

Journal of Sustainable Energy Systems

Home Page: <https://ses.ut.ac.ir>

Research Paper

Investigation Of The Thermal Performance Of Organic Liquids And Therminol Oils On The Energy Efficiency And Exergy Of The Flat Plate Solar Collector**Mahtab Ahmadi**

Department of Engineering Sciences, Faculty of Technology and Engineering, East of Guilan, University of Guilan, Rudsar, Iran

ARTICLE INFO**Article History:**

Received 08 October, 2022

Revised 07 November, 2022

Accepted 07 December, 2022

Keywords:

Solar collector

Organic liquids

Therminol oils

Efficiency

ABSTRACT

The flat plate solar collector as a heat exchanger is responsible for absorbing the radiant energy of the sun and transferring heat to the working fluid. Water and air are among the most common fluids that flow as the working fluid among these collectors. Considering that efficiency is one of the most important criteria in the evaluation of these collectors, in this study, four fluids from the group of organic liquids and therminol oils were selected and their thermal performance was investigated on the efficiency of a flat plate solar collector. The results obtained in this article show that organic liquids are more efficient compared to therminol oils and have better performance in absorbing heat from the collector and transferring it to the working fluid, and the reason for this is the lower specific heat of organic liquids. It is raised at working temperature. Also, with the increase in the intensity of solar radiation, the energy efficiency and exergy of the collector will decrease and the amount of heat transferred from the working fluid to the collector will increase, and with the increase of the ambient temperature, the exergy efficiency and useful exergy of the collector will decrease. The average values of energy efficiency and exergy due to the choice of working fluid in this design show that organic liquids can be the best working fluid in these type of collectors after water.

Introduction

Solar collectors are responsible for transferring and converting solar energy into useful heat. One type of these collectors is the flat plate collectors, which are designed to work at low temperatures. One of the most important criteria in the evaluation of flat plate solar collectors is their efficiency, so in this research, four liquids from the group of organic liquids and therminol oils have been selected as working fluids for these collectors so that their thermal performance on the energy efficiency and exergy of these collectors can be investigated.

Model description

In this study, in order to investigate the thermal performance of organic liquids and therminol oils on the energy efficiency and exergy of a collector. Solar flat plate, the governing equations of the problem along with the values provided in MATLAB software are programmed. The frame, insulation, absorber plate, metal tube and glass cover are the most important components of this solar collector. The aim area in this study includes

all cities in Iran and the world that have good radiation intensity and have more than 300 sunny days per year.

Results and discussions

The present study is only a theoretical research and the results obtained in this research, which are presented in Figure 1 and 2, show that among the fluids selected as the working fluid, organic liquids are more efficient and absorb heat than therminol oil. From the collector and transferring it to the working fluid, they have better performance. The reason for this is the lower specific heat of organic liquids compared to therminol oils at the mentioned working temperature. Also, increasing the intensity of the two parameters of Incident solar radiation and ambient temperature will decrease the energy efficiency and exergy in these collectors.

