



# Exergo-Economic analysis of a geothermal steam turbine combined with multi-effect desalination and reverse osmosis: Validation

---

Ali Bagheri Barmas

Ali Khosravi

Prof. : Dr. Moghimi



## Exergoeconomic analysis of a geothermal steam turbine combined with multi-effect desalination and reverse osmosis



Aida Farsi, Marc A. Rosen

*Faculty of Engineering and Applied Science, University of Ontario Institute of Technology, 2000 Simcoe Street North, Oshawa, ON L1G 0C5, Canada*

---

### ARTICLE INFO

**Keywords:**

Geothermal  
Exergy  
Economic  
Exergoeconomic  
Steam turbine  
Multi-effect desalination  
Reverse osmosis

---

### ABSTRACT

An exergoeconomic analysis is reported of a geothermal-based combined system for electricity and freshwater in which a geothermal steam turbine is integrated with multi-effect desalination and reverse osmosis systems. The article includes an exergy analysis, an economic assessment and an exergoeconomic (i.e., exergy-based economic) evaluation. The specific exergy costing method is used for the analysis of the system to determine the effects of various design criteria on the cost rates and then to incorporate feasible improvements for enhanced cost effectiveness. The results of the exergoeconomic analysis can assist in the design, optimization and improvement of geothermal-based electricity-freshwater production combined systems. It is found that the exergoeconomic factors for the reverse osmosis, multi-effect desalination and steam turbine are high, all exceeding 85%. Thus, reducing the investment costs for these components is merited. This can be done by any of the following measures, among others: reducing heat transfer area in the multi-effect desalination system, using less expensive pumps and membranes in reverse osmosis, and lowering the expansion ratio, turbine inlet temperature and isentropic efficiency for the steam turbine.

# فهرست





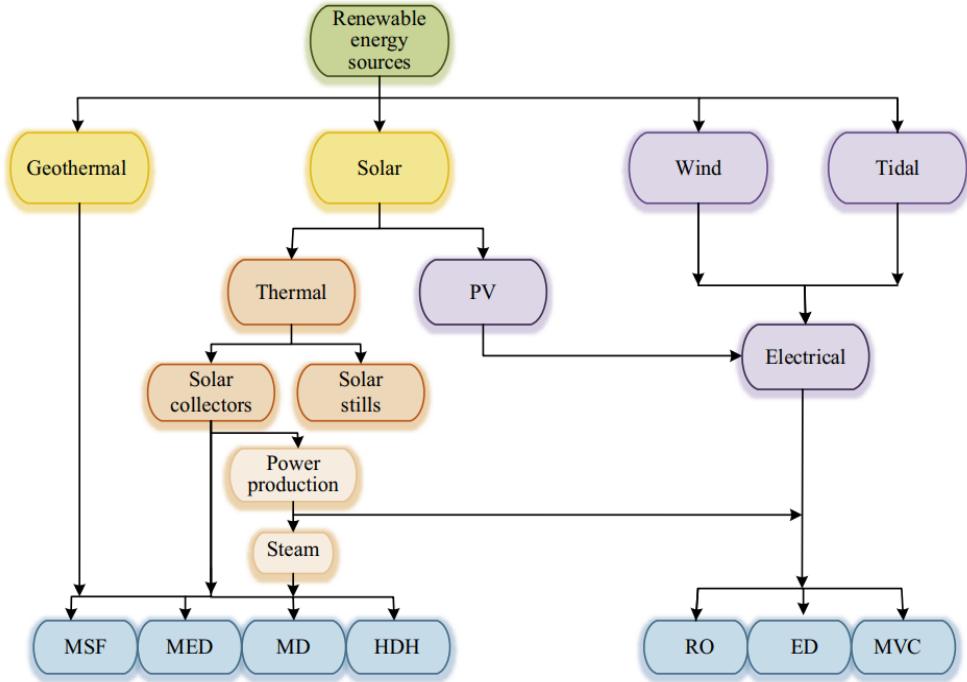
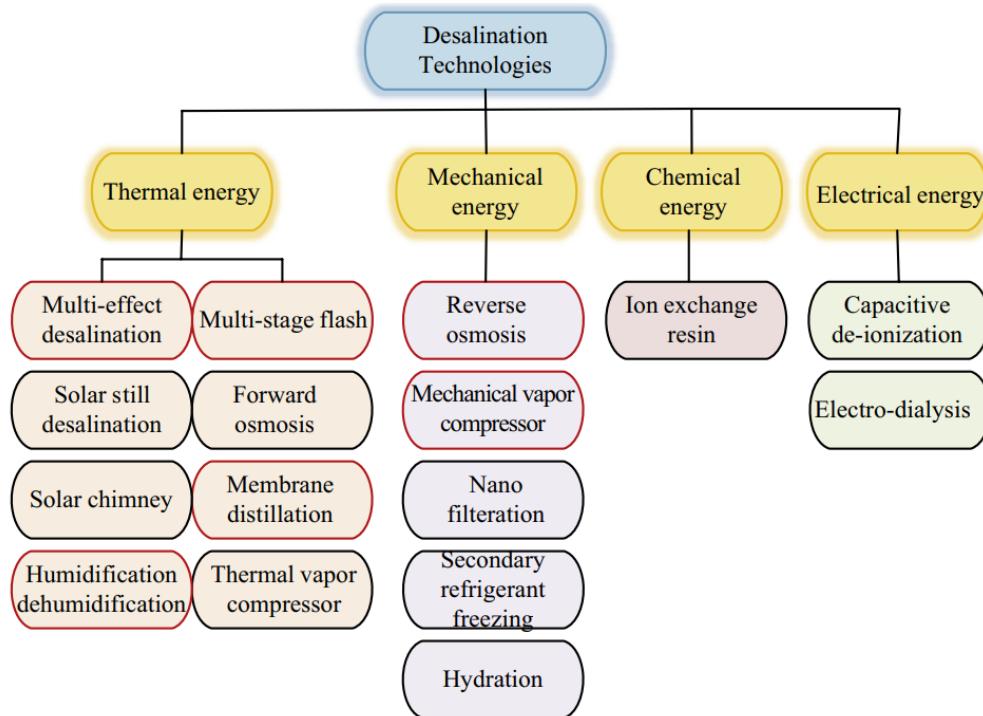
# بخش اول: مقدمه



# مقدمه



• سیستم‌های شیرین‌سازی:

