

امکان سنجی و تحلیل اگزرژی اقتصادی استفاده از سیستم تولید همزمان برای یک بیمارستان بر پایه سیکل رانکین آلی خورشیدی در ایران

در این مقاله یک سیستم تولید همزمان توان، گرمایش و سرمایش جهت تامین نیازهای یک بیمارستان ۱۰۰ تخت خوابه مورد تحلیل اگزرژی اقتصادی قرار گرفته است. برق مورد نیاز بیمارستان توسط یک نیروگاه رانکین آلی تولید می‌گردد. با استفاده از مبدل حرارتی در سیکل، بار گرمایشی بیمارستان تامین شده است. همچنین از حرارت بخار خروجی از توربین برای راه‌اندازی سیکل تبرید آبشاری و تامین بار سرمایشی بیمارستان استفاده شده است. ترکیب سیکل‌های تبرید جذبی و تراکمی امکان نگره‌داری برخی از اقلام دارویی که باید در دماهای بسیار پایین نگره‌داری شوند را فراهم آورده است. جهت تامین حرارت در بویلر نیروگاه از سه نوع کلکتور حرارتی خورشیدی سهموی خطی (PTC)، خطی فرنل (LFR) و بشقابی (Dish) استفاده شد. عملکرد سیستم در ۹ استان مختلف کشور با مقادیر شدت تابش متفاوت بررسی گردید. نتایج نشان داد استان‌های بوشهر و گلستان به ترتیب بیشترین و کمترین پتانسیل را برای احداث سیستم دارند. همچنین تاثیر شدت تابش و سیال عامل بر سیستم بررسی گردید.

زینب آقازارتی^۱

کارشناسی ارشد

ابوالفضل حاجی زاده

اقدام^۲

استادیار

واژه های راهنما: تولید همزمان، اگزرژی اقتصادی، کلکتور خورشیدی، شدت تابش

۱- مقدمه

امروزه اهمیت بهینه‌سازی مصرف انرژی بر هیچ کس پوشیده نیست، به گونه‌ای که در دهه‌های اخیر و نیز تاکنون دانشمندان کشورهای مختلف در سراسر جهان به دنبال یافتن روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی، پیاده‌سازی سیستم‌های مدیریت انرژی به منظور افزایش بهره، سیاست‌گذاری‌های کلان و بهبود و توسعه تکنولوژی‌ها و زیرساخت‌های موجود برای افزایش بهره وری و کاهش مصرف انرژی بوده‌اند. یکی از نقاط عطف در این زمینه، گسترش سیستم‌های تولید همزمان توان، گرمایش و سرمایش می‌باشد که از دیدگاه انرژی، اگزرژی و اگزرژی اقتصادی مطلوب هستند. کولین و همکاران [۱] یک سیکل رانکین آلی خورشیدی^۳ (ORC) با توان تولیدی ۳MW را برای یک منطقه در آفریقای جنوبی بررسی نمودند.

^۱ کارشناسی ارشد، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران zeinab.ziarati@yahoo.com

^۲ نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران abolfazzl_hajizade@yahoo.com

^۳ Organic Rankine Cycle

در این سیستم از کلکتور سهموی خطی با مساحت 75 m^2 همراه با تعقیب‌کننده خورشیدی و همچنین یک منبع ذخیره حرارتی کوارتز با حجم 2 m^3 برای ذخیره انرژی خورشید استفاده شده بود. مانولاکوس و همکاران [۲] یک سیستم تولید همزمان تولید توان و شیرین‌سازی آب را بر مبنای سیکل رانکین آلی خورشیدی طراحی کردند. آن‌ها در این سیستم از کلکتورهای لوله‌خلاق استفاده نمودند که سطح دریافت انرژی خورشیدی در آن 216 m^2 بود. وانگ و همکاران [۳] یک سیستم ORC خورشیدی با توان تولیدی $1/73 \text{ kW}$ را مورد بررسی قرار دادند. در این سیستم که از کلکتورهای صفحه تخت و لوله‌خلاق به صورت موازی استفاده شده بود، از انرژی خورشیدی به صورت مستقیم برای افزایش دمای سیال عامل سیکل ORC استفاده شده بود. فریمن و همکاران [۴] یک سیستم تولید همزمان توان و حرارت بر مبنای سیکل رانکین آلی را بررسی نمودند. در این پژوهش از چندین سیال آلی استفاده گردیده و تأثیر آن‌ها بررسی شده است. همچنین این سیستم برای عملکرد در شرایط آب و هوایی انگلستان بهینه‌سازی شده است. وانگ و همکاران [۵] یک سیستم ORC با گرمایش مجدد را که با دمای پایین کار می‌کند، بررسی نموده است. در این پژوهش از کلکتور صفحه تخت استفاده شده است، چون دارای هزینه پایینی است. همچنین از منبع ذخیره حرارت برای تولید مستمر توان استفاده گشته است. به منظور بررسی تأثیر برخی پارامترهای ترمودینامیکی از چندین سیال عامل مختلف استفاده شده است. نتایج نشان داده‌اند که افزایش فشار و دمای ورودی توربین و کاهش فشار خروجی توربین سبب بهبود عملکرد سیستم می‌شوند. سیالات $R123$ و $R245fa$ با توجه به عملکرد بهتر سیستم و فشار عملکرد کمتر بعنوان سیالات بهینه معرفی شده‌اند.

لی و همکاران [۶] یک سیستم ORC خورشیدی با کلکتور سهموی خطی و با سیال عامل $R123$ را بررسی نمودند. در منبع ذخیره مورد استفاده در این سیستم از مواد تغییر فاز دهنده استفاده شده است که منجر به تولید پیوسته توان می‌گردد. وانگ و همکارانش [۷] عملکرد سیکل ORC خورشیدی در دمای پایین را با استفاده از چندین مخلوط زئوتروپیک بررسی کردند. نتایج نشان داد که استفاده از این مواد علاوه بر اینکه محدوده انتخاب سیال عامل را وسیع می‌کند، سبب افزایش بازده حرارتی سیستم نیز می‌گردد. آن‌ها همچنین تأثیر سیالات خالص و مخلوط‌های زئوتروپیک برای عملکرد سیستم را به صورت تجربی بررسی کرده و مقایسه نمودند و نتیجه گرفتند که مخلوط زئوتروپیک بازده کلی سیستم ORC را افزایش می‌دهد. السلیمان و همکاران [۸ و ۹] عملکرد یک سیستم تولید همزمان توان، حرارت و سرما را در سه حالت مقایسه نمود. در حالت اول از انرژی خورشیدی و کلکتور سهموی خطی، در حالت دوم از پیل سوختی و در حالت سوم از انرژی زمین‌گرمایی برای راه‌اندازی سیستم استفاده کرد. سیستم در حالت استفاده از انرژی خورشیدی از دیدگاه ترمودینامیکی بهینه بوده و بازده انرژی و اگزرژی سیستم، در این حالت و اکتان بعنوان سیال عامل به ترتیب برابر 94% و 18% محاسبه شد. کارلاس و همکارانش [۱۰] یک سیستم تولید سه‌گانه توان، گرمایش و سرمایش بر مبنای سیکل رانکین آلی را مدل‌سازی ترمودینامیکی نموده و تحلیل اقتصادی کردند. در این سیستم از سیکل تبرید تراکمی به منظور سرمایش استفاده شده است. از دو منبع انرژی خورشیدی و بیومس برای تغذیه سیستم استفاده شده است. در این تحقیق تحلیل و بررسی ترمودینامیکی از دیدگاه انرژی، اگزرژی و اقتصادی برای یک سیستم ORC خورشیدی با سه نوع کلکتور مختلف در مناطق مختلف ایران صورت پذیرفته است. وظیفه این سیستم تامین نیازهای برق، گرمایش و سرمایش برای یک بیمارستان 100 تخت خوابه می‌باشد.

۲- بیان مسئله و فرضیات

سیستم مورد بررسی برای تأمین نیازهای گرمایشی، سرمایشی و الکتریسیته یک بیمارستان طراحی شده است که مشخصات بیمارستان مورد مطالعه در جدول (۱) آمده است [۱۱]. این سیستم از سیکل‌های تبرید آبشاری و رانکین آلی خورشیدی تشکیل شده است که در این قسمت به تشریح آن‌ها می‌پردازیم.