* Corresponding Author Email: ahmadi.lpr04@gmail.com

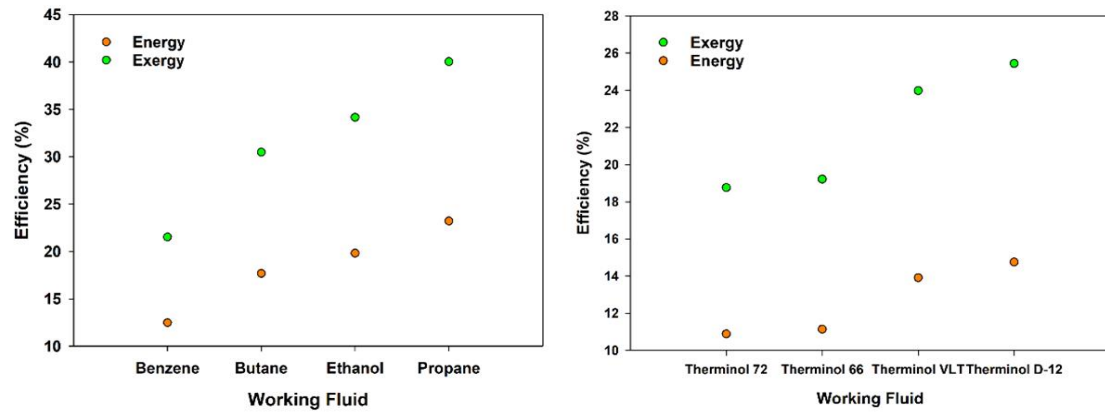


Fig. 1. energy efficiency and exergy of the working fluid (the figure on the left is related to organic liquids and the figure on the right is related to therminol oils)

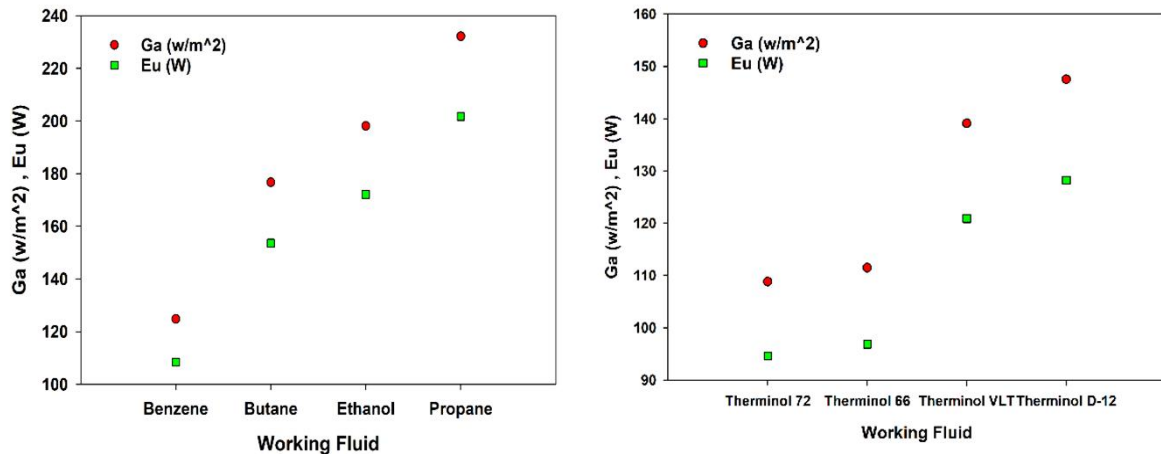


Fig. 2. amount of heat transferred from the collector to the working fluid and useful exergy (the figure on the left related to organic liquids and the figure on the right related to therminol oils)

فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار

سایت نشریه: <https://ses.ut.ac.ir>

مقاله پژوهشی

بررسی عملکرد حرارتی مایعات آلی و روغن‌های ترمینول بر راندمان انرژی و انرژی کلکتور خورشیدی صفحه مسطح