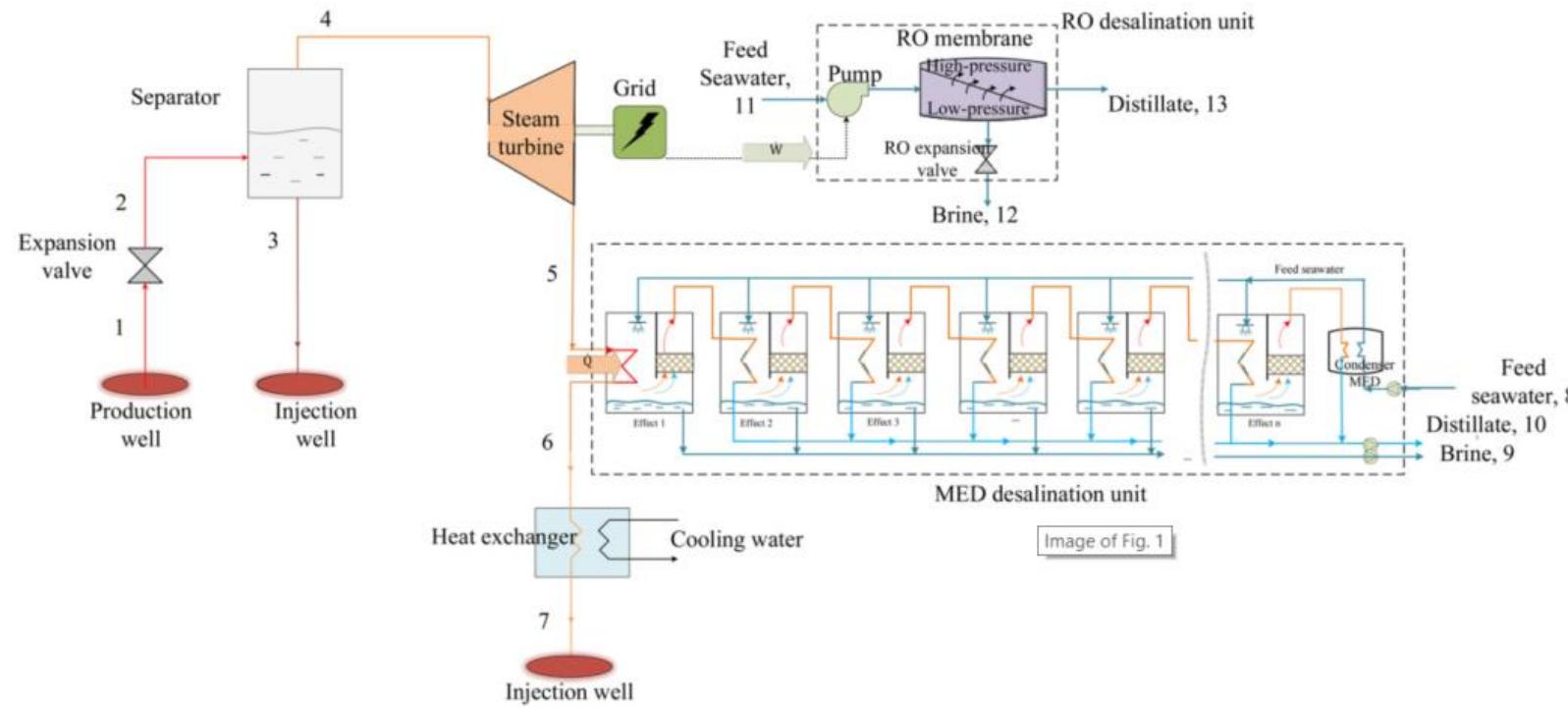


# مقدمه



## • سیستم شیرین سازی سازی [۱] MED-RO

اجزاء:



Single Flash Geothermal

Forward Multi-Effect Desalination

Reverse Osmosis Desalination

# مقدمه



## توربین بخار زمین گرمایی

مقدار	پارامتر
$25^{\circ}C$	دماي محيط $T_0$
$0.101 MPa$	فشار محيط، $P_0$
$200^{\circ}C$	دماي چاه نيروگاه زمین گرمایي، $T_1$
$150 \frac{kg}{s}$	دبى خروجى از چاه، $\dot{m}_1$
0	كيفيت آب خروجى از چاه، $x_1$
$1.3 MPa$	فشار آب خروجى از شير اختناق، $P_2$
75%	بازده ايزنتروپيک توربين
$0.1 MPa$	فشار خروجى از توربين، $P_5$
$45^{\circ}C$	دماي آب زمین-گرمایي خروجى از مبدل، $T_7$

- معرفی سیستم شیرین سازی : MED-RO

مشخصه های طراحی سیستم شیرین سازی آب ترکيب شده با نيروگاه زمین گرمایي:

# مقدمه



## • معرفی سیستم شیرین سازی MED-RO

مشخصه های طراحی سیستم شیرین سازی آب ترکیب شده با نیروگاه زمین گرمایی:  
واحد شیرین ساز MED

### واحد شیرین ساز RO

مقدار	پارامتر
$25^{\circ}C$	دما آب تغذیه ورودی از دریا
$0.101 MPa$	فشار آب تغذیه ورودی از دریا
$32 g/kg$	غلظت آب تغذیه ورودی از دریا
$70 g/kg$	غلظت شورآب
$0 g/kg$	غلظت آب شیرین
$5.5 MPa$	فشار بالای واحد شیرین ساز RO
$0.101 Mpa$	فشار پایین واحد شیرین ساز RO

مقدار	پارامتر
$25^{\circ}C$	دما آب تغذیه ورودی از دریا
$0.101 MPa$	فشار آب تغذیه ورودی از دریا
$32 g/kg$	غلظت آب تغذیه ورودی از دریا
$70 g/kg$	غلظت شورآب
$0 g/kg$	غلظت آب شیرین
6	تعداد اثربار آب شیرین کن
$60^{\circ}C$	دما اولین مرحله آب شیرین کن
$3.2^{\circ}C$	اختلاف دما بین مراحل آب شیرین کن

# مقدمه



## • معرفی سیستم شیرین سازی MED-RO

مشخصه های اقتصادی طراحی سیستم شیرین سازی آب ترکیب شده با نیروگاه زمین گرمایی:

مقدار	پارامتر
7000 h	ساعت کار در سال
25 سال	طول عمر سیستم
3%	نرخ بهره سالیانه
1.06	فاکتور نگهداری، $\varphi$
1.3 \$/GJ	هزینه واحد اگرژی سیال زمین-گرمایی ورودی، $c_1$



## بخش دوم: معادلات حاکم



# معادلات حاکم

فرضیات:

- ❖ عملکرد در حالت پایا
- ❖ صرفنظر از زمان راه اندازی
- ❖ صرفنظر از انرژی پتانسیل و جنبشی
- ❖ توربین بخار عایق
- ❖ افت فشار و تلفات حرارتی ناچیز در چرخه زمین‌گرمایی و واحد شیرین‌ساز MED
- ❖ تقریباً ۲۵ درصد از کار تولیدی توربین صرف تامین توان پمپ می‌شود.



# معادلات حاکم



## ۱. تحلیل عمومی:

$$\sum_{in} \dot{m} = \sum_{out} \dot{m} \quad \text{بقای جرم:}$$

$$\dot{Q} + \sum_{in} \dot{mh} = \dot{W} + \sum_{out} \dot{mh} \quad \text{بقای انرژی:}$$

$$\dot{Ex}_k^{\dot{W}} + \sum_{out} (\dot{m}ex)_k + \dot{Ex}_{Des,k} = \dot{Ex}_k^{\dot{Q}} + \sum_{in} (\dot{m}ex)_k \quad \text{تعادل اگزرژی:}$$

$$\underbrace{\sum_{out} (c_{out} \cdot \dot{Ex}_{out})_k + c_{\dot{W},k} \dot{Ex}_{\dot{W},k}}_{\dot{C}_{P,k}} = \underbrace{c_{\dot{Q},k} \dot{Ex}_{\dot{Q},k} + \sum_{in} (c_{in} \cdot \dot{Ex}_{in})_k}_{\dot{C}_{F,k}} + \underbrace{\dot{Z}_k}_{\dot{Z}_k} \quad \text{تعادل هزینه:}$$