شماتیک سیستم مورد بررسی در شکل (۱) نشان داده شده است. سیکل تبرید آبشاری از دو سیکل تبرید جذبی و تراکمی تشکیل شده است. در سیکل تبرید جذبی مورد استفاده از $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ و در سیکل تبرید تراکمی از R134a استفاده شده است. در سیکل تبرید جذبی، فشار محلول ضعیف LiBr توسط پمپ افزایش یافته و از مبدل حرارتی عبور می‌نماید. محلول با فشار بالا وارد ژنراتور شده و پس از جذب حرارت به H_2O و LiBr تبدیل می‌گردد. محلول قوی LiBr ژنراتور را ترک کرده و پس از عبور از شیر کاهش فشار وارد جاذب می‌گردد. مبرد در کندانسور چگالیده شده و به صورت مایع اشباع درمی‌آید. سپس از شیر فشارشکن عبور نموده و وارد یک مبدل حرارتی که کسکید^۱ نامیده می‌شود، می‌گردد. این مبدل حرارتی سبب خنک شدن سیال عامل سیکل تبرید تراکمی (R134a) می‌گردد. آب پس از عبور از اواپراتور و تأمین بار سرمایی مورد نیاز بیمارستان، به جاذب بازگشته و توسط محلول جذب می‌گردد. در سیکل تبرید تراکمی، فشار مبرد توسط کمپرسور افزایش یافته و وارد کسکید می‌گردد. سپس مبرد چگالیده شده از شیر فشارشکن عبور نموده و وارد اواپراتور می‌گردد و بار سرمایی مورد نیاز انبار دارو را فراهم می‌کند. ترکیب سیکل‌های تبرید جذبی و تراکمی امکان دستیابی به دماهای بسیار پایین و مهیا نمودن شرایط نگهداری برخی اقلام دارویی را فراهم آورده است. در سیکل رانکین آلی خورشیدی از انرژی خورشیدی برای تأمین انرژی اولیه استفاده شده است. کلکتور مورد استفاده از سه نوع کلکتور سهموی خطی^۲ (PTC)، کلکتور خطی فرنل^۳ (LFR) و کلکتور بشقابی^۴ (Dish) می‌باشد. همچنین یک منبع ذخیره حرارت به منظور تأمین پیوسته انرژی در طول شبانه روز و یک بویلر اضطراری به منظور تأمین انرژی در صورت تخلیه شدن شارژ منبع ذخیره و روزهای ابری متمادین در سیستم تعبیه گشته‌اند. سیالی که انرژی را به سیکل رانکین آلی انتقال می‌دهد ترمینول^۵ می‌باشد.

جدول ۱ - مشخصات بیمارستان مورد مطالعه

4	تعداد طبقات
8000	مساحت (m^2)
100	تعداد تخت خواب
2022/19	بار حرارتی مورد نیاز (kW)
1178/14	بار سرمایی مورد نیاز (kW)
100	الکتریسیته مورد نیاز (kW)

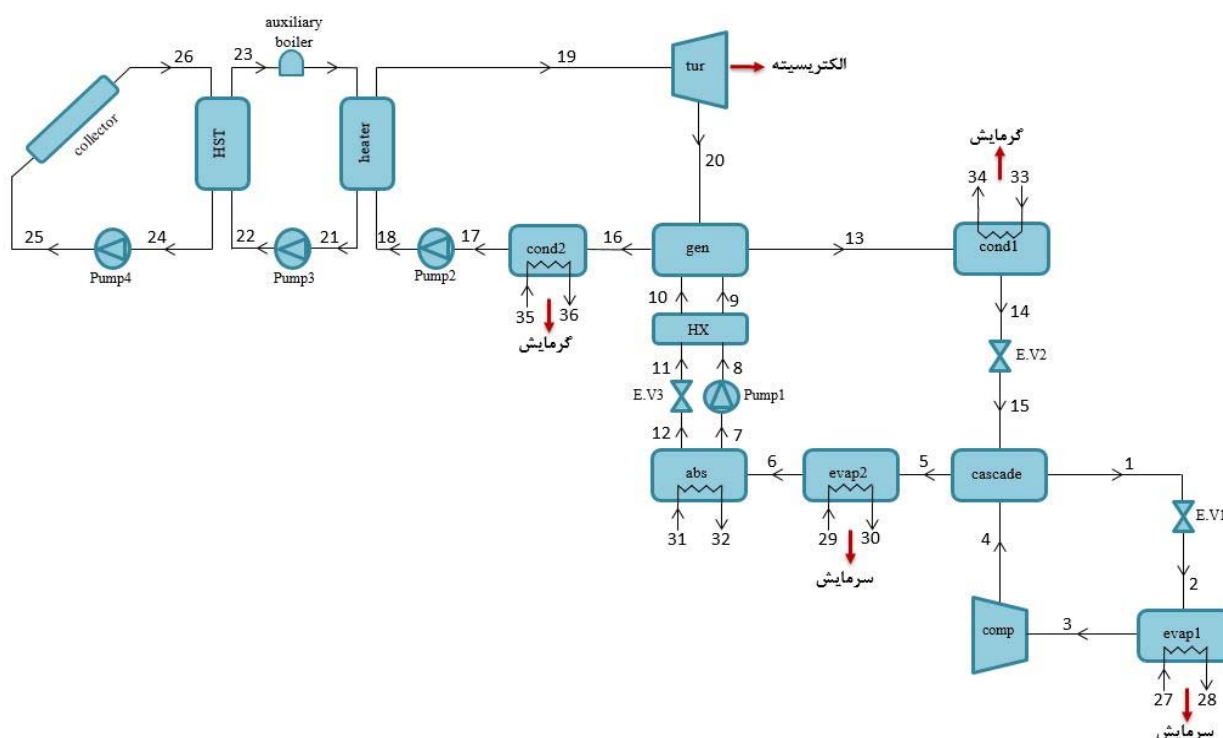
¹ Cascade

² Parabolic Trough Collector

³ Linear Fresnel Reflector

⁴ Dish Collector

⁵ Therminol^{۶۶}



شکل ۱ - شماتیک سیستم مورد بررسی

سیال عامل پس از افزایش فشار سیال در پمپ وارد هیتر گشته و با جذب حرارت به صورت مافوق گرم در می‌آید. سپس سیال وارد توربین شده و الکتریسیته مورد نیاز بیمارستان را تأمین می‌نماید. سیال خروجی از توربین وارد ژنراتور گشته و انرژی مورد نیاز برای راه‌اندازی سیکل تبرید آبشاری را تأمین می‌نماید. سیال خروجی از ژنراتور وارد کندانسور شده و خنک می‌گردد. از حرارت کندانسور برای تأمین بخشی از بار گرمایشی بیمارستان استفاده شده است. سپس سیال وارد پمپ شده و این سیکل تکرار می‌شود. تحلیل صورت گرفته با در نظر گرفتن فرضیات زیر انجام شده است :

- ۱- سیستم در حالت پایا است.
- ۲- مبرد در خروجی کندانسور، اواپراتور و محلول‌های ضعیف و قوی در خروجی جاذب و ژنراتور در حالت اشباع در نظر گرفته شده‌اند.
- ۳- سیستم برای شهر تهران ($T_0 = 15^\circ\text{C}$ و $P_0 = 101/1 \text{ kPa}$ ، $G=393 \text{ W/m}^2$) طراحی شده است [۱۲].
- ۴- افت فشار در همه فرایندها ناچیز بوده و هیچ واکنش شیمیایی در فرایندهای مختلف اتفاق نمی‌افتد.
- ۵- فرایند در شیرهای انبساط، آنتالپی ثابت در نظر گرفته شده است.
- ۶- آگزرژی‌های پتانسیل، جنبشی و شیمیایی به دلیل ناچیز بودن در نظر گرفته نشده‌اند.
- ۷- بازده آیزنتروپیک توربین و کمپرسور ۰/۸ در نظر گرفته شده است [۱۳].
- ۸- کار پمپ‌های ۳ و ۴ ناچیز بوده و از آن‌ها صرف نظر شده است.
- ۹- ضریب اتلاف حرارت منبع ذخیره برابر $0/5 \text{ W/m}^2\text{K}$ در نظر گرفته شده است [۱۴].

۱-۲- معادلات مربوط به تحلیل اگزرژی

تحلیل اگزرژی روش مناسبی برای ارزیابی کیفیت انرژی است که با کمک قوانین بقای جرم و قانون اول ترمودینامیک و بر پایه مفهوم قانون دوم ترمودینامیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ابزار برای طراحی، تحلیل و بهینه سازی سیستم‌های گرمایی کاربرد دارد. معادله موازنه اگزرژی به صورت زیر می‌باشد:

$$\dot{E}x_Q + \sum_{in} \dot{m}_i Ex_i = \sum_{in} \dot{m}_e Ex_e + \dot{E}x_W + \dot{E}x_D \quad (1)$$

روابط مورد نیاز برای تحلیل اگزرژی اجزای مختلف در جدول (۲) آمده است.

که بازده کلکتور از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$\eta_{col} = \eta_o - a_1 \left(\frac{T_{col,in} - T_{am}}{G} \right) - a_2 \frac{(T_{col,in} - T_{am})^2}{G} \quad (2)$$

در بخش ۳ در مورد معادله بالا توضیح داده شده است.