مهتاب احمدی

گروه علوم مهندسی، دانشکده فنی و مهندسی شرق گیلان، دانشگاه گیلان، رودسر

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ‌های مقاله: تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۰۷/۱۶ تاریخ بازنگری ۱۴۰۱/۰۸/۱۶ تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۰۹/۱۶ کلیدواژه: کلکتور خورشیدی مایعات آلی روغن‌های ترمینول راندمان	کلکتور خورشیدی صفحه مسطح به عنوان یک مبدل حرارتی، وظیفه جذب انرژی تابشی خورشید و انتقال گرما به سیال عامل را به عهده دارد. آب‌وهوا از رایج‌ترین سیالاتی‌اند که به عنوان سیال عامل در میان این کلکتورها جریان دارند. با توجه به اینکه میزان بازدهی از مهم‌ترین معیارها در ارزیابی این کلکتورها است سعی شده تا در مطالعه حاضر، چهار سیال از گروه مایعات آلی و روغن‌های ترمینول انتخاب و عملکرد حرارتی آن‌ها بر راندمان یک کلکتور خورشیدی صفحه مسطح مورد بررسی قرار گیرد. نتایج به‌دست‌آمده در مقاله حاضر، نشان می‌دهد که مایعات آلی در مقایسه با روغن‌های ترمینول دارای راندمان بیشتر و در جذب گرما از کلکتور و انتقال آن به سیال عامل دارای عملکرد بهتری هستند و علت آن نیز پایین‌تر بودن گرمای ویژه مایعات آلی در دمای کاری مطرح شده است. همچنین با افزایش شدت تابش خورشید، راندمان انرژی و انرژی کلکتور کاهش و میزان گرمای منتقل شده از سیال عامل به کلکتور افزایش خواهد یافت و با افزایش دمای محیط، راندمان انرژی و انرژی کلکتور کاهش می‌یابد. مقادیر میانگین راندمان انرژی و انرژی بر اثر انتخاب سیال عامل در این طرح نشان می‌دهد مایعات آلی بعد از آب می‌توانند بهترین سیال عامل در این نوع کلکتورها باشند.

فهرست علامت‌ها پارامترها و متغیرها	
A_c مساحت کلکتور (m^2)	h ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی منتقل‌شده از صفحه جاذب به شیشه (W/m^2K)
A_p مساحت صفحه جاذب (m^2)	h_w ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی منتقل‌شده از شیشه به محیط (W/m^2K)
C_p گرمای ویژه سیال ($J/Kg\ ^\circ C$)	I شدت تابش خورشید (W/m^2K)
d فاصله بین صفحه جاذب و پوشش شیشه‌ای (mm)	K_{air} ضریب هدایت حرارتی هوا ($W/m\ K$)
E_d نرخ انرژی تلفات (W)	L طول لوله فلزی (m)
E_{in} نرخ انرژی ورودی (W)	$\dot{m}$ دبی جرمی سیال عامل (kg/s)
E_{out} نرخ انرژی خروجی (W)	N_u عدد ناسلت
E_s نرخ انرژی ذخیره‌شده (W)	Q_u انرژی مفید کلکتور (W)
G_a گرمایی که از کلکتور به سیال عامل منتقل می‌شود (W/m^2)	Q_s انرژی جذب‌شده توسط صفحه جاذب (W)
g شتاب گرانش (m^2/s)	Q_c انتقال حرارت جابه‌جایی منتقل‌شده از صفحه جاذب به شیشه (W)
	Q_r انتقال حرارت تشعشعی از شیشه به آسمان (W)