# معادلات حاكم



• شیر اختناق:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_2 h_2$$

$$\dot{m}_2 \dot{E}x_2 + \dot{E}x_{Des,exp.valve} = \dot{m}_1 \dot{E}x_1$$

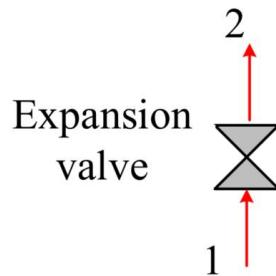
$$c_2 \dot{E}x_2 = c_1 \dot{E}x_1 + \dot{Z}_{exp.valve}$$

$$\dot{E}x_F = \dot{m}_1 \dot{E}x_1$$

$$\dot{E}x_P = \dot{m}_2 \dot{E}x_2$$

$$\dot{C}_F = \dot{C}_1$$

$$\dot{C}_P = \dot{C}_2$$



$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 + \dot{m}_4$$

$$\dot{m}_3 = x_{fg} \dot{m}_2$$

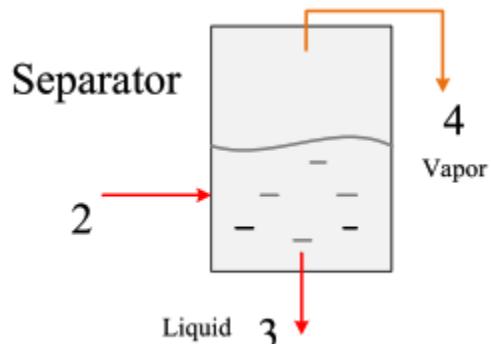
$$x_{fg} = \frac{h_2 - h_{f,2}}{h_{fg,2}}$$

$$\dot{m}_3 \dot{E}x_3 + \dot{m}_4 \dot{E}x_4 + \dot{E}x_{Des,Separator} = \dot{m}_2 \dot{E}x_2$$

$$c_3 \dot{E}x_3 + c_4 \dot{E}x_4 = c_2 \dot{E}x_2 + \dot{Z}_{sep}$$

$$c_3 = c_4$$

• جداساز:



# معادلات حاکم



• تبادلگر حرارتی:

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_7$$

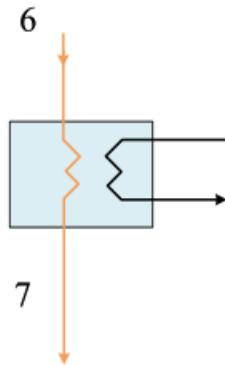
$$\begin{aligned}\dot{Q}_{HEX} &= \dot{m}_{cw} ex_{cw,out} - \dot{m}_{cw} ex_{cw,in} \text{ Heat exchanger} \\ &= \dot{m}_6 h_6 - \dot{m}_7 h_7\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{m}_7 ex_7 + \dot{m}_{cw} ex_{cw,out} + \dot{E}x_{Des,cond} \\ &= \dot{m}_6 ex_6 + \dot{m}_{cw} ex_{cw,in}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}c_7 \dot{E}x_7 + c_{cw,out} \dot{E}x_{cw,out} \\ &= \dot{Z}_{cond} + c_6 \dot{E}x_6 + c_{cw,in} \dot{E}x_{cw,in}\end{aligned}$$

$$c_{cw,in} = 0$$

$$c_6 = c_7$$



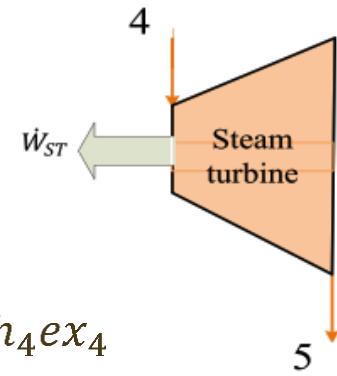
$$\dot{m}_4 = \dot{m}_5$$

$$\dot{m}_5 h_5 + \dot{W}_{ST} = \dot{m}_4 h_4$$

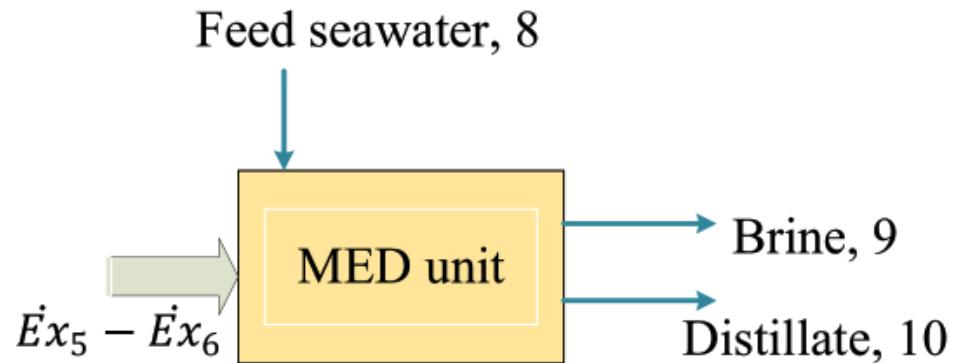
$$\dot{m}_5 ex_5 + \dot{W}_{ST} + \dot{E}x_{Des,sep} = \dot{m}_4 ex_4$$

$$c_5 \dot{E}x_5 + c_{\dot{W}_{ST}} \dot{W}_{ST} = c_4 \dot{E}x_4 + \dot{Z}_{ST}$$

• توربین بخار:



# معادلات حاکم



- آب شیرین کن • MED

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_5$$

$$\dot{m}_{D,MED} + \dot{m}_{B,MED} = \dot{m}_{f,MED}$$

$$\dot{m}_{D,MED}w_{D,MED} + \dot{m}_{B,MED}w_{B,MED} = \dot{m}_{f,MED}w_{f,MED}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_6\dot{Ex}_6 + \dot{m}_{D,MED}\dot{Ex}_{D,MED} + \dot{m}_{B,MED}\dot{Ex}_{B,MED} \\ + \dot{Ex}_{Des,MED} = \dot{m}_5\dot{Ex}_5 + \dot{m}_{f,MED}\dot{Ex}_{f,MED} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_6\dot{Ex}_6 + c_{D,MED}\dot{Ex}_{D,MED} + c_{B,MED}\dot{Ex}_{B,MED} \\ = c_5\dot{Ex}_5 + c_{f,MED}\dot{Ex}_{f,MED} + Z_{MED} \end{aligned}$$

$$c_{f,MED} = 0$$

$$c_{B,MED} = 0$$

$$c_5 = c_6$$

# معادلات حاکم



• محاسبه خواص آب دریا [۲]:

○ محاسبه چگالی:

$$\rho_{sw} = (a_1 + a_2t + a_3t^2 + a_4t^3 + a_5t^4) + (b_1S + b_2St + b_3St^2 + b_4St^3 + b_5S^2t^2)$$

$$a_1 = 9.999 \times 10^2, a_2 = 2.034 \times 10^{-2}, a_3 = -6.162 \times 10^{-3}, a_4 = 2.261 \times 10^{-5}, a_5 = -4.657 \times 10^{-8}$$

$$b_1 = 8.020 \times 10^2, b_2 = -2.001, b_3 = 1.677 \times 10^{-2}, b_4 = -3.060 \times 10^{-5}, b_5 = -1.613 \times 10^{-5}$$

○ محاسبه انتالپی:

$$h_{sw} = h_w - S(a_1 + a_2S + a_3S^2 + a_4S^3 + a_5t + a_6t^2 + a_7t^3 + a_8St + a_9S^2t + a_{10}St^2)$$

$$a_1 = -2.348 \times 10^4, a_2 = 3.152 \times 10^5, a_3 = 2.803 \times 10^6, a_4 = -1.446 \times 10^7, a_5 = 7.826 \times 10^3$$

$$a_6 = -4.417 \times 10^1, a_7 = 2.139 \times 10^{-1}, a_8 = -1.991 \times 10^4, a_9 = 2.778 \times 10^4, a_{10} = 9.728 \times 10^1$$

