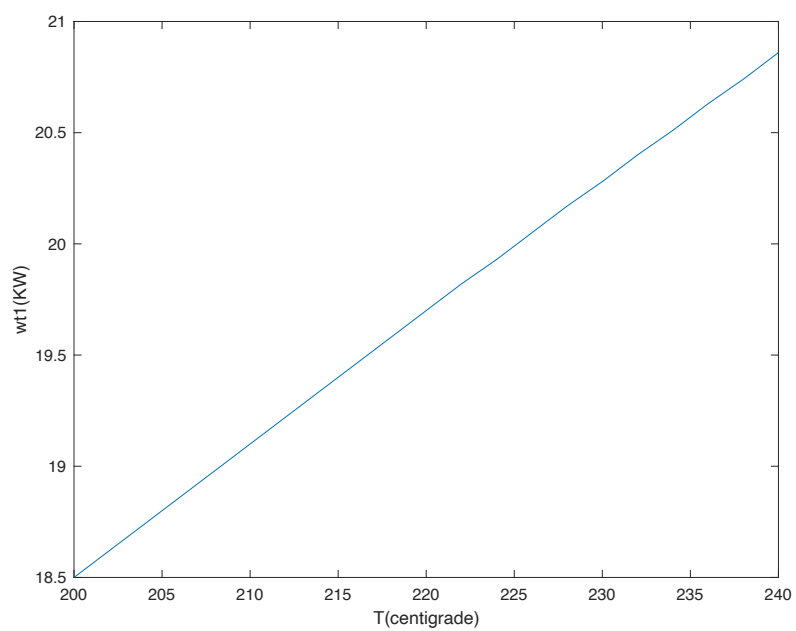
State	4 - Temperatur	wt2 - Powe	wt1 - Powe	wp - Powe	wcom1 - Powe	qh - Powe	w total	back work ratio
	C	kW	kW	kW	kW	kW	kw	1
Case 1	200	8.281	18.5	7.831	3.986	227.7	14.964	0.44124565923
Case 2	202	8.337	18.62	7.831	3.986	229.6	15.14	0.43836480320
Case 3	204	8.392	18.74	7.831	3.986	231.5	15.315	0.43553737284
Case 4	206	8.448	18.86	7.831	3.986	233.4	15.491	0.43273033543
Case 5	208	8.502	18.98	7.831	3.986	235.3	15.665	0.42999053926
Case 6	210	8.557	19.1	7.831	3.986	237.2	15.84	0.42726976895
Case 7	212	8.611	19.22	7.831	3.986	239.1	16.014	0.42459846933
Case 8	214	8.666	19.34	7.831	3.986	241	16.189	0.42194529743
Case 9	216	8.72	19.46	7.831	3.986	242.9	16.363	0.41933995741
Case 10	218	8.774	19.58	7.831	3.986	244.8	16.537	0.41676659377
Case 11	220	8.827	19.7	7.831	3.986	246.7	16.71	0.41423914186
Case 12	222	8.881	19.82	7.831	3.986	248.6	16.884	0.41172781436
Case 13	224	8.934	19.93	7.831	3.986	250.5	17.047	0.40940271618
Case 14	226	8.987	20.05	7.831	3.986	252.4	17.22	0.40696352929
Case 15	228	9.04	20.17	7.831	3.986	254.2	17.393	0.40455323519
Case 16	230	9.093	20.28	7.831	3.986	256.1	17.556	0.40230824226
Case 17	232	9.146	20.4	7.831	3.986	258	17.729	0.39995261625
Case 18	234	9.198	20.51	7.831	3.986	259.8	17.891	0.39777164400
Case 19	236	9.251	20.63	7.831	3.986	261.7	18.064	0.39546869248
Case 20	238	9.303	20.74	7.831	3.986	263.6	18.226	0.39333621808
Case 21	240	9.355	20.86	7.831	3.986	265.4	18.398	0.39109713718

تغییر دمای T_4 از دمای 200 تا 240 درجه سانتی گراد و رسم منحنی تغییرات کار توربین، پمپ، و کمپرسور بر حسب آن داده های خروجی از برنامه *HYSYS* به صورت جدول 9 آمده است. جدول ذکر شده در صفحه بعد آمده است.