* نویسنده مسئول

Email: ahmadi.lpr04@gmail.com

قسمت‌های سیستم منتقل می‌شود. یکی از معیارهای مهم در ارزیابی کلکتورهای خورشیدی میزان بازدهی یا کارایی آن‌ها است. در مطالعاتی که توسط نقره‌آبادی و همکاران [۵]؛ تیان و همکاران [۶] و زامبولین و همکاران [۷] انجام شده، راهکارهای زیادی برای افزایش راندمان کلکتورهای صفحه تخت مانند مساحت مفید کلکتور، رنگ، ضریب شکل و نوع سیال عامل و نحوه ارتباط بین جاذب و سیال عامل پیشنهاد شده است. با مطالعه تحقیقات پیشینی که در خصوص افزایش راندمان کلکتورهای صفحه مسطح صورت گرفته است، سعی شده تا به منظور دستیابی به کارایی هرچه بیشتر کلکتورهای خورشیدی صفحه مسطح^۱، در به کارگیری سیال عامل مورد استفاده برای این کلکتورها، نگاهی جدید صورت پذیرد. به بیانی تعدادی مایعات آلی^۲ و روغن‌های ترمینول^۳ به عنوان سیال عامل برای کلکتور خورشیدی صفحه مسطح انتخاب شده است تا عملکرد حرارتی این سیالات بر راندمان انرژی و اگزرژی آن بررسی شود. تا کنون مرسوم بوده که از سیالاتی نظیر هوا و آب به عنوان سیال عامل در کلکتورهای خورشیدی صفحه مسطح استفاده شود، اما تا کنون تأثیر انتخاب و عملکرد حرارتی مایعات آلی و انواع مختلف روغن‌های ترمینول بر راندمان انرژی و اگزرژی یک کلکتور خورشیدی صفحه مسطح صورت نگرفته است. بنابراین سعی شده تا در این مطالعه این موضوع مورد بررسی قرار گیرد. مایعات آلی تا کنون به عنوان سیال عامل و به منظور بهبود راندمان سیکل‌های رنگین در مطالعات بسیاری مورد بررسی قرار گرفته‌اند. و در این مطالعه برای اولین بار عملکرد حرارتی آن‌ها بر راندمان یک کلکتور صفحه مسطح بررسی می‌شود. همچنین یکی از کاربردهای رایج روغن‌های ترمینول، استفاده از آن‌ها به عنوان سیال عامل در کلکتورهای خورشیدی نوع سهموی است. این کلکتورها در دماهای بالا کار می‌کنند و در این مطالعه مشاهده خواهد شد که آیا این روغن‌ها، سیال عامل مناسبی برای کلکتورهای صفحه مسطح که در دمای پایینی کار می‌کنند خواهند بود و نیز بررسی می‌شود تا در شرایط یکسان کدام یک و کدام گروه از سیالات نامبرده می‌تواند بهترین عملکرد را بر راندمان این کلکتورها داشته باشد و آیا این دو گروه از سیالات در این نوع کلکتورها می‌توانند جایگزین آب شوند؟

1. Flat Plate Solar Collector
2. Organic Liquids
3. Therminol Oils

Q_g	انتقال حرارت جابه‌جایی از شیشه به محیط (W)
R_a	عدد رایلی
T_1	دمای شیشه (°C)
T_a	دمای محیط (°C)
T_i	دمای ورودی سیال (°C)
T_o	دمای خروجی سیال (°C)
$\overline{T_p}$	دمای میانگین (°C)
$\overline{\overline{T_p}}$	میانگین انتگرال T_p روی صفحه جاذب (°C)
T_{sky}	دمای آسمان (°C)
T_s	دمای ظاهری خورشید (°C)
V	ویسکوزیته دینامیکی (m^2/s)
V_a	سرعت باد (m/s)
W	فاصله از مرکز لوله تا مرکز (mm)

علائم یونانی

α	نفوذ حرارتی (m^2/s)
β	ضریب انبساط حرارتی ($1/k$)
ϵ_1	ضریب نشر شیشه
θ	زاویه قرارگیری کلکتور نسبت به افق
σ	ثابت استفان بولتزمن ($5.67 \times 10^{-8} (W/m^2k^4)$)
$(\tau\alpha)_e$	ضریب مؤثر عبور - جذب
η_{en}	راندمان انرژی
η_{ex}	راندمان اگزرژی