# معادلات حاکم



- محاسبه خواص آب دریا:

○ محاسبه انتروپی:

$$s_{sw} = s_w - S(a_1 + a_2S + a_3S^2 + a_4S^3 + a_5t + a_6t^2 + a_7t^3 + a_8St + a_9S^2t + a_{10}St^2)$$

$$\begin{aligned} a_1 &= -4.231 \times 10^2, a_2 = 1.463 \times 10^4, a_3 = -9.880 \times 10^4, a_4 = 3.095 \times 10^5, a_5 = 2.562 \times 10^1 \\ a_6 &= -1.443 \times 10^{-1}, a_7 = 5.879 \times 10^{-4}, a_8 = -6.111 \times 10^1, a_9 = 8.041 \times 10^1, a_{10} = 3.035 \times 10^{-1} \end{aligned}$$

# معادلات حاکم



## • محاسبه اگزرزی برای آب دریا [۳]:

$$e_f = (h - h^*) - T_0(s - s^*) + \sum_{i=1}^n w_i (\mu_i^* - \mu_i^0)$$

که در آن  $h$  انرالپی،  $s$  انتروپی،  $w_i$  غلظت جزء ام و  $\mu$  پتانسیل شیمیایی است.

بالانویس ۰: خواص در دما، فشار و غلظت محیط  $\leftarrow$  نقطه مرگ سراسری (Global Dead State)

بالانویس \*: خواص در دما و فشار محیط، غلظت در غلظت حالت ابتدایی  $\leftarrow$  نقطه مرگ محدودشده (Restricted Dead State)

$$\mu_w = \frac{\partial G_{sw}}{\partial m_w} = g_{sw} - w_s \frac{\partial g_{sw}}{\partial w_s}$$

پتانسیل شیمیایی آب در آب دریا:

$$\mu_s = \frac{\partial G_{sw}}{\partial m_s} = g_{sw} - (1 - w_s) \frac{\partial g_{sw}}{\partial w_s}$$

پتانسیل شیمیایی نمک در آب دریا:

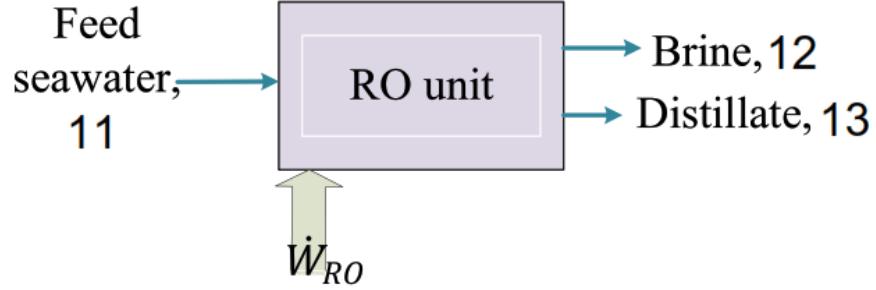
$$g_{sw} = h_{sw} - (T + 273.15) * s_{sw}$$

تابع گیبس:

# معادلات حاکم



• آب شیرین کن RO



$$\dot{m}_{D,RO} + \dot{m}_{B,RO} = \dot{m}_{f,RO}$$

$$\dot{m}_{D,RO}w_{D,RO} + \dot{m}_{B,RO}w_{B,RO} = \dot{m}_{f,RO}w_{f,RO}$$

$$\dot{m}_{D,RO}h_{D,RO} + \dot{m}_{B,RO}h_{B,RO} = \dot{W}_{RO} + \dot{m}_{f,RO}h_{f,RO}$$

$$\begin{aligned} & \dot{m}_{D,RO}\dot{E}x_{D,RO} + \dot{m}_{B,RO}\dot{E}x_{B,RO} + \dot{E}x_{Des,RO} \\ &= \dot{W}_{RO} + \dot{m}_{f,RO}\dot{E}x_{f,RO} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & c_{D,RO}\dot{E}x_{D,RO} + c_{B,RO}\dot{E}x_{B,RO} \\ &= c_{\dot{W}_{RO}}\dot{W}_{RO} + c_{f,RO}\dot{E}x_{f,RO} + \dot{Z}_{RO} \end{aligned}$$

$$c_{f,RO} = 0$$

$$c_{B,RO} = 0$$

$$c_{\dot{W}_{RO}} = c_{\dot{W}_{ST}}$$

# معادلات حاکم



- بازده کل سیستم:

$$\psi_{overall} = \frac{Useful\ product\ exergy\ rate}{Input\ exergy\ rate} = \frac{\dot{w}_{net} + \dot{Ex}_{10} + \dot{Ex}_{13}}{(\dot{Ex}, -\dot{Ex}_7 - \dot{Ex}_3) + (\dot{Ex}_8 + \dot{Ex}_{11})}$$

# معادلات حاکم



$$\dot{Z}_k = CRF \cdot \frac{\varphi Z_{capital}}{\tau}$$

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

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{Q}_{HEX} = UA_{HEX}\Delta T_{LMTD} \\ \Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \\ U = 2 \frac{kW}{m^2 \circ C} \quad [\text{E}] \end{array} \right.$$



$$A_{HEX} = \frac{\dot{Q}_{HEX}}{U \Delta T_{LMTD}}$$

- تحلیل اقتصادی:

$$Z_{exp\cdot valve} = \$200$$

$$Z_{Seperator} = 7\% * Z_{St}$$

$$Z_{ST} = 6000 (\dot{W}_{ST})^{0.7}$$

$$Z_{HEX} = 588 (A_{HEX})^{0.8}$$

$$Z_{MED} = 1500 \$/m^3_{freshwater}/day$$

$$Z_{RO} = 1500 \$/m^3_{freshwater}/day$$



## بخش سوم: نتایج



# نتایج

## ۱. اعتبارسنجی معادلات خواص آب دریا و پتانسیل شیمیایی:

» مقایسه مقادیر مرجع [۳] با مقادیر بدست آمده توسط کد توسعه یافته:



Temp.	Enthalpy		Entropy		$\mu_w$		$\mu_s$	
	Ref [3]	Present work	Ref [3]	Present work	Ref [3]	Present work	Ref [3]	Present work
10	40.1	40.08	0.144	0.14	-3.2	-3.20	68.95	68.92
15	59.9	59.94	0.214	0.21	-4.2	-4.20	69.07	69.03
20	79.8	79.83	0.282	0.28	-5.56	-5.56	69.74	69.69
25	99.8	99.77	0.35	0.35	-7.28	-7.28	70.87	70.81
30	119.7	119.73	0.416	0.42	-9.34	-9.34	72.36	72.31
35	139.7	139.72	0.482	0.48	-11.74	-11.75	74.16	74.09
40	159.7	159.74	0.546	0.55	-14.49	-14.49	76.17	76.10
45	179.8	179.78	0.61	0.61	-17.56	-17.57	78.35	78.27
50	199.8	199.84	0.672	0.67	-20.96	-20.97	80.63	80.55
55	219.9	219.92	0.734	0.73	-24.69	-24.70	82.98	82.89
60	240	240.02	0.795	0.79	-28.73	-28.74	85.36	85.27
65	260.1	260.13	0.855	0.85	-33.09	-33.10	87.74	87.64
70	280.2	280.25	0.914	0.91	-37.76	-37.77	90.11	90.01
75	300.4	300.38	0.972	0.97	-42.73	-42.75	92.45	92.34
80	320.5	320.51	1.029	1.03	-48.01	-48.03	94.76	94.66
85	340.6	340.65	1.086	1.09	-53.59	-53.61	97.06	96.95
90	360.8	360.78	1.142	1.14	-59.46	-59.48	99.36	99.25