۲-۲- معادلات مربوط به تحلیل اگزرژی اقتصادی

تحلیل اگزرژی اقتصادی شاخه‌ای از علم مهندسی است که از ترکیب تحلیل اگزرژی و قوانین اقتصادی به وجود آمده است تا بوسیله آن، طراح سیستم‌های حرارتی بتواند اطلاعاتی را به دست آورد که با تحلیل انرژی و تحلیل اقتصادی به تنهایی نمی‌تواند به آن‌ها دست یابد. هدف از بررسی اگزرژی اقتصادی سیستم‌ها، مینیمم کردن قیمت اگزرژی است. در تحلیل اقتصادی برای کل سیستم، به صورت پایا، بالانس قیمت به صورت زیر فرمول بندی می‌شود:

$$\dot{C}_{P,tot} = \dot{C}_{F,tot} + \dot{Z}_{tot}^{cl} + \dot{Z}_{tot}^{OM} \quad (3)$$

بالانس قیمت برای سیستم بیان می‌کند که نرخ قیمت محصولات سیستم (\dot{C}_P) با مجموع هزینه‌هایی که باعث تولید محصول می‌شود برابر است. هزینه‌ها عبارتند از: نرخ قیمت سوخت (\dot{C}_F) و هزینه‌های مربوط به نرخ استهلاک تجهیزات (\dot{Z}^{cl}) و نگهداری و تعمیرات سیستم (\dot{Z}^{OM}). مجموع نرخ قیمت استهلاک تجهیزات و نگهداری سیستم را با \dot{Z} نشان داده می‌شود.

$$\dot{Z} = \dot{Z}^{OM} + \dot{Z}^{cl} \quad (4)$$

\dot{Z} از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\dot{Z}_K = Z \cdot CRF \cdot \varphi / N \quad (5)$$

که در آن Z هزینه اولیه خریداری، φ ضریب مربوط به هزینه این عملکرد و نگهداری جزء، N تعداد سال کارکرد سالیانه جزء و CRF ضریب بازگشت سرمایه است که از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (6)$$

در رابطه (۶)، i نرخ سود و n عمر مفید سیستم است.

جدول ۲- روابط تحلیل انرژی اجزای مختلف سیستم [۱۵ و ۱۶]

\dot{E}_P	\dot{E}_F	جزء
$\dot{m}_{27}(xe_{28} - xe_{27})$	$\dot{m}_2(xe_2 - xe_3)$	اوپراتور ۱
$\dot{m}_3(xe_4 - xe_3)$	\dot{W}_{comp}	کمپرسور
$\dot{m}_1(xe_1 - xe_4)$	$\dot{m}_5(xe_{15} - xe_5)$	کسکید
xe_2	xe_1	شیر انبساط ۱
$\dot{m}_{30}(xe_{30} - xe_{29})$	$\dot{m}_5(xe_5 - xe_6)$	اوپراتور ۲
$\dot{m}_{31}(xe_{32} - xe_{31})$	$\dot{m}_6xe_6 + \dot{m}_{12}xe_{12} - \dot{m}_7xe_7$	ابزوربر
$\dot{m}_8(xe_9 - xe_8)$	$\dot{m}_{10}(xe_{10} - xe_{11})$	مبدل حرارتی
$\dot{m}_{13}xe_{13} + \dot{m}_{10}xe_{10} - \dot{m}_9xe_9$	$\dot{m}_{16}(xe_{20} - xe_{16})$	ژنراتور
$\dot{m}_{33}(xe_{34} - xe_{33})$	$\dot{m}_{13}(xe_{13} - xe_{14})$	کندانسور ۱
$\dot{m}_7(xe_8 - xe_7)$	\dot{W}_{pump1}	پمپ ۱
xe_{15}	xe_{14}	شیر انبساط ۲
xe_{12}	xe_{11}	شیر انبساط ۳
\dot{W}_{tur}	$\dot{m}_{19}(xe_{19} - xe_{20})$	توربین
$\dot{m}_{18}(xe_{19} - xe_{18})$	$\dot{m}_{21}(xe_{23} - xe_{21})$	هیتر
$\dot{m}_{17}(xe_{18} - xe_{17})$	\dot{W}_{pump2}	پمپ ۲
$\dot{m}_{35}(xe_{36} - xe_{35})$	$\dot{m}_{16}(xe_{16} - xe_{17})$	کندانسور ۲
$\dot{m}_{22}(xe_{23} - xe_{22})$	$\dot{m}_{24}(xe_{26} - xe_{24})$	منبع ذخیره
$\dot{m}_{25}(xe_{26} - xe_{25})$	$\eta GA \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_{26}}{T_{sun}} \right)^4 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_{26}}{T_{sun}} \right) \right]$	کلکتور

در این پژوهش ابزوربر، ژنراتور، کندانسورها و به طور کلی تمامی مبدل‌های حرارتی از نوع مبدل حرارتی پوسته و لوله با جریان‌های غیر همسو در نظر گرفته شده‌اند. این نوع مبدل از نظر اقتصادی مناسب بوده و مقاومت بالایی در برابر فشار و دمای کاری دارد [۱۵].

برای محاسبه مساحت مبدل‌های حرارتی از روش LMTD استفاده شده است. در این روش فرایند انتقال حرارت به صورت زیر مدل‌سازی می‌شود:

$$Q_i = U_i A_i \Delta T_{mean,i} \quad (7)$$

U_i ضریب انتقال حرارت کلی است که به صورت تجربی تعیین می‌گردد. مقادیر U_i برای اجزای سیستم مورد بررسی در جدول (۳) ارائه شده است [۱۶]. پارامتر $\Delta T_{mean,i}$ اختلاف دمای میانگین لگاریتمی بین سیال‌های سرد و گرم در مبدل حرارتی را نشان می‌دهد که از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\Delta T = \frac{(T_{h,o} - T_{c,i}) - (T_{h,i} - T_{c,o})}{\ln((T_{h,o} - T_{c,i}) / (T_{h,i} - T_{c,o}))} \quad (8)$$

برای محاسبه هزینه خرید مبدل‌های حرارتی از فرمول زیر استفاده می‌شود:

جدول ۳ - ضریب انتقال حرارت کلی اجزای سیستم

جزء	$U(W/m^2K)$
ژنراتور	1600
کندانسور	1100
اوپراتور	900
ابزوربر	600
مبدل حرارتی	1000
هیتر	900

جدول ۴ - هزینه خرید اولیه مبدل‌های حرارتی

جزء	$Z(\$)$
اوپراتور	16000
کسکید	8000
ابزوربر	16500
ژنراتور	17500
مبدل حرارتی	12000
کندانسور	8000

$$Z_k = Z_{R,k} \left(\frac{A_k}{A_R} \right)^{0/6} \quad (9)$$

A_k مساحت جزء مورد نظر است که از روش LMTD محاسبه شده است. A_R و $Z_{R,k}$ به ترتیب مساحت و قیمت یک جزء در نوع و اندازه خاص هستند. A_R برابر $100 m^2$ در نظر گرفته شده و $Z_{R,k}$ برای مبدل‌های حرارتی مورد استفاده در جدول (۴) آمده است [۱۷].
برای محاسبه هزینه خرید کمپرسور از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$Z = Z_{R,comp} \left(\frac{W_{comp}}{W_{R,comp}} \right)^m \left(\frac{\eta_{comp}}{0/9 - \eta_{comp}} \right)^n \quad (10)$$

که در آن $Z_{R,comp}$ قیمت کمپرسوری با $W_{R,comp} = 100 kW$ بوده و برابر $12000 \$$ است. η بازده آیزنتروپیک کمپرسور بوده و m و n مقادیر ثابت و به ترتیب برابر ۱ و ۰/۵ هستند [۱۸].

برای محاسبه هزینه خرید پمپ‌ها از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$Z = Z_{R,pump} \left(\frac{W_{pump}}{W_{R,pump}} \right)^m \left(\frac{1 - \eta}{\eta} \right)^n \quad (11)$$

که در آن $Z_{R,pump}$ قیمت پمپی با $W_{R,pump} = 10 kW$ بوده و برابر $3500 \$$ است. η بازده آیزنتروپیک پمپ بوده و m و n مقادیر ثابت و به ترتیب برابر ۰/۲۶ و ۰/۵ هستند [۱۸].

برای محاسبه هزینه خرید منبع ذخیره از فرمول زیر استفاده می‌شود :

$$Z = 1380V_{st}^{0/4} \quad (12)$$

که در آن V_{st} حجم منبع ذخیره بوده و با توجه به مساحت کلکتور و از فرمول زیر تعیین می‌شود.

$$V_{st} = \frac{A_{col}}{80} \quad (13)$$

برای محاسبه هزینه خرید توربین از فرمول زیر استفاده می‌شود [۱۹]:

$$Z = 4750(W_{tur})^{0/75} + 60(W_{tur})^{0/95} \quad (14)$$

هزینه خرید کلکتور PTC مورد استفاده نیز $370 \frac{\text{€}}{\text{m}^2}$ در نظر گرفته شده است [۱۰].