۱. مقدمه

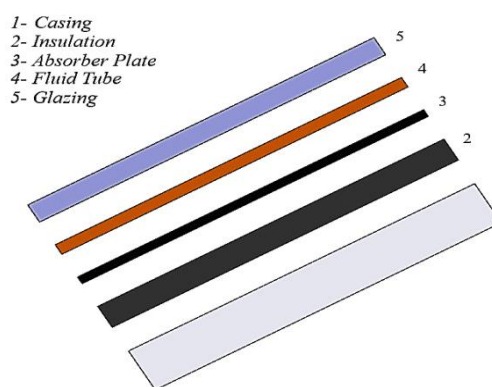
امروزه انرژی خورشید به عنوان فراوان‌ترین منبع انرژی شناخته می‌شود این انرژی را می‌توان به صورت انرژی الکتریکی و از طریق سیستم‌های فتوولتائیک و نیز به صورت انرژی حرارتی و با استفاده از کلکتورهای خورشیدی، به منظور تأمین بخشی از انرژی مورد نیاز جوامع به کار گرفت [۱ و ۲]. کلکتورهای خورشیدی بر حسب کاربرد انواع مختلفی دارند که توسط کالوگيرو [۳] در سال ۲۰۰۴ ارائه شده است. برای مثال کلکتورهای صفحه مسطح برای کار در دماهای پایین طراحی شده‌اند، کلکتورهای سهموی با قابلیت تعقیب خورشید برای دماهای بالایی همچون ۲۵۰ درجه سلسیوس و با راندمان بالا به کار می‌روند و از کلکتورهای دوماحوره با قابلیت تعقیب خورشید برای تولید انرژی در نیروگاه استفاده می‌شود [۴] کلکتورهای خورشیدی وظیفه انتقال و تبدیل انرژی خورشیدی به حرارت مفید را به عهده دارند. این حرارت به صورت مستقیم و غیر مستقیم به سیال عامل و واسطه به منظور انتقال به سایر

۲. مواد و روش

در این بخش طرح و مشخصات کلکتور خورشیدی مورد مطالعه ارائه می‌شود. برای رسیدن به نتایج در این تحقیق، معادلات حاکم بر مساله و مقادیر ارائه شده در نرم‌افزار متلب برنامه‌نویسی شده است. منطقه هدف در این مطالعه شامل تمام شهرهایی در ایران و جهان است که از شدت تابش خوبی برخوردار و دارای بیش از ۳۰۰ روز آفتابی در سال باشند.

۱.۲. هندسه

قاب، عایق، صفحه جاذب، لوله فلزی و پوشش شیشه‌ای از مهم‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده این کلکتور خورشیدی است که طرح این کلکتور خورشیدی صفحه مسطح و مشخصات مربوط به آن به ترتیب در شکل ۱ و در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین پارامترهای در نظر گرفته شده در مطالعه حاضر نیز در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۱. طرح کلکتور خورشیدی صفحه مسطح

جدول ۱. مشخصات مربوط به کلکتور خورشیدی صفحه مسطح در مطالعه حاضر

مقدار	خاصیت
۲	مساحت کلکتور (m^2)
۶/۳۵	قطر لوله (mm)
۱۲/۷	قطر لوله‌های هدر (mm)
۱۰۰	فاصله مرکز تا مرکز لوله (mm)
۹	تعداد لوله‌های استفاده شده
۱/۹۵	طول صفحه جاذب (m)
۰/۹۵	عرض صفحه جاذب (m)
مس	جنس صفحه جاذب
۰/۸۸	ضریب نشر صفحه جاذب
۰/۸۸	ضریب نشر پوشش شیشه‌ای