# نتایج

۲. اعتبارسنجی جداول و نمودارهای مرجع اصلی [۱]:

**Table 1**-Thermodynamic properties evaluated for streams in the geothermal-based combined electricity-freshwater production system (Validation of **Table 4**)

State	Temp.		Pressure		Specific Enthalpy		Specific Entropy		Specific Exergy		Quality	
	Ref [1]	Present work	Ref [1]	Present work	Ref [1]	Present work	Ref [1]	Present work	Ref [1]	Present work	Ref [1]	Present work
1	200.00	200.00	1.55	1.55	852.30	851.60	2.33	2.33	162.30	162.02	0.00	0.00
2	191.60	191.75	1.30	1.30	852.30	851.60	2.33	2.33	162.00	161.63	0.02	0.02
3	191.60	191.75	1.30	1.30	814.60	814.60	2.25	2.25	148.40	148.36	0.00	0.00
4	191.60	191.75	1.30	1.30	2786.00	2786.46	6.50	6.49	856.00	855.86	1.00	1.00
5	99.62	99.76	0.10	0.10	2461.00	2460.93	6.80	6.78	443.60	443.60	0.90	0.91
6	99.62	99.76	0.10	0.10	417.50	417.50	1.30	1.30	33.80	33.79	0.00	0.00
7	45.00	45.00	0.10	0.10	188.50	187.89	0.64	0.64	2.72	2.68	0.00	0.00
8	25.00	25.00	0.10	0.10	100.20	100.21	0.35	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00
9	53.00	52.00	0.10	0.10	202.20	198.31	0.66	0.65	6.10	5.96	0.00	0.00
10	53.00	52.00	0.10	0.10	222.00	217.76	0.74	0.73	7.50	7.21	0.00	0.00
11	25.00	25.00	0.10	0.10	100.20	100.21	0.35	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00
12	25.00	25.00	0.10	0.10	94.31	94.31	0.32	0.32	1.35	1.56	0.00	0.00
13	25.00	25.00	0.10	0.10	98.53	104.92*	0.32	0.37*	2.36	2.40	0.00	0.00

\*با مراجعه به کتابخانه refprop مقدار انتالپی و انتروپی برای آب خالص به ترتیب برابر 104.29 و 0.37 است. همچنین این مقادیر در سایت [enghandbook.com](http://enghandbook.com) به ترتیب برابر 104.928 و 0.3672 می باشد.

**Table 2**-Thermodynamic properties evaluated for streams in the geothermal-based combined electricity-freshwater production system (Validation of **Table 4**)

State	Temperature Deviation (%)	Pressure Deviation (%)	Specific Enthalpy Deviation (%)	Specific Entropy Deviation (%)	Specific Exergy Deviation (%)	Quality Deviation (%)
1	0.00	0.00	0.08	0.04	0.17	-
2	-0.08	0.00	0.08	-0.02	0.23	6.18
3	-0.08	0.00	0.00	-0.04	0.03	-
4	-0.08	0.00	-0.02	0.10	0.02	0.00
5	-0.14	0.00	0.00	0.22	0.00	-0.58
6	-0.14	0.00	0.00	-0.21	0.04	-
7	0.00	0.00	0.33	0.53	1.30	-
8	0.00	0.00	-0.01	-0.60	0	-
9	1.89	0.00	1.93	1.16	2.28	-
10	1.89	0.00	1.91	1.41	3.89	-
11	0.00	0.00	-0.01	-0.60	0	-
12	0.00	0.00	0.00	0.52	-15.33	-
13	0.00	0.00	-6.49*	-14.76*	-1.61	-

\*با مراجعه به کتابخانه refprop مقدار انتالپی و انتروپی برای آب خالص به ترتیب برابر 104.29 و 0.37 است. همچنین این مقادیر در سایت [enghandbook.com](http://enghandbook.com) به ترتیب برابر 104.928 و 0.3672 می باشد.

**Table 3**-Values of exergy rate, unit cost of exergy and cost rate for streams in the geothermal-based system. (Validation of [Table 5](#))

State	Exergy Rate		$c$		$\dot{c}$	
	Ref [1]	Present work	Ref [1]	Present work	Ref [1]	Present work
1	24341.00	24303.64	1.30	1.30	112.00	113.74
2	24281.00	24244.98	1.30	1.30	112.00	113.74
3	21828.00	21836.08	1.31	1.31	101.10	102.83
4	2453.00	2408.90	1.31	1.31	11.35	11.34
5	1271.00	1248.54	1.31	1.31	5.88	5.88
6	96.83	95.10	1.31	1.31	0.45	0.45
7	7.80	7.56	1.31	1.31	0.04	0.04
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	144.60	144.24	0.00	0.00	0.00	0.00
10	212.20	207.13	49.68	50.85	37.32	37.91
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	72.58	78.65	0.00	0.00	0.00	0.00
13	150.70	143.85	86.80	88.82	46.30	46.00

**Table 4** -Values of exergy rate, unit cost of exergy and cost rate for streams in the geothermal-based system. (Validation of [Table 5](#))

State	Exergy Rate Deviation (%)	Unit Cost of Exergy (c) Deviation (%)	Cost Rate ( $\dot{C}$ ) Deviation (%)
1	0.15	0.00	-1.55
2	0.15	-0.01	-1.55
3	-0.04	0.15	-1.71
4	1.80	0.15	0.05
5	1.77	0.15	0.01
6	1.79	0.15	0.48
7	3.13	0.15	1.16
8	0	0	0
9	0.25	0	0
10	2.39	-2.35	-1.59
11	0	0	0
12	-8.36	0	0
13	4.54	-2.33	0.65