ضریب بازگشت سرمایه (CRF) نیز با در نظر گرفتن عمر $N=20$ سال برای سیستم و نرخ استهلاک 10% برای تجهیزات محاسبه شده است که مقدار آن $0/1175$ به دست آمده است [۲۰].

نرخ هزینه سرمایه‌گذاری تجهیزات مختلف (Z_k) با در نظر گرفتن ضریب نگهداری $1/06$ برای آن‌ها محاسبه شده است. از آنجایی که همه هزینه‌های مورد استفاده در تحلیل اگزرژی اقتصادی باید بر اساس سالی که تحلیل انجام می‌پذیرد گزارش شوند، هزینه‌های سرمایه‌گذاری محاسبه شده با استفاده از رابطه زیر برورسانی شده‌اند :

$$\text{سال مورد نظر} \times \text{هزینه مرجع} = \text{هزینه در سال مورد نظر}$$

معادلات مورد نیاز برای تحلیل اگزرژی سیستم مورد بررسی که برای هر یک از اجزاء به صورت جداگانه نوشته شده است در جدول (۵) آمده است.

۳- نتایج و بحث

سیستم مورد نظر در محیط Matlab-Refprop کدنویسی شده است.

۳-۱- اعتبارسنجی

به منظور اعتبارسنجی کدنویسی، نتایج شبیه‌سازی سیکل تبرید آبشاری پژوهش حاضر با نتایج موجود در مقاله ارائه شده توسط کیمسیت و همکارانش [۱۸] مقایسه گشته است. اعتبارسنجی بر مبنای مقایسه کار و حرارت منتقل شده توسط اجزای مختلف انجام شده است که نتایج آن در جدول (۶) ارائه شده است. همانطور که مشخص است تشابه بسیار زیادی بین نتایج وجود داشته و درصد اختلاف در همه موارد کمتر از 3% می‌باشد.

جدول ۵ - روابط تحلیل اگزرژی اقتصادی سیستم [۱۹ و ۱۸]

معادله اصلی	معادله کمکی	جزء
$\dot{C}_3 + \dot{C}_{28} = \dot{C}_2 + \dot{C}_{27} + \dot{Z}_{evap1}$	$\frac{\dot{C}_2}{\dot{E}_2} = \frac{\dot{C}_3}{\dot{E}_3}$, $\dot{C}_{27} = 0$	اوپراتور ۱
$\dot{C}_4 = \dot{C}_3 + \dot{W}_{comp} + \dot{Z}_{comp}$	$\frac{\dot{C}_{W,pump2}}{\dot{W}_{pump2}} = \frac{\dot{C}_{W,comp}}{\dot{W}_{comp}}$	کمپرسور
$\dot{C}_5 + \dot{C}_1 = \dot{C}_{15} + \dot{C}_4 + \dot{Z}_{cascade}$		کسکید
$\dot{C}_1 = \dot{C}_2$		شیر انبساط ۱
$\dot{C}_6 + \dot{C}_{30} = \dot{C}_5 + \dot{C}_{29} + \dot{Z}_{evap}$	$\frac{\dot{C}_5}{\dot{E}_5} = \frac{\dot{C}_6}{\dot{E}_6}$, $\dot{C}_{27} = 0$	اوپراتور ۲
$\dot{C}_7 + \dot{C}_{32} = \dot{C}_{12} + \dot{C}_{31} + \dot{C}_6 + \dot{Z}_{abs}$	$\frac{\dot{C}_7}{\dot{E}_7} = \frac{\dot{C}_6 + \dot{C}_{12}}{\dot{E}_6 + \dot{E}_{12}}$ $\dot{C}_{31} = 0$	ابزوربر
$\dot{C}_9 + \dot{C}_{11} = \dot{C}_8 + \dot{C}_{10} + \dot{Z}_{HX}$	$\frac{\dot{C}_8}{\dot{E}_8} = \frac{\dot{C}_9}{\dot{E}_9}$	مبدل حرارتی
$\dot{C}_{13} + \dot{C}_{10} + \dot{C}_{16} = \dot{C}_{20} + \dot{C}_9 + \dot{Z}_{gen}$	$\frac{\dot{C}_{13} - \dot{C}_9}{\dot{E}_{13} - \dot{E}_9} = \frac{\dot{C}_{10} - \dot{C}_9}{\dot{E}_{10} - \dot{E}_9}$ $\frac{\dot{C}_{10}}{\dot{E}_{10}} = \frac{\dot{C}_9}{\dot{E}_9}$	ژنراتور
$\dot{C}_{14} + \dot{C}_{34} = \dot{C}_{13} + \dot{C}_{33} + \dot{Z}_{cond}$	$\frac{\dot{C}_{13}}{\dot{E}_{13}} = \frac{\dot{C}_{14}}{\dot{E}_{14}}$ $\dot{C}_{33} = 0$	کندانسور ۱
$\dot{C}_8 = \dot{C}_7 + \dot{C}_{W,pump1} + \dot{Z}_{pump1}$		پمپ ۱
$\dot{C}_{14} = \dot{C}_{15}$		شیر انبساط ۲
$\dot{C}_{11} = \dot{C}_{12}$		شیر انبساط ۳
$\dot{C}_{20} + \dot{C}_{W,turb} = \dot{C}_{19} + \dot{Z}_{turb}$	$\frac{\dot{C}_{19}}{\dot{E}_{19}} = \frac{\dot{C}_{20}}{\dot{E}_{20}}$	توربین
$\dot{C}_{19} + \dot{C}_{21} = \dot{C}_{18} + \dot{C}_{23} + \dot{Z}_{heater}$	$\frac{\dot{C}_{21}}{\dot{E}_{21}} = \frac{\dot{C}_{23}}{\dot{E}_{23}}$	هیتر
$\dot{C}_{18} = \dot{C}_{17} + \dot{C}_{W,pump2} + \dot{Z}_{pump}$	$\frac{\dot{C}_{W,turb}}{\dot{W}_{tur}} = \frac{\dot{C}_{W,pump2}}{\dot{W}_{pump2}}$	پمپ ۲
$\dot{C}_{17} + \dot{C}_{36} = \dot{C}_{16} + \dot{C}_{34} + \dot{Z}_{cond2}$	$\frac{\dot{C}_{16}}{\dot{E}_{16}} = \frac{\dot{C}_{17}}{\dot{E}_{17}}$ $\dot{C}_{35} = 0$	کندانسور ۲
$\dot{C}_{22} + \dot{C}_{26} = \dot{C}_{23} + \dot{C}_{24} + \dot{Z}_{tank}$	$\frac{\dot{C}_{23}}{\dot{E}_{23}} = \frac{\dot{C}_{24}}{\dot{E}_{24}}$	منبع ذخیره
$\dot{C}_{26} = \dot{C}_{25} + \dot{C}_{sun} + \dot{Z}_{sun}$	$\dot{C}_{sun} = 0$	کلکتور

جدول ۶ - مقایسه نتایج شبیه‌سازی سیکل تبرید آبشاری پژوهش حاضر با تحقیق کیمسیت و همکاران

	پژوهش حاضر	کیمسیت و همکاران [۱۸]	اختلاف(%)
cop_{VCRS}	5/919	6/0610	2/340
cop_{VARs}	0/748	0/7500	0/226
cop_{VCAIRS}	0/587	0/5900	0/440
$\dot{Q}_{abs}(kW)$	72/821	72/7600	-0/083
$\dot{Q}_{cascade}(kW)$	56/040	57/4100	2/300
$\dot{Q}_{cond1}(kW)$	61/025	61/0600	0/057
$\dot{Q}_{evap1}(kW)$	50/000	50/000	0
$\dot{Q}_{gen}(kW)$	76/680	76/4500	-0/300
$\dot{W}_{comp}(kW)$	8/400	8/2500	-1/810

۳-۲- تحلیل انرژی

شرایط ترمودینامیکی سیستم مورد بررسی در جدول (۷) آورده شده است. با توجه به اینکه سیستم مورد بررسی یک سیستم تولید همزمان سه‌گانه می‌باشد، بازده انرژی ۹۵/۵۱٪ مطلوب بوده که ۶۰٪ از خروجی سیستم مربوط به گرمایش، ۳۷٪ مربوط به سرمایش و ۳٪ مربوط به الکتریسیته می‌باشد. این توزیع تابع نیازهای بیمارستان می‌باشد و با توجه به زیاد بودن بار گرمایی و سرمایی بیمارستان برای تأمین فضای بهداشتی، این نتیجه قابل انتظار است.