جدول ۲. پارامترهای در نظر گرفته شده در مطالعه حاضر

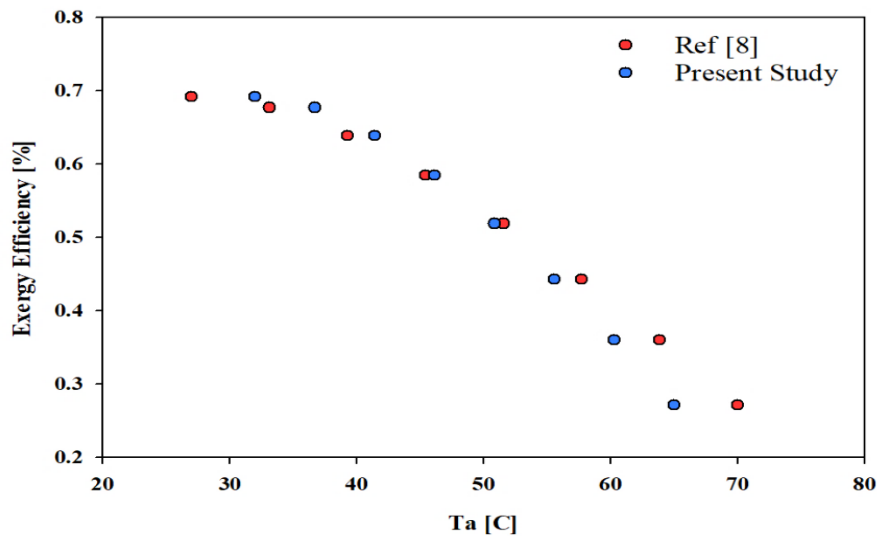
مقدار	خاصیت
۱۰۰۰	شدت تابش خورشید (W/m^2)
۳۰	زاویه شیب کلکتور (degree)
۰/۰۰۵۲	دبی جرمی سیال عامل (Kg/s)
۳۲	میانگین دمای سالانه محیط ($^{\circ}C$)
۴۵	دمای سیال عامل ورودی ($^{\circ}C$)
۷۰	دمای سیال عامل خروجی ($^{\circ}C$)

۳. یافته‌ها

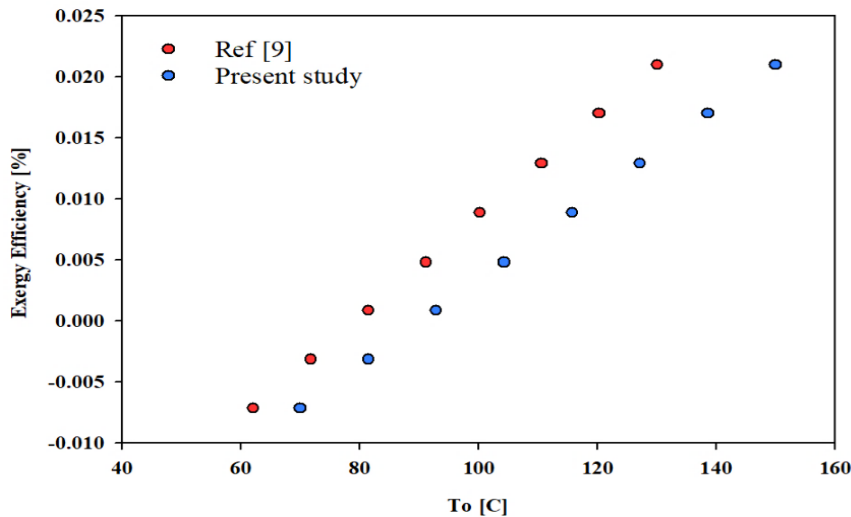
در مطالعه حاضر، به منظور بهبود کارایی کلکتور خورشیدی صفحه مسطح، سعی شده تا با استفاده از نرم‌افزار متلب عملکرد حرارتی مایعات آلی و روغن‌های ترمینول با فرض ثابت بودن پارامترهای تعریف شده در جدول‌های ۱ و ۲ طی این تحقیق، مورد بررسی قرار گیرد. قابل ذکر است که هیچ‌یک از این سیالات به عنوان سیال پایه در نظر گرفته نشده‌اند، اما نتایج به دست آمده در مورد راندمان انرژی و انرژی مربوط به این سیالات در نهایت با رایج‌ترین سیال عامل در این کلکتورها یعنی آب مقایسه خواهد شد.