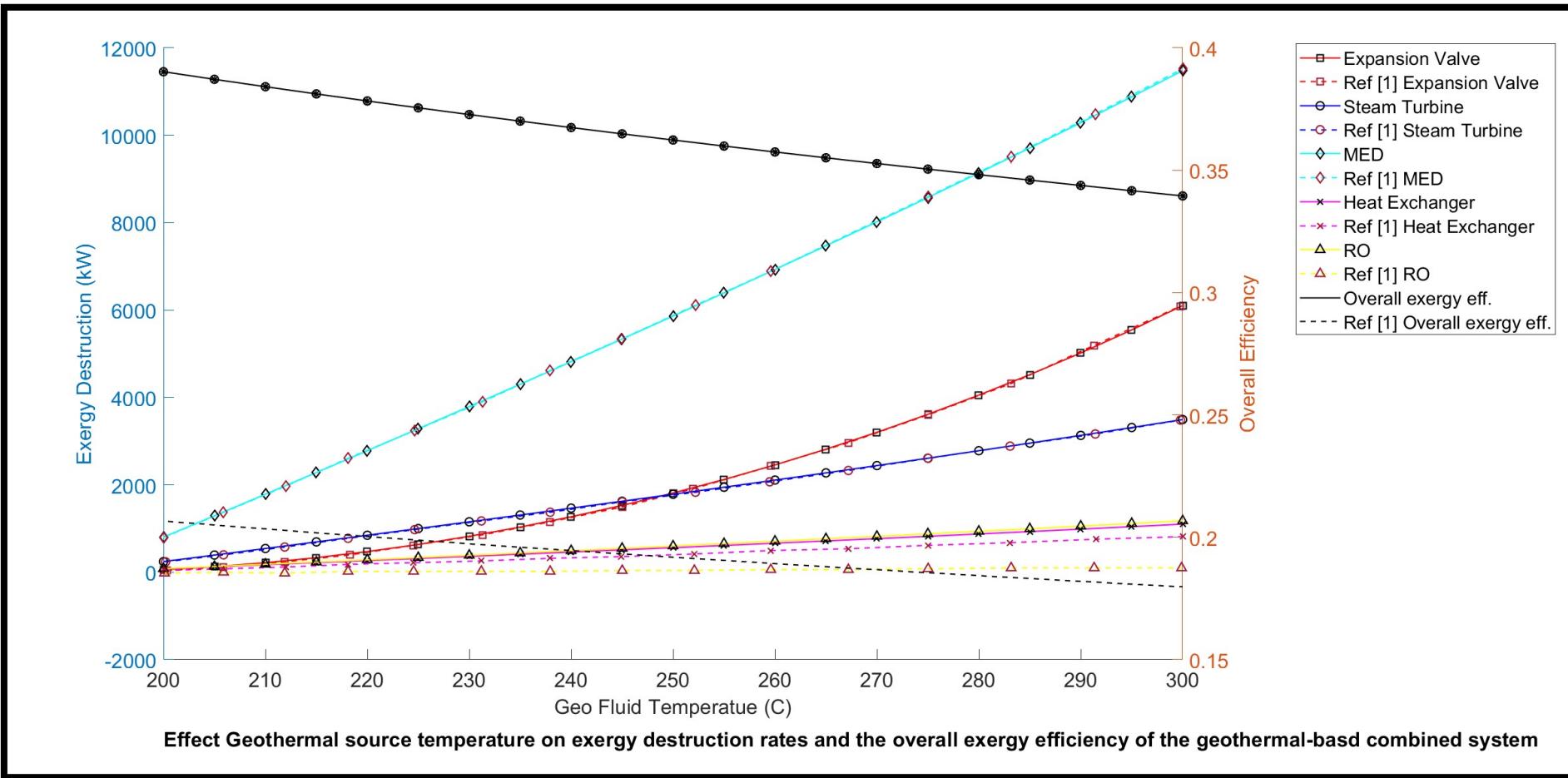
**Table 5** -Values of exergo-economic parameters for components of the geothermal-based system. (Validation of **Table 6**)

Component	$\dot{Z}$		$c_f$		$C_{Dest}$		$C_{loss}$		$C_{total}$		$f$	
	Present work	Ref [1]										
Expansion Valve	0.00	0.00	1.30	1.30	0.27	0.27	0.00	0.00	0.28	0.28	0.63	0.62
Separator	0.43	0.34	1.30	1.30	0.00	0.00	102.44	100.76	102.87	101.10	0.42	0.33
Steam Turbine	6.18	6.25	1.31	1.30	1.15	1.15	0.00	0.00	7.33	7.41	84.31	84.40
MED	32.48	31.90	1.50	1.47	4.32	4.30	0.78	0.76	37.58	37.00	86.45	86.00
Heat Exchanger	0.03	0.03	11.64	4.34	3.23	0.90	0.32	0.50	3.57	0.93	0.91	3.50
RO	42.16	48.13	3.53	5.65	0.00	0.20	1.00	1.32	43.16	44.86	97.68	96.00

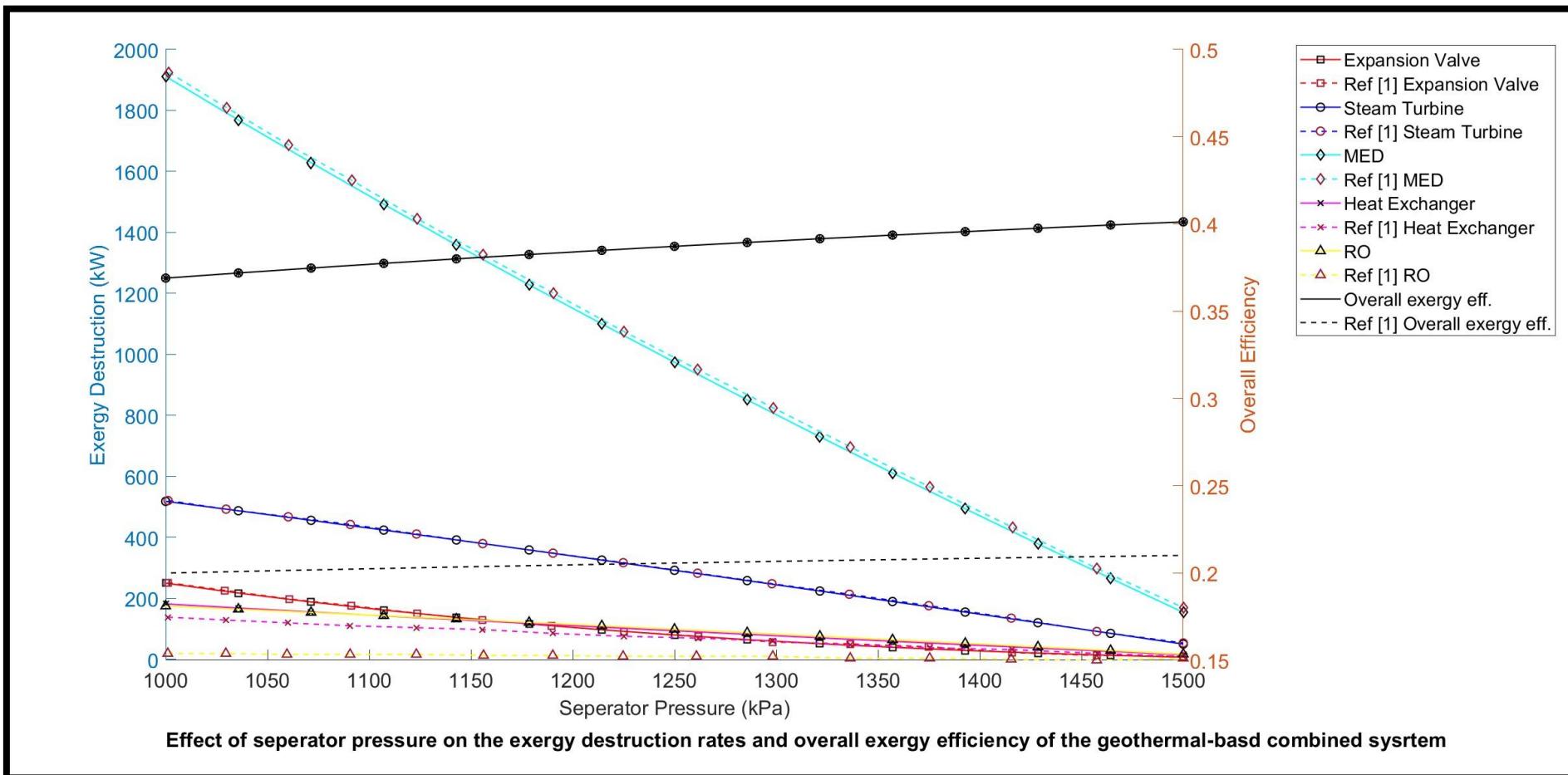
**Table 6** -Values of exergo-economic parameters for components of the geothermal-based system.  
 (Validation of **Table 6**)