۳-۳- تحلیل انرژی

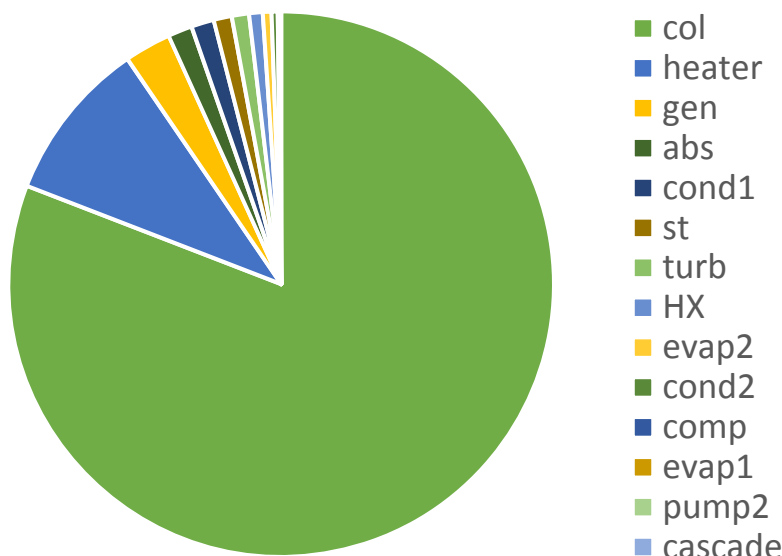
بازده انرژی سیستم ۵۶/۴۸٪ محاسبه گردید. شکل (۲) سهم هر یک از اجزاء در تخریب انرژی کل را نشان می‌دهد. ۸۰٪ از کل تخریب انرژی سیستم مربوط به کلکتور بوده و ۹/۵٪ از آن مربوط به هیتر است. تخریب انرژی سایر اجزای سیستم ۱۰/۵٪ از کل تخریب انرژی است. بنابراین کلکتور و هیتر از دیدگاه انرژی نسبت به سایر اجزاء دارای اهمیت بیشتری بوده و باید بهینه‌سازی گردند. با اعمال روابط ذکر شده، مقادیر آتالپی، آنتروپی، انرژی و نرخ هزینه نقاط مختلف محاسبه شده است که در جدول (۸) قابل مشاهده است. یکی از مهم‌ترین پارامترها در تحلیل انرژی اقتصادی سیستم‌ها، ارزیابی سرمایه‌گذاری اولیه مربوط به خرید تجهیزات است.

۳-۴- تحلیل اقتصادی

پارامترهایی که نقش اساسی در تحلیل انرژی اقتصادی ایفا می‌کنند عبارتند از: قیمت میانگین سوخت بر واحد انرژی ($C_{F,k}$)، قیمت میانگین محصول بر واحد انرژی ($C_{P,k}$)، فاکتور فنی اقتصادی (f) و قیمت مربوط به تخریب انرژی (\dot{C}_D). این پارامترها برای سیستم مورد بررسی محاسبه شده و در جدول (۹) آمده‌اند.

جدول ۷ - شرایط ترمودینامیکی سیستم مورد بررسی

$\dot{m}(kg/s)$	$x(\%)$	$T(^{\circ}C)$	$P(kPa)$	سیال	شماره نقطه
0/3000		9/5433	408/40000	R134a	1
0/3000		-31/0000	80/0000	R134a	2
0/3000		-31/0000	80/0000	R134a	3
0/3000		18/9217	4084/0000	R134a	4
0/5241		6/9696	1/0000	Water	5
0/5241		6/9696	1/0000	Water	6
4/6423	0/55	36/0000	6/0000	LiBr-water	7
4/6423	0/55	36/0000	6/0000	LiBr-water	8
4/6423	0/55	62/0000	6/0000	LiBr-water	9
4/1182	0/66	88/0000	6/0000	LiBr-water	10
4/1182	0/66	48/0000	6/0000	LiBr-water	11
4/1182	0/66	48/0000	1/0000	LiBr-water	12
0/5241		88/0000	6/0000	water	13
0/5241		36/1590	6/0000	water	14
0/5241		6/9696	1/0000	pentane	15
7/0000		89/0688	460/0000	pentane	16
7/0000		89/0688	460/0000	pentane	17
7/0000		89/2594	802/6688	pentane	18
7/0000		117/9813	802/6688	pentane	19
7/0000		102/0596	460/0000	water	20
10/0000		120/0000	0/1205	Therminol66	21
10/0000		120/0000	0/1205	Therminol66	22
10/0000		237/7271	6/6360	Therminol66	23
10/0000		127/0000	0/1600	Therminol66	24
10/0000		127/0000	0/1600	Therminol66	25
10/0000		243/5248	7/8350	Therminol66	26
4/9711		-18/0000	101/3000	Air	27
4/9711		-28/0000	101/3000	Air	28
56/1756		13/0000	101/3000	water	29
56/1756		8/0000	101/3000	water	30
72/1196		25/0000	101/3000	water	31
72/1196		30/0000	101/3000	Water	32
63/0314		25/0000	101/3000	Water	33
63/0316		30/0000	101/3000	Water	34
33/5671		80/0000	101/3000	Water	35
33/5671		85/0000	101/30000	water	36



شکل ۲ - سهم هر یک از اجزای سیستم در تخریب انرژی کل سیستم

نرخ هزینه خرید اولیه کلکتور بیش از سایر اجزاست که علت آن زیاد بودن مساحت کلکتور مورد استفاده است. نرخ هزینه توربین در ردیف بعدی قرار دارد که علت آن بالا بودن قیمت توربین و هزینه‌های مربوط به تعمیرات و نگهداری آن نسبت به مبدل‌های حرارتی است. نرخ هزینه منبع ذخیره نیز نسبت به سایر اجزاء زیاد می‌باشد که علت آن زیاد بودن حجم منبع ذخیره مورد استفاده است که تابعی از مساحت کلکتور می‌باشد. هزینه تخریب انرژی اجزای مختلف با مقدار تخریب انرژی آن‌ها متناسب بوده و برای کلکتور بیش از سایر اجزاست. سالیانه \$۲۳۸۶۴ به علت تخریب انرژی مربوط به کلکتور اتلاف می‌گردد.

مقادیر فاکتور فنی اقتصادی به دست آمده برای اجزای مختلف نشان می‌دهد که هزینه تخریب انرژی در همه اجزاء به جز کلکتور نسبت به هزینه خرید آن‌ها بیشتر می‌باشد. مقدار فاکتور فنی اقتصادی بسیار زیاد کلکتور نشان می‌دهد که هزینه‌های ناشی از خرید آن و هزینه‌های تعمیرات و نگهداری بر هزینه‌های ناشی از تخریب انرژی چیره هستند. همانطور که می‌دانیم هزینه خرید کلکتور به مساحت آن بستگی دارد که می‌توان آن را با افزایش فشار و دمای ورودی توربین و کاهش فشار خروجی توربین کاهش داد.

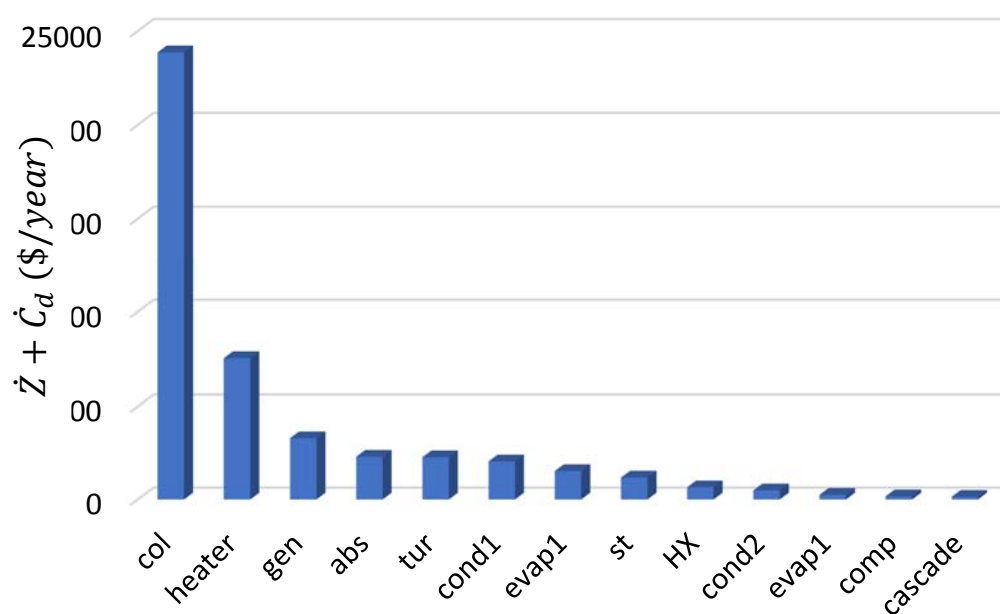
مقدار فاکتور فنی اقتصادی منبع ذخیره پس از کلکتور و در حدود ۵۰٪ است. بنابراین کاهش مقدار بازگشت‌ناپذیری در اجزای مختلف و افزایش مقدار فاکتور فنی اقتصادی به بهبود عملکرد سیستم کمک می‌کند. یکی از پارامترهایی که در تحلیل انرژی اقتصادی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است و در طراحی سیستم‌ها باید به آن توجه ویژه‌ای گردد، مجموع $\dot{Z} + \dot{C}_d$ است. اجزایی که بیشترین مجموع را دارا هستند از دیدگاه انرژی اقتصادی مهم هستند. همانطور که نتایج نشان می‌دهند، مجموع این مقدار برای کلکتور، هیتر، ژنراتور و ابزوربر بیشتر از سایر اجزاء است (شکل ۳). بنابراین توجه به این عناصر منجر به کاهش هزینه‌های کلی سیستم مورد بررسی می‌گردد.