۱.۳. ارزیابی صحت نتایج

در مطالعه حاضر به منظور حصول اطمینان از صحت نتایج، مقادیر ارائه شده در دو مطالعه دیگر در برنامه‌ای که برای این مطالعه در نرم‌افزار متلب نوشته شده جای‌گذاری شده است. علت این امر این است که مشخصات مربوط به کلکتور خورشیدی صفحه مسطح و مقادیر مربوط به دما، دبی، نوع سیال عامل، شدت تابش خورشید و دمای محیط در نظر گرفته شده در این مطالعه با دو مطالعه دیگر و سایر مطالعات متفاوت است. با توجه به اینکه سیال پایه در دو مطالعه دیگر آب است در صحت‌سنجی مطالعه حاضر نیز از آب استفاده شده است. یکی از این مطالعات تحلیل انرژی از یک کلکتور خورشیدی صفحه مسطح است که توسط سونیل شامولی [۸]، انجام شده است و در شکل ۲ نتیجه حاصل از تأثیر افزایش دمای محیط بر راندمان انرژی در این مقاله با مطالعه حاضر نشان داده شده است. همچنین در مطالعه دیگری توسط مستفیض‌زور رحمان [۹]، نتیجه حاصل از تأثیر افزایش دمای خروجی از کلکتور بر راندمان انرژی در این مقاله با مطالعه حاضر در شکل ۳ ارائه شده است. در این مقاله به تحلیل تأثیر نانوسیال‌ها بر راندمان انرژی و انرژی کلکتور خورشیدی صفحه مسطح پرداخته شده است.



شکل ۲. تأثیر افزایش دمای محیط بر راندمان انرژی



شکل ۳. تأثیر افزایش دمای خروجی از کلکتور بر راندمان انرژی

دمای کاری سیال عامل در این تحقیق 65°C است، خواص ترموفیزیکی مربوط به این سیالات نیز در جدول‌های ۳ و ۴ و در دمای 65°C ارائه شده است.

جدول ۳. خواص ترموفیزیکی مربوط به مایعات آلی در دمای 65°C

Working Fluid	ρ (kg/m ³)	C_p (J/Kg °C)
Propane	۴۱۲	۳۵۷۲
Ethanol	۷۴۸	۳۰۴۸
Butane	۵۲۰	۲۷۱۹
Benzene	۸۲۰	۱۹۲۰

همان‌گونه که در شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار در مطالعه حاضر، تطابق خوبی با دو مطالعه دیگر دارد.

۲.۳. مشخصات فیزیکی سیال عامل

در این مطالعه، چهار سیال از گروه مایعات آلی و روغن‌های ترمینول به عنوان سیال عامل انتخاب شده است. این سیالات در دماهای مختلف دارای چگالی و گرمای ویژه متفاوتی هستند که تفاوت در خصوص گرمای ویژه می‌تواند بر نتایج به‌دست‌آمده و در نتیجه‌گیری‌ها تأثیر به‌سزایی گذارد. بنابراین مهم است که از سیالات نامبرده در چه دمایی استفاده می‌شود. لذا با توجه به اینکه

$$h = \frac{N_u K_{air}}{d} \quad (5)$$

d فاصله بین صفحه جاذب و پوشش شیشه‌ای است، N_u عدد ناسلت و K_{air} ضریب هدایت حرارتی هوا است که عدد ناسلت از رابطه ۶ و عدد رایلی از رابطه ۷ به دست می‌آید [۱۲]:

$$N_u = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1780}{Ra \cos \theta} \right] \left[1 - \frac{1780 (\sin 1.8\theta)^{1.6}}{Ra \cos \theta} \right] + \left[\frac{(Ra \cos \theta)^{\frac{1}{3}}}{18} - 1 \right] \quad (6)$$

$$Ra = \frac{g\beta (\overline{T_p} - T_1)L^3}{\nu^2} \quad (7)$$

در رابطه ۶، θ زاویه قرارگیری کلکتور نسبت به افق و Ra عدد رایلی است و در رابطه ۷، g شتاب گرانش، β ضریب انبساط حرارتی، T_1 و $\overline{T_p}$ به ترتیب دمای شیشه و دمای میانگین بوده، L^3 طول لوله فلزی و ν ویسکوزیته سینماتیکی است.