Component	$\dot{Z}$ Deviation (%)	$c_f$ Deviation (%)	$C_{Dest}$ Deviation (%)	$C_{loss}$ Deviation (%)	$C_{Total}$ Deviation (%)	f Deviation (%)
Expansion Valve	13.04	0.00	-1.67		1.34	-1.54
Separator (1)	-27.20	-0.24		-1.67	-1.75	-27.40
Steam Turbine	1.15	-0.62	0.02		1.10	0.11
MED	-1.82	-1.71	-0.39	-2.15	-1.56	-0.52
Heat Exchanger (2)	-1.13	-168.31	-258.36	36.65	-284.34	74.13
RO (3)	12.41	37.52	100.00	24.28	3.80	-1.75

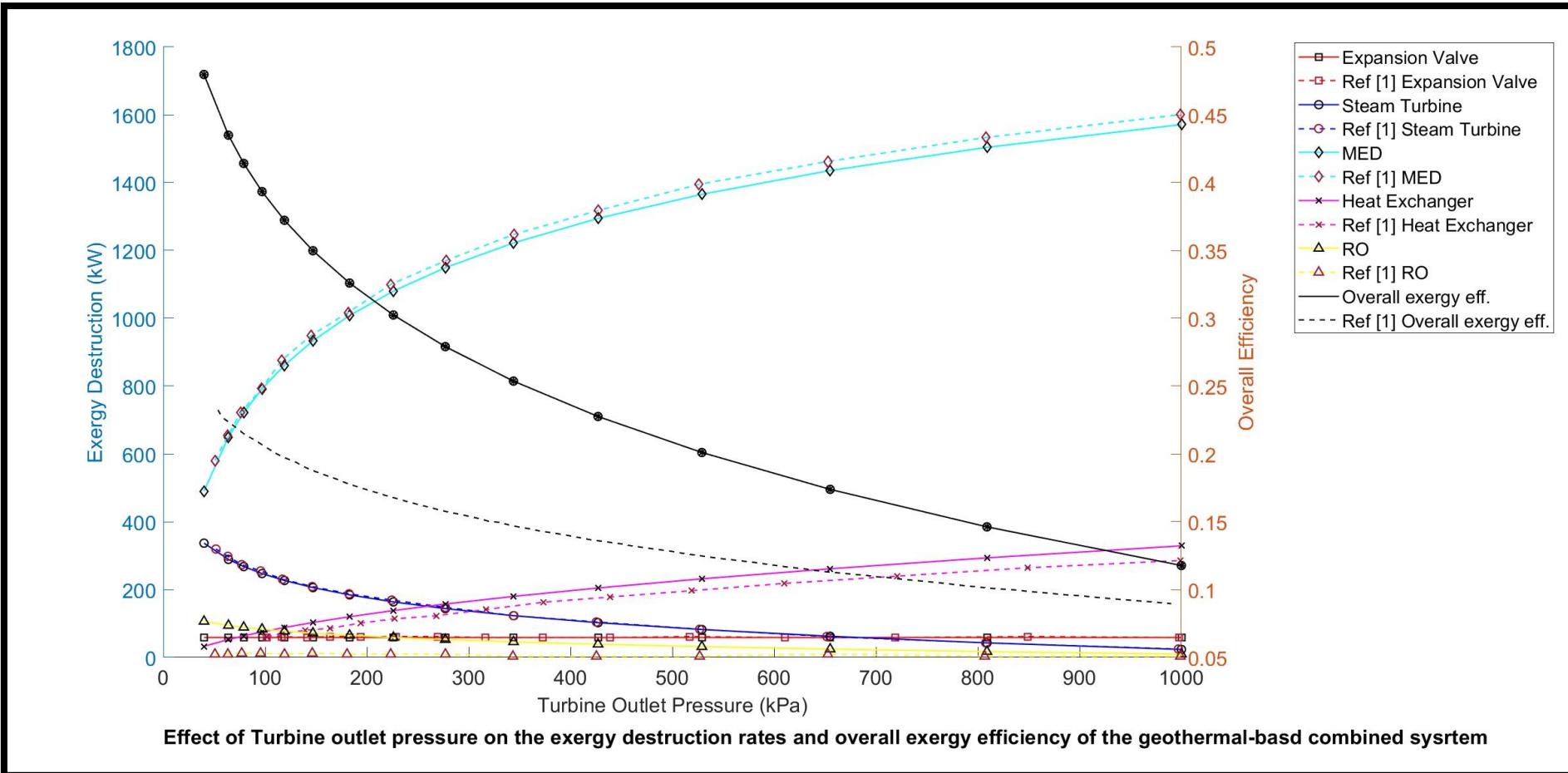
# Fig 1



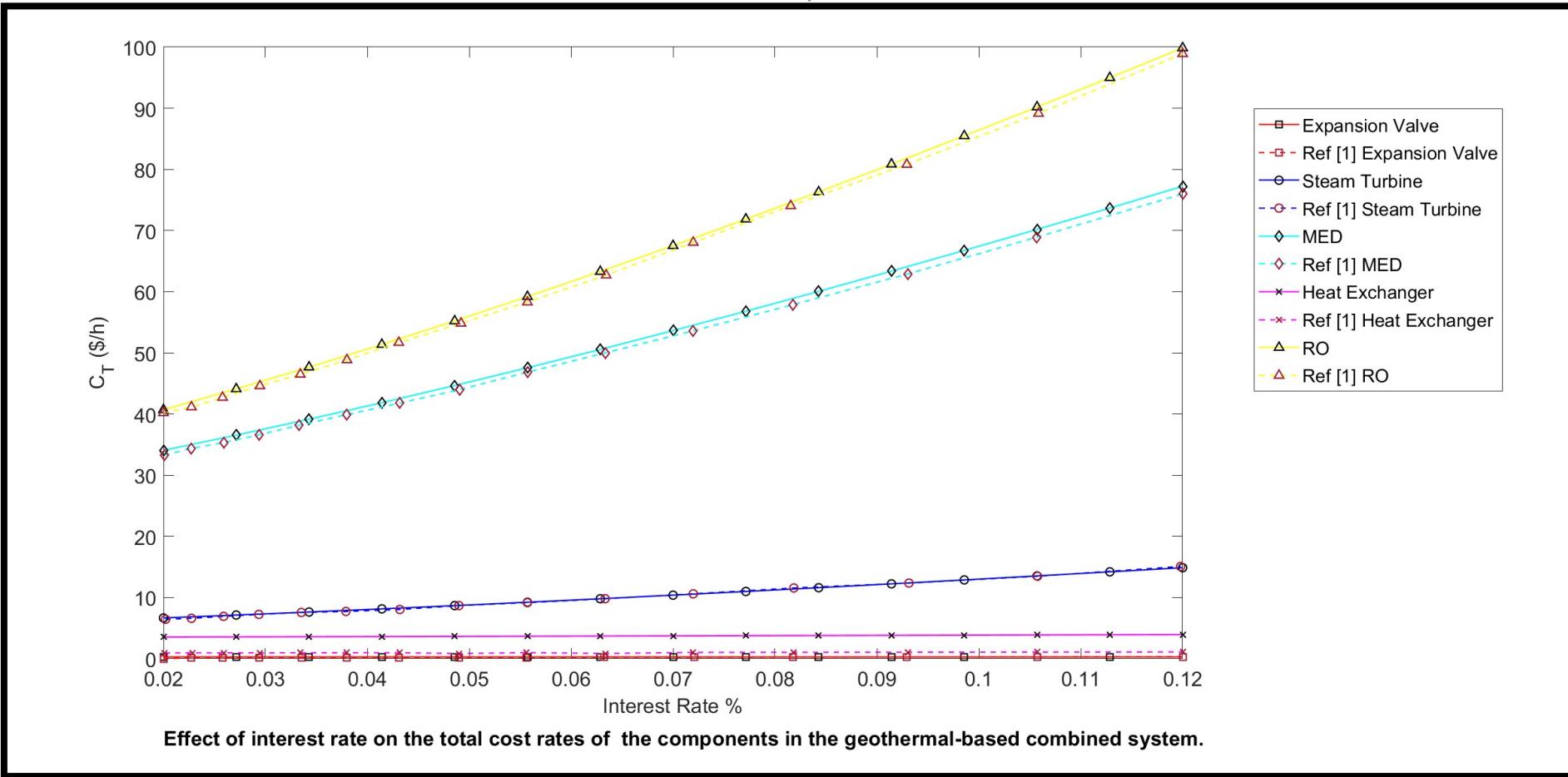
# Fig 2



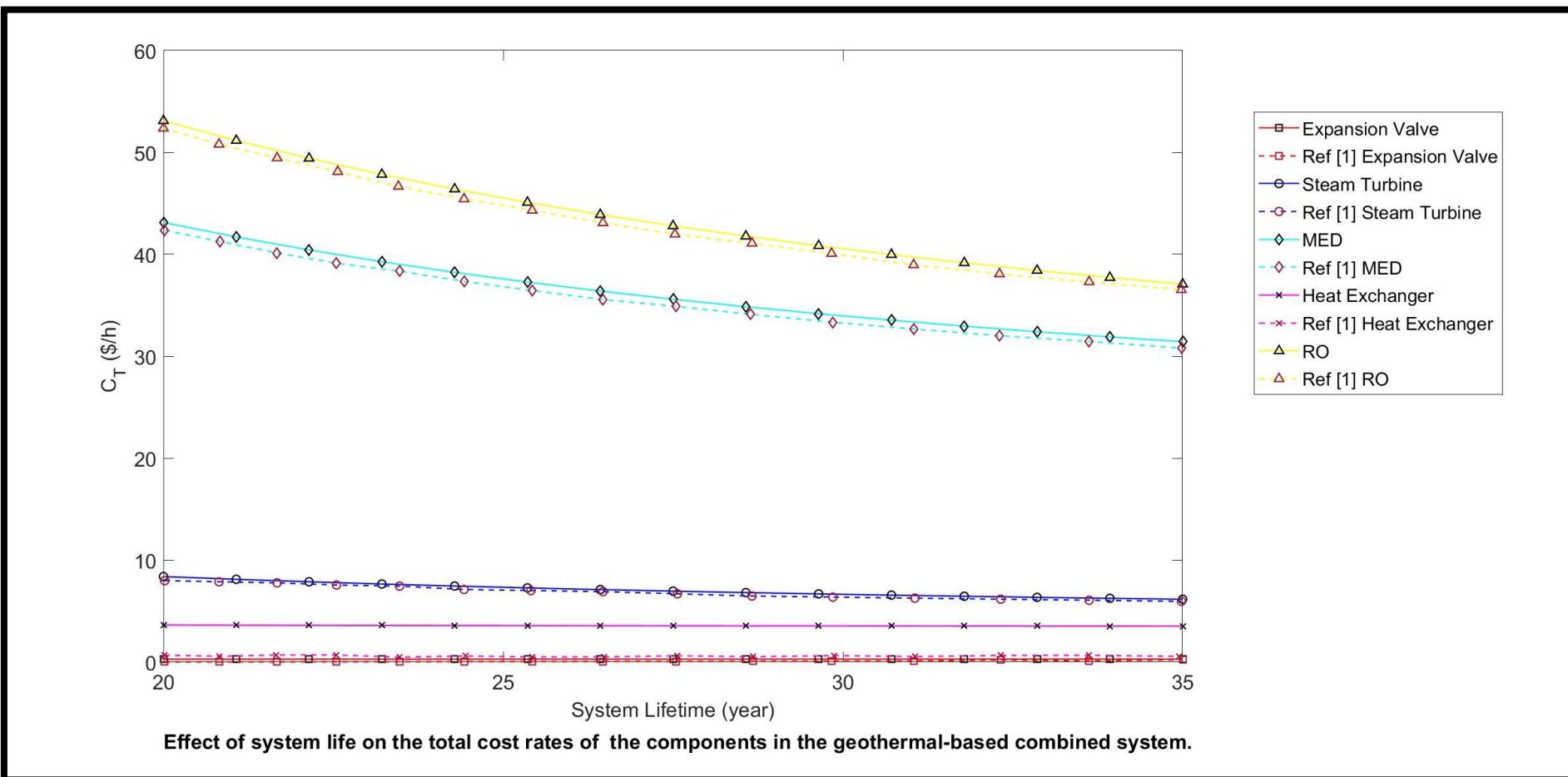
# Fig 3



# Fig 4



# Fig 5





## بخش سوم: چالش‌های اعتبار سنجی



# چالش شماره ۱



## Separator

Separator	0.34	1.3	0	100.76	101.1	0.33
-----------	------	-----	---	--------	-------	------

0.34 or 0.43?? Which Leads to  $Z_{sep} = 0.07Z_{ST}$ .

# چالش شماره ۵۰



## Heat Exchanger

Component	$\dot{Z}$ (\$/h)	$c_f$ (\$/GJ)	$\dot{C}_{Des}$ (\$/h)	$\dot{C}_{loss}$ (\$/h)	$\dot{C}_{Total}$ (\$/h)	$f$ (%)
Heat exchanger	0.032	4.34	0.9	0.5	0.93	3.5

$$\dot{C}_{Des} + \dot{C}_{loss} + \dot{Z} = \dot{C}_{total} \text{ but } 0.9 + 0.5 + 0.032 \neq 0.93 !!!$$