جدول ۸ - مقادیر آنتالپی، اگزرژی و نرخ هزینه نقاط مختلف سیستم

\dot{C} (\$/year)	xe (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	h (kJ/kg)	شماره نقطه
1723/5	16/035	1/0463	212/95	1
1723/5	14/490	1/0642	212/95	2
590/3	4/9631	1/7528	379/62	3
1344/1	14/922	1/7528	412/81	4
284/5	-3/3566	0/9504	265/88	5
3148/1	-37/131	8/9749	2513/7	6
22902	441/995	0/2306	86/79	7
22902	441/995	0/2306	86/79	8
24286	468/70	0/3946	139/81	9
32812	633/253	0/4853	218/73	10
31452	583/36	0/2679	143/98	11
31452	583/36	0/2679	143/98	12
4939/4	95/326	8/6236	2665/20	13
81/52	1/573	0/5208	151/48	14
81/52	-1/637	0/5420	151/48	15
11410	291/59	0/6733	233/96	16
5771/4	147/49	0/3954	133/29	17
6133/2	151/84	0/3954	133/91	18
3047/9	778/92	1/322	490/56	19
24707	631/42	1/3222	469/49	20
67700	252/52	0/6525	229/31	21
67700	252/52	0/6525	229/31	22
31019	1157/0	1/2050	478/96	23
76135	283/98	0/6884	242/80	24
76135	283/98	0/6884	242/80	25
31478	1219/6	1/2310	492/71	26
0	10/239	6/7037	255/19	27
11552	17/842	6/6635	245/13	28
0	1/6413	0/1952	54/69	29
31154	2/036	0/1213	33/72	30
0	51/169	0/3671	104/92	31
55471	113/81	0/4367	125/82	32
0	44/721	0/3671	104/92	33
48878	99/468	0/4367	125/82	34
0	897/44	1/0755	335/06	35
57197	1031/2	1/1346	356/05	36

جدول ۹ - پارامترهای اگزرژی اقتصادی اجزای مختلف سیستم

جزء	C_F (\$/GJ)	C_P (\$/GJ)	\dot{C}_d (\$/year)	\dot{Z} (\$/year)	$f(\%)$
اوپراتور ۱	3/7718	1/5785	228/79	22/0580	8/79
کمپرسور	1/85223	2/3999	145/4381	26/5675	15/44
کسکید	6/7537	10/8107	129/08	13/2983	9/34
اوپراتور ۲	2/6884	5/2758	1275/9	251/9329	16/48
ابزوربر	1/6431	2/8080	2155/4	145/8717	6/33
مبدل حرارتی	0/8650	1/6431	632/45	22/7601	3/47
ژنراتور	1/2408	1/6431	3128/1	168/7954	5/11
کندانسور ۱	1/6431	2/8310	2021/1	29/9221	1/45
کندانسور ۲	1/2408	1/3562	405/49	81/0948	16/66
پمپ ۲	1/8523	2/6382	63/51	44/2820	12/23
هیتر	0/8501	1/2311	7437/1	96/6283	1/2826
توربین	1/2408	1/8523	1154/3	1121/2	49/27
منبع ذخیره	0/8088	0/8501	793/67	384/3580	32/67
کلکتور	0	0/8088	0	23864	100

شکل ۳ - مجموع $\dot{Z} + \dot{C}_d$ برای اجزای مختلف

۳-۵- بررسی تأثیر شدت تابش

به منظور بررسی تأثیر شدت تابش خورشید بر عملکرد سیستم، ۹ ایستگاه آب و هوایی از ۹ استان کشور ایران انتخاب شده‌اند که مشخصات آن‌ها در جدول (۱۰) آمده است [۱۲]. استان‌های انتخاب شده یا در مناطق مختلف کشور بوده که شدت تابش متفاوت دارند و یا در ردیف استان‌های دارای پتانسیل احداث نیروگاه‌های خورشیدی هستند. در این بررسی از شدت تابش متوسط استفاده شده است و نتایج حاصل از برآیند دو عامل شدت تابش و دمای محیط در جدول (۱۱) ارائه شده‌اند. همانطور که انتظار می‌رود مناطقی که شدت تابش بالاتری دارند، برای احداث سیستم مورد بررسی از دیدگاه اگزرژی اقتصادی بسیار مناسب‌تر هستند. این در حالی است که بازده اگزرژی سیستم تقریباً ثابت باقی می‌ماند.

جدول ۱۰ - مشخصات ایستگاه‌های آب و هوایی مورد تحلیل

استان	ایستگاه آب و هوایی	عرض جغرافیایی $N(^{\circ})$	طول جغرافیایی $E(^{\circ})$	شدت تابش $G_{mean}(W/m^2)$	دمای میانگین $T_{mean}(^{\circ}C)$
تهران	اشتهارد	35/72	50/37	393	15
بوشهر	دلوار	28/83	51/04	622	24/6
آذربایجان شرقی	اهر	38/58	47/22	336	10/6
کرمان	رفسنجان	30/32	56/22	487	17/6
خراسان شمالی	بجنورد	37/47	57/32	407	13/2
اصفهان	بروجن	31/97	51/31	481	11/9
فارس	آباده	31/09	52/25	548	14/1
یزد	ابركوه	31/30	53/66	468	17/2
گلستان	مراوه تپه	37/89	55/71	333	16/9

جدول ۱۱ - نتایج تحلیل سیستم با تغییر مکان احداث بیمارستان

استان	\dot{Z}_{total} (\$/year)	A_{col} (m^2)	ϵ_{total} (%)
تهران	26273	8925/8	56/4898
بوشهر	17070	5538/2	58/1570
آذربایجان شرقی	30665	10542	57/2622
کرمان	21417	7138/2	56/2853
خراسان	25428	8614/6	56/9321
اصفهان	21718	7249	57/3931
فارس	19222	6330/4	57/0100
یزد	22234	7438/8	56/1647
گلستان	30814	10597	55/8658

نتایج نشان می دهند که استان بوشهر دارای بیشترین پتانسیل برای استفاده از سیستم خورشیدی مورد بررسی است. همچنین استان گلستان برای احداث چنین سیستمی چندان مناسب نمی باشد. نرخ هزینه اولیه این سیستم در استان گلستان تقریباً ۲ برابر استان بوشهر می باشد؛ این در حالی است که تعداد روزهای آفتابی استان نسبت به بوشهر کمتر بوده و نیاز به استفاده از بویلر اضطراری را افزایش می دهد. استفاده از بویلر اضطراری منجر به کاهش بازده سیستم می شود. به منظور بررسی تأثیر شدت تابش، دو ایستگاه ابرکوه (استان یزد) و مراوه تپه (استان گلستان) انتخاب شده اند که دارای دمای میانگین تقریباً برابر بوده و شدت تابش متفاوتی دارند. نتایج نشان می دهد که تأثیر شدت تابش بر سرمایه گذاری اولیه سیستم بسیار زیاد است و افزایش شدت تابش سبب کاهش سطح کلکتور مورد نیاز و در نتیجه کاهش سرمایه گذاری اولیه می گردد. علت آن است که افزایش دمای محیط سبب افزایش بازده کلکتور گردیده و مساحت کلکتور مورد نیاز برای تأمین انرژی کاهش می یابد.

۳-۶- بررسی تأثیر نوع کلکتور

به منظور بررسی تأثیر نوع کلکتور مورد استفاده بر عملکرد سیستم، سه کلکتور سهموی خطی (PTC)، کلکتور خطی فرنل (LFR) و کلکتور بشقابی (Dish) انتخاب شده اند که بازده آن ها از معادله ۲ محاسبه می گردد و ضرایب محاسبه بازده در جدول (۱۲) آمده است.