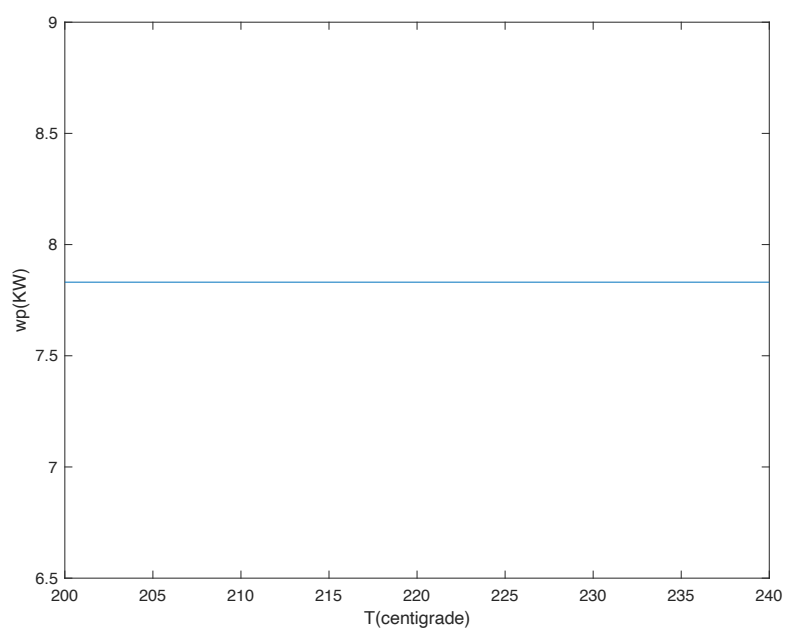
نمودار 1



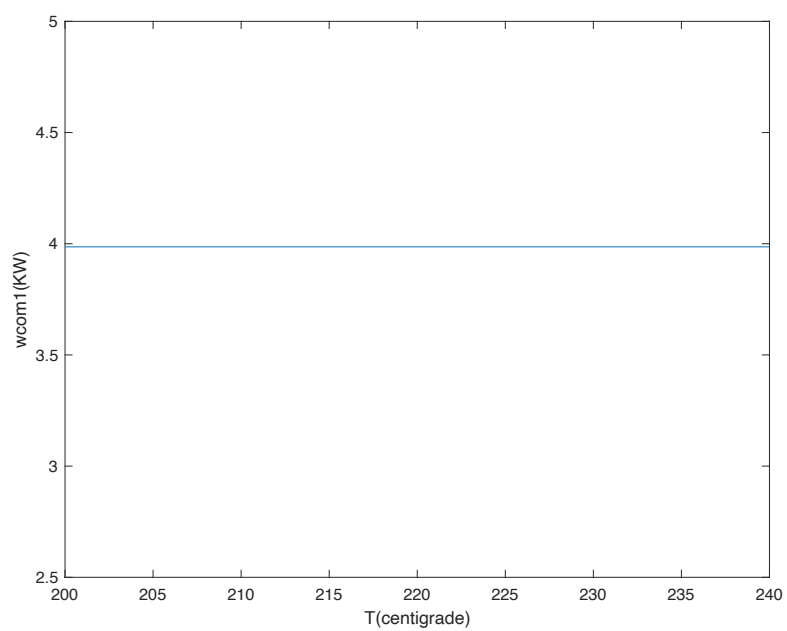
نمودار 2



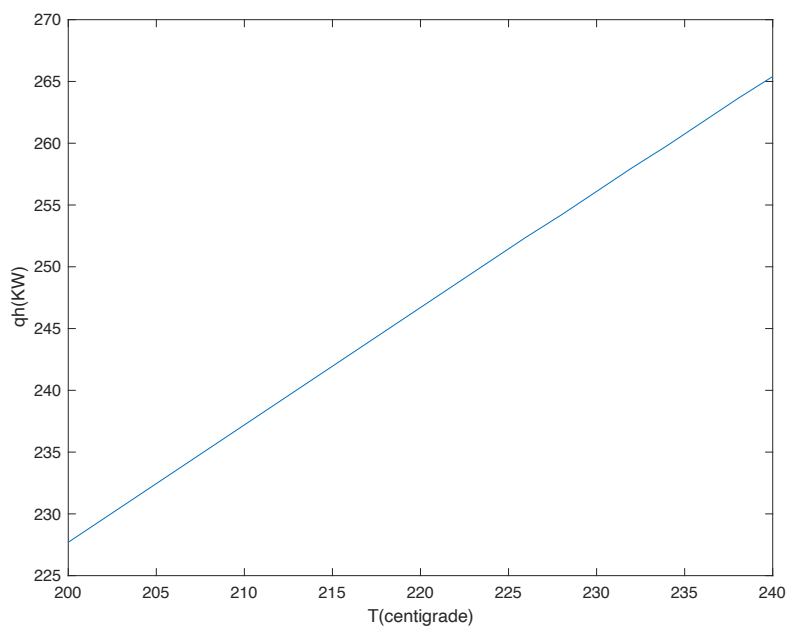
نمودار 3



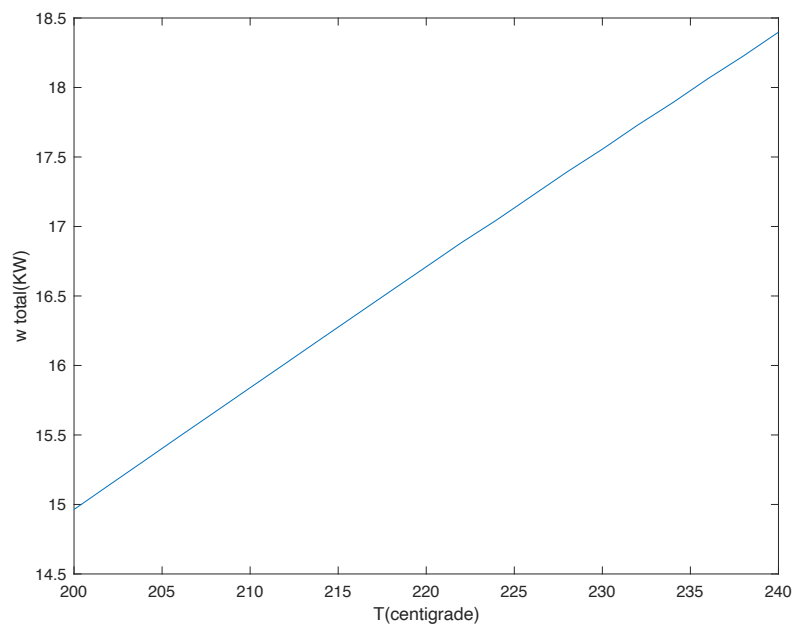
نمودار 4



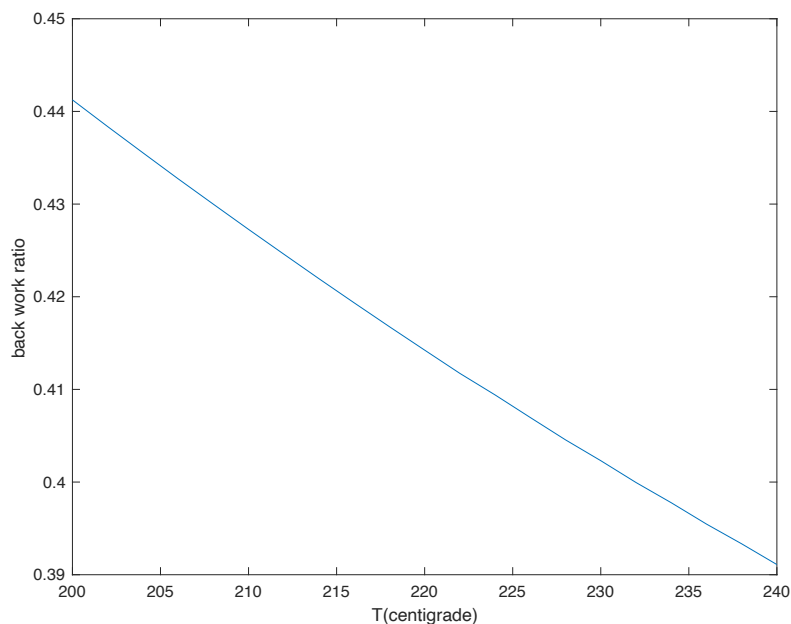
نمودار 5



نمودار 6



نمودار 7



راه حل پیشنهادی شما برای افزایش COP

بر اساس گفته های قبلی این سیستم هم تولید توان دارد هم تولید توان و هم تبرید. برای افزایش COP باید آن قسمت که تبرید تولید می کند را بررسی کرد. برای اینکار می توان دو کار کرد، اول اینکه کیفیت جریان 8_C را زیاد کرد، که برای اینکار می توان با تغییر شیر فشار شکن به نتیجه مطلوب رسید و یا اینکه جریان خروجی از *evaporator* را با دمای بیشتری خارج کرد که برای نیل به این هدف می توان از مقدار گرمای انتقال در *regenerator* کم کرد که در این صورت گرمای بیشتری منقل می شد و در نتیجه COP افزایش می یابد. از طرفی می توان بازدهی وسایل را بالا برد که باز هم باعث افزایش COP می شود.

به صورت کیفی شرح دهید که بنظر شما در کدام بخش بیشترین اکسرژی تخریب شده رخ میدهد.