# چالش شماره ۶ سه



RO

$$\text{Assumption } \eta_{total} = \frac{W_T - W_P + \dot{Ex}_{10} + \dot{Ex}_{13}}{(\dot{Ex}_1 - \dot{Ex}_7 - \dot{Ex}_3) + (\dot{Ex}_8 + \dot{Ex}_{11})} = 0.21 \rightarrow W_P = 0.80W_T !!!$$

# مراجع



- [1] Farsi A, Rosen MA. Exergoeconomic analysis of a geothermal steam turbine combined with multi-effect desalination and reverse osmosis. e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy. 2021;1:100022.
- [2] Sharqawy MH, Lienhard JH, Zubair SM. Thermophysical properties of seawater: a review of existing correlations and data. Desalination and Water Treatment. 2010 Apr;16(1–3):354–80.
- [3] Sharqawy MH, Lienhard V JH, Zubair SM. On exergy calculations of seawater with applications in desalination systems. International Journal of Thermal Sciences. 2011 Feb;50(2):187–96.
- [4] Rosen M, Farsi A. Economics of seawater desalination using sustainable energy technologies. In: Sustainable Energy Technologies for Seawater Desalination [Internet]. Elsevier; 2022 [cited 2023 Jul 13]. p. 361–438.

با تشکر از  
توجه شما

علی خسروی  
علی باقری برمس