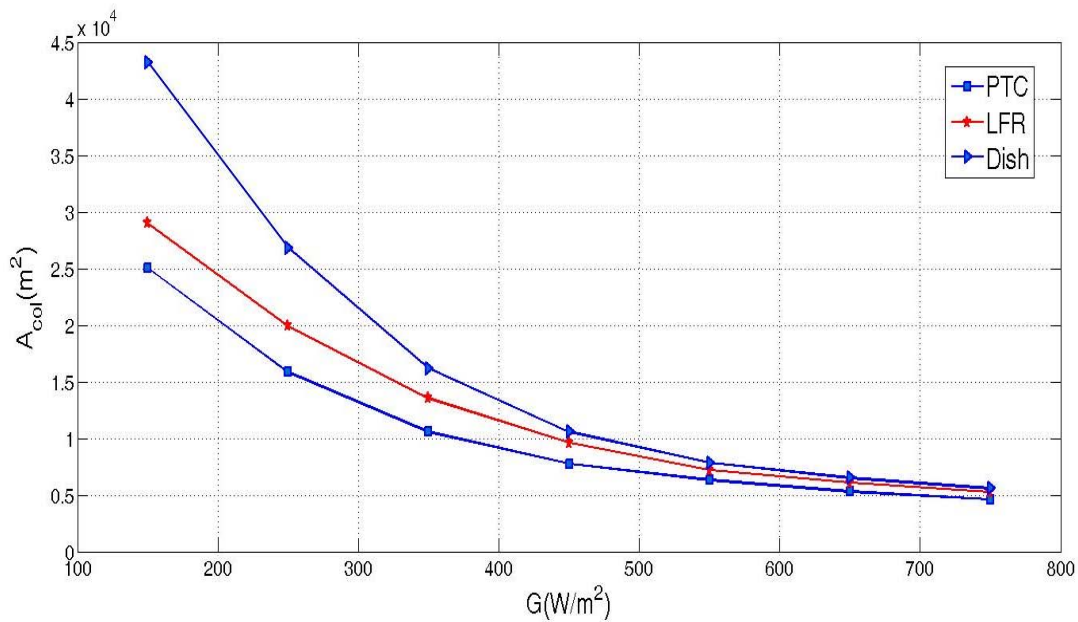
نتایج ارائه شده در جدول (۱۲) نشان می دهند که بازده کلکتور PTC برابر ۷۱/۲۴٪ بوده و نسبت به دو کلکتور دیگر بیشتر می باشد. این بازده بالا سبب افزایش بازده انرژی سیستم و کاهش سطح کلکتور مورد نیاز می گردد. اما با توجه به اینکه قیمت واحد این کلکتور نسبت به دو کلکتور دیگر بیشتر می باشد، سرمایه اولیه مورد نیاز در این حالت بیشتر است. پس از PTC، کلکتور فرنل با بازده ۶۲/۱۵٪ از دیدگاه انرژی نسبت به کلکتور Dish مناسب تر بوده و قیمت واحد کمتر این کلکتور باعث می شود که مقدار سرمایه گذاری اولیه در حالت استفاده از این نوع کلکتور کاهش چشمگیری داشته باشد.

جدول ۱۲- مشخصات کلکتورهای مورد استفاده [۲۱ و ۱۹]

کلکتور	η_0	a_1	a_2
PTC	0/74	0/00432	0/000503
LRF	0/65	0/1	0
Dish	0/65	0/35	0/00002

جدول ۱۳- نتایج تحلیل سیستم با تغییر نوع کلکتور

نوع کلکتور	η_{col} (%)	A_{col} (m^2)	ϵ_{total} (%)	\dot{E}_{dtotal} (kW)	\dot{C}_{dtotal} (\$/year)	\dot{Z}_{total} (\$/year)
PTC	71/24	8925/8	56/4898	2896/7	12133	26273
LFR	62/15	10232	52/69	3375/8	8063/5	17992
Dish	54/96	11571	49/3	3867/1	10737	23426



شکل ۴ - تأثیر شدت تابش و نوع کلکتور بر مساحت کلکتور

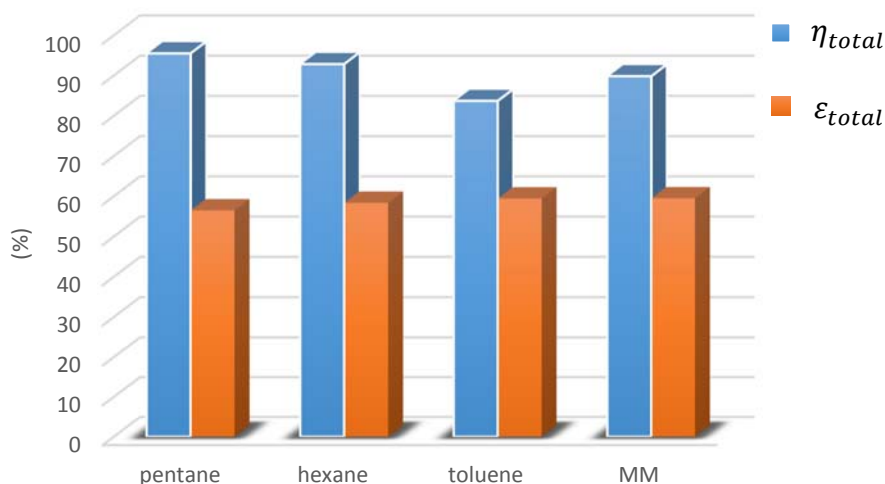
شکل (۴) تأثیر شدت تابش و نوع کلکتور بر مساحت کلکتور را نشان می‌دهد. به طور کلی با افزایش میزان شدت تابش، مساحت مورد نیاز برای تأمین انرژی اولیه کاهش می‌یابد. با توجه به بالا بودن بازده کلکتور PTC نسبت به دو کلکتور دیگر، مساحت مورد نیاز در هنگام استفاده از این کلکتور کمتر می‌باشد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود با افزایش شدت تابش، تأثیر نوع کلکتور بسیار کم می‌شود. اما در شدت تابش‌های پایین، اختلاف چشمگیری بین مساحت‌ها وجود دارد که این موضوع اهمیت انتخاب نوع کلکتور را نشان می‌دهد.

۳-۷- بررسی تأثیر سیال عامل سیکل رانکین آلی

برای این منظور کلیه شرایط عملکرد سیکل ثابت بوده و فقط سیال عامل سیکل رانکین آلی را تغییر می‌دهیم. ویژگی‌های سیالات انتخاب‌شده در جدول (۱۴) آمده است [۲۲]. همه سیالات آلی انتخاب‌شده جزء سیالات خشک بوده و در مطالعات مشابه بسیار پر کاربرد هستند. نتایج نشان می‌دهند که مساحت کلکتور مورد نیاز برای تأمین بارهای گرمایی، سرمایی و الکتریسیته بیمارستان به ترتیب در هنگام استفاده از پنتان، تولوئن و MM افزایش می‌یابد که این افزایش مساحت کلکتور سبب کاهش بازده حرارتی سیستم می‌گردد. در چهار حالت فوق‌الذکر به ترتیب بازده اگزرژی سیستم افزایش می‌یابد که علت آن افزایش دمای ورودی به توربین و دمای خروجی کلکتور است. با توجه به نتایج موجود، پنتان با بازده انرژی و اگزرژی بیشتر نسبت به سایر سیالات، سیال بهینه است (شکل (۵)).

جدول ۱۴ - مشخصات سیالات آلی مورد استفاده

سیال	$T_{cr} (^{\circ}C)$	$P_{cr} (bar)$	$MW (kg/kmol)$	نوع سیال
pentane	196/55	33/70	72/15	خشک
hexane	234/70	30/38	86/17	خشک
toluene	318/60	41/26	92/14	خشک
MM	245/50	19/39	162/4	خشک



شکل ۵ - بازده انرژی و انرژی سیستم با تغییر سیال عامل سیکل رانکین آلی

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، یک سیستم تولید همزمان توان، گرمایش و سرمایش برای یک بیمارستان مورد تحلیل انرژی اقتصادی قرار گرفت. اعمال تحلیل انرژی اقتصادی بر سیستم نشان داد که کلکتور، هیتر، ژنراتور و ابزوربر که مقدار مجموع $\dot{Z} + \dot{C}_D$ بیشتری نسبت به سایر اجزاء داشتند، از دیدگاه اقتصادی از اهمیت زیادی برخوردار هستند. محاسبه فاکتور فنی اقتصادی اجزای مختلف نشان دهنده آن است که هزینه تخریب انرژی در همه اجزاء به جز کلکتور نسبت به هزینه خرید آن‌ها بیشتر می‌باشد که لزوم بهینه‌سازی سیستم را آشکار می‌کند. برای بررسی تأثیر شدت تابش نیز ۹ استان کشور با پتانسیل تابشی مختلف در نظر گرفته شدند که نتایج نشان داد افزایش شدت تابش منجر به بهبود عملکرد سیستم می‌گردد. همچنین نتایج نشان می‌دهند که استان‌های بوشهر و گلستان به ترتیب دارای بیشترین و کمترین پتانسیل برای احداث سیستم خورشیدی موردنظر هستند. برای بررسی تغییر نوع کلکتور مورد استفاده در سیستم، سه نوع کلکتور PTC، LFR و Dish در نظر گرفته شدند که نتایج نشان داد کلکتور PTC با بازده بالاتر از دیدگاه انرژی و انرژی مناسب‌تر بوده اما از دیدگاه انرژی اقتصادی به صرفه نمی‌باشد. کلکتور LFR با قیمت واحد کمتر از دیدگاه اقتصادی کلکتور بهینه است. تأثیر شدت تابش بر سیستم نیز نشان داد که با افزایش آن، سطح کلکتور موردنیاز برای تامین انرژی اولیه کاهش یافته و هزینه سرمایه‌گذاری اولیه را کاهش می‌دهد. برای بررسی تأثیر تغییر سیال عامل سیکل رانکین آلی، چهار سیال پنتان، هگزان، تولوئن و MM در نظر گرفته شدند که نتایج نشان داد که پنتان سیال بهینه برای سیستم مورد بررسی است.