این اتفاق در جاهایی می افتد که انتقال حرارت داریم و بازده آن جا هم است. یکی از جاهایی که تلفات اکسرژی زیاد است در شیر فشار شکن است چون فشار آن که بالاست را کم می کند در حالی که کاری انجام نمی دهد. یکی دیگر از این موارد *Ejector refrigeration* است که همانند دلایلی که در بالا ذکر شد همانند شیر فشارشکن باعث کاهش بسیار زیاد اکسرژی می شود.

بدست آوردن COP واحد
برای بدست آوردن آن داریم:

$$COP = \frac{Q_L}{W} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L}$$

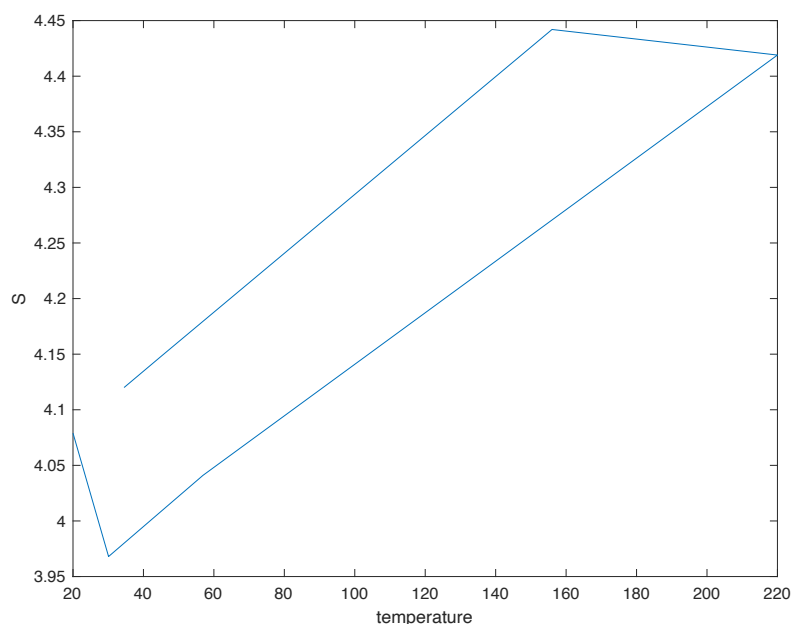
که بر اساس گزارش های نرم افزار داریم:

$$COP \approx 4.1$$

نمودار T-S

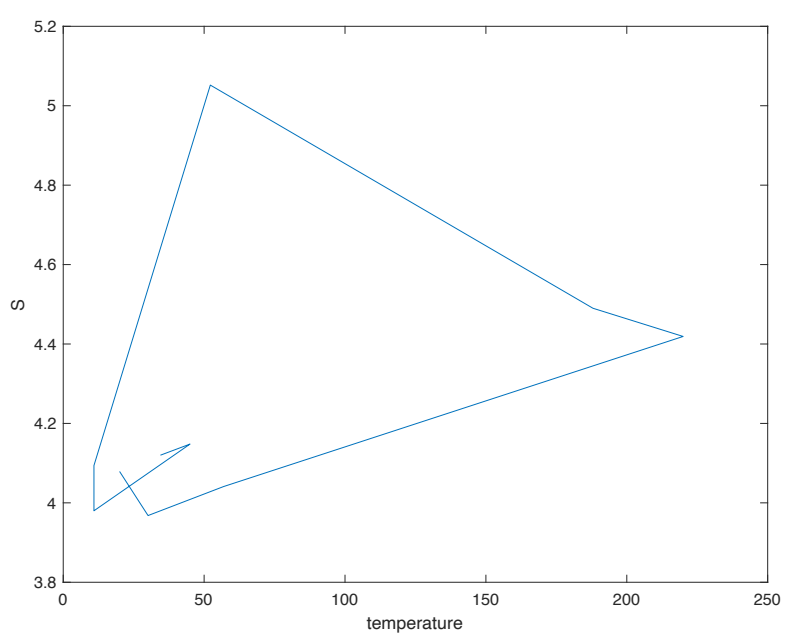
برای فرایند 1-7

نمودار 8



برای فرایند گرم ساختن ورودی و باز یابی

نمودار 9



This project is open source and you can use it and change it >- .

مراجع

[1]

Current Status of Fuel Cell Based" ,.S ,Pasupathi ,.G.B ,Pollet ,.P ,Bujlo ,.I ,Staffell ,.R.H ,Ellamla .pp ,293 .Vol ,Journal of Power Sources ",Combined Heat and Power Systems for Residential Sector 213-328, 2015.

[2]

Ebrahimi, M., Keshavarz, A., Combined Cooling, Heating and Power: Decision-making, Design and Optimization. Elsevier, 2014.