مراجع

- [1] Quoilin, S., Orosz, M., Hemond, H., and Lemort, V., "Performance and Design Optimization of a Low-cost Solar Organic Rankine Cycle for Remote Power Generation", *Solar Energy*, Vol. 85, pp. 955–966, (2011).
- [2] Manolakos, D., Kosmadakis, G., Kyritsis, S., and Papadakis, G., "On Site Experimental Evaluation of a Low-temperature Solar Organic Rankine Cycle System for RO Desalination", *Solar Energy*, Vol. 83, pp. 646–656, (2009).
- [3] Wang, X., Zhao, L., Wang, J., Zhang, W., Zhao, X., and Wu, W., "Performance Evaluation of a Low-temperature Solar Rankine Cycle System Utilizing R245fa", *Solar Energy*, Vol. 84, pp. 353–364, (2010).
- [4] Freeman, J., Hellgardt, K., and Markides, C., "Working Fluid Selection and Electrical Performance Optimization of a Domestic Solar-ORC Combined Heat and Power System for Year-round Operation in the UK", *Applied Energy*, Vol. 158, pp. 291-303, (2016).
- [5] Wang, M., Jiangfeng, W., Zhao, Y., Zhao, P., and Dai, Y., "Thermodynamic Analysis and Optimization of a Solar-driven Regenerative Organic Rankine Cycle (ORC) Based on Flat-plate Solar Collectors", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 50, pp. 816-825, (2012).
- [6] Li, J., Pei, G., and Ji, J., "Optimization of Low Temperature Solar Thermal Electric Generation with Organic Rankine Cycle in Different Areas", *Applied Energy*, Vol. 87, pp.3355-3365, (2010).
- [7] Wang, X., and Zhao, L., "Analysis of Zeotropic Mixtures used in Low-temperature Solar Rankine Cycles for Power Generation", *Solar Energy*, Vol. 83, pp. 605-613, (2009).
- [8] Al-Sulaiman F.A., Dincer, I., and Hamdullahpur, F., "Thermoeconomic Optimization of Three Trigeneration Systems using Organic Rankine Cycles: Part I – Formulations", *Energy Conversion and Management*, Vol. 69, pp. 199-208, (2013).
- [9] Al-Sulaiman F.A., Hamdullahpur, F., and Dincer, I., "Performance Assessment of a Novel System using Parabolic Trough Solar Collectors for Combined Cooling, Heating, and Power Production", *Renewable Energy*, Vol. 48, pp. 161-172, (2012).
- [10] Karellas, S., and Braimakis, K., "Energy–exergy Analysis and Economic Investigation of a Cogeneration and Trigeneration ORC–VCC Hybrid System Utilizing Biomass Fuel and Solar Power", *Energy Conversion and Management*, Vol. 107, pp. 103-113, (2016).
- [11] Shariatzadeh, J., Refahi, A., Rahmani, M., and Abdolhassani, S., "Economic Optimization and Thermodynamic Modelling of SOFC Tri-generation System Fed by Biogas", *Energy Conversion and Management*, Vol. 105, pp. 772-781, (2015).
- [12] Alamdari, P., Nematollahi, O., and Alemrajabi, A., "Solar Energy Potentials in Iran: A Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 21, pp. 778-788, (2013).

- [13] Eisavi, B., Khalilarya, S., Chitsaz, A., and Rosen, M., "Thermodynamic Analysis of a Novel Combined Cooling, Heating and Power System Driven by Solar Energy", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 129, pp. 1219-1229, (2017).
- [14] Bellos, E., and Tzivanidis, Ch., "Parametric Analysis and Optimization of a Solar Driven Trigeneration System Based on ORC and Absorption Heat Pump", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 161, pp. 493-509, (2017).
- [15] Zhao, L., Zhang, Y., Deng, S., Ni, J., Xu, W., Ma, M., Lin, S., and Yu, Z., "Solar Driven ORC-based CCHP: Comparative Performance Analysis between Sequential and Parallel System Configurations", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 131, pp. 696-706, (2018).
- [16] Akbari, K., and Mahmoudi, S., "Exergoeconomic Analysis and Optimization of a Novel Cogeneration System Producing Power and Refrigeration", *Energy Conversion and Management*, Vol. 134, pp. 208-220, (2017).
- [17] Wu, Ch., Wang, Sh., Feng, X., and Li, J., "Energy, Exergy and Exergoeconomic Analyses of a Combined Supercritical CO₂ Recompression Brayton/Absorption Refrigeration Cycle", *Energy Conversion and Management*, Vol. 148, pp. 360-377, (2017).
- [18] Cimsit, C., Ozturk, I., and Kincay, O., "Thermoeconomic Optimization of LiBr/H₂O R134a Compression-absorption Cascade Refrigeration Cycle", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 76, pp. 105-115, (2014).
- [19] Ahmadi, F., and Heidarnejad, P., "Thermoeconomic Assessment and Multi Objective Optimization of a Solar Micro CCHP Based on Organic Rankine Cycle for Domestic Application", *Energy Conversion and Management*, Vol. 97, pp. 224-234, (2015).
- [20] Shokati, N., Ranjbar, R., and Yari, M., "A Comprehensive Exergoeconomic Analysis of Absorption Power and Cooling Cogeneration Cycles Based on Kalina, Part 1: Simulation", *Energy Conversion and Management*, Vol. 158, pp. 437-459, (2018).
- [21] Schenk, H., Hirsch, T., Fabian, F., and Wittmann, M., "Energetic Comparison of Linear Fresnel and Parabolic Trough Collector Systems", *Solar Energy Engineering*, Vol. 136, pp. 333-344, (2014).
- [22] Bellos, E., and Tzivanidis, Ch., "Parametric Analysis and Optimization of a Solar Driven Trigeneration System Based on ORC and Absorption Heat Pump", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 161, pp. 493-509, (2017).

فهرست نمادهای انگلیسی

ε	بازده اگزرژی (/.)
A	مساحت (m^2)
Dish	کلکتور بشقابی
\dot{E}	نرخ اگزرژی (kW)
ex	اگزرژی (kJ/kg)
G	شدت تابش (W/m^2)
h	آنتالپی (kJ/kg)
HST	منبع ذخیره
LFR	کلکتور خطی فرنل
\dot{m}	نرخ جریان (kg/s)
MW	وزن مولکولی ($kg/kmol$)
P	فشار (kPa)
PTC	کلکتور سهموی خطی
s	آنتروپی ($kJ/kg.K$)
T	دما ($^{\circ}C$)
total	کل
U	ضریب انتقال حرارت ($W/m^2.k$)
\dot{W}	نرخ کار (kW)
x	کیفیت
Z	هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و تعمیرات و نگهداری (\$)

زیرنویس

abs	ابزوربر
cascade	کسکید
col	کلکتور
comp	کمپرسور
cond	کندانسور
crit	بحرانی
D	تخریب
E.V	شیر انبساط
evap	اوپراتور
F	سوخت

ژنراتور	gen
هیتر	heater
مبدل حرارتی	HX
محصول	P
پمپ	pump
منبع ذخیره	st
خورشید	sun
توربین	tur

Abstract

In this paper, an exergoeconomic analysis of a cogeneration system of heating, cooling and power has been done for the needs of a 100-bed hospital. The electricity required for the hospital is produced by an organic Rankine cycle. Using the heat exchanger in the cycle, the heating load of the hospital is provided. The steam output of the turbine has also been used to launch a cascade refrigeration cycle and to provide a cooling load for the hospital.

The combination of absorption and compression refrigeration cycles provides for the preservation of some of the drug items that should be stored at very low temperatures. To supply heat in the boiler of this plant, three types of collectors including linear parabolic, Fresnel Linear Collector and Dish Collector have been used and compared. The results showed that collectors are more critical than the other parts of the economy due to the high initial investment cost. Also, the LFR collector from the economic point of view showed better system performance than others. The system was tested for performance in 9 different provinces of Iran with different radiation intensity levels. The results showed that Bushehr and Golestan provinces had the highest and lowest potential, respectively.

Also, the effect of radiation intensity and operating fluid on the system was investigated.