انتقال حرارت جابه‌جایی منتقل شده از صفحه جاذب به شیشه نیز از رابطه ۸ محاسبه می‌شود:

$$Q_c = W (\overline{T_p} - T_1)h \quad (8)$$

انتقال حرارت تشعشی از شیشه به آسمان از رابطه ۹ به دست می‌آید [۱۳]:

$$Q_r = \sigma \varepsilon_1 W (T_1^4 - T_{sky}^4) \quad (9)$$

در روابط یادشده W فاصله از مرکز لوله تا مرکز T_{sky} که از رابطه $T_{sky} = 0.0552 T_a^{1.5}$ محاسبه می‌شود. دمای آسمان، σ ثابت استفان بولتزمن است که مقدار آن 5.67×10^{-8} است، ε_1 ضریب نشر شیشه و T_a دمای محیط است.

انتقال حرارت جابه‌جایی از شیشه به محیط از رابطه ۱۰ و ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی از شیشه به محیط از رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود [۱۴]:

$$Q_g = W h_w (T_1 - T_a) \quad (10)$$

$$h_w = 5.7 + 3.8 V_a \quad (11)$$

جدول ۴. خواص ترموفیزیکی مربوط به روغن‌های ترمینول در دمای 65°C

Working Fluid	ρ (kg/m ³)	C_p (J/Kg °C)
Therminol D-12	۷۲۹/۵	۲۲۷۰
Therminol VLT	۷۰۸/۵	۲۱۴۰
Therminol 66	۹۷۸/۵	۱۷۱۵
Therminol 72	۱۰۳۸/۵	۱۶۷۴

۳.۳. فرمول‌بندی مسئله

در تحلیل انرژی، معادلات حاکم بر راندمان انرژی و انرژی کلکتورهای خورشیدی صفحه مسطح از روابط زیر پیروی می‌کند:

انرژی مفید کلکتور که صرف افزایش دمای سیال عامل می‌شود را می‌توان با استفاده از رابطه ۱ محاسبه کرد [۱۰]:

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_o - T_i) \quad (1)$$

در این رابطه $\dot{m}$ دبی جرمی سیال عامل، C_p گرمای ویژه سیال، T_i و T_o به ترتیب دمای ورودی و خروجی سیال عامل هستند.

مقدار انرژی جذب شده توسط صفحه جاذب به صورت زیر بیان می‌شود [۱۰]:

$$Q_s = A_c I \quad (2)$$

در رابطه ۲، A_c مساحت کلکتور و I شدت تابش خورشید است.

راندمان انرژی کلکتور، نسبت انرژی مفید به دست‌آمده به مقدار انرژی جذب شده است که از رابطه ۳ به دست می‌آید [۱۰]:

$$\eta_{en} = \frac{Q_u}{Q_s} \quad (3)$$

با داشتن مقدار شدت تابش و محاسبه راندمان انرژی کلکتور، می‌توان با استفاده از رابطه ۴ گرمایی را که کلکتور به سیال عامل می‌دهد محاسبه کرد [۱۱]:

$$G_a = I \eta_{en} \quad (4)$$

در رابطه ۴ G_a گرمای منتقل شده از کلکتور به سیال عامل است.

ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی سیال از صفحه جاذب به شیشه از طریق رابطه ۵ قابل محاسبه است [۱۲]:

در این روابط V_a سرعت باد است.

در تحلیل انرژی معادله تعادل انرژی از رابطه ۱۲ پیروی می‌کند [۱۵ و ۱۶]:

$$E_{in} - E_s - E_{out} - E_d = 0 \quad (12)$$

در شرایط پایا $E_s = 0$ است و E_{in} نرخ انرژی ورودی است که توسط جریان سیال حمل می‌شود و از رابطه ۱۳ پیروی می‌کند [۱۷ و ۱۸]:

$$E_{in} = \dot{m} C_p \left(T_i - T_a - T_a \ln \frac{T_i}{T_a} \right) \quad (13)$$

نرخ انرژی خروجی که توسط سیال حمل می‌شود نیز از رابطه ۱۴ به دست می‌آید [۱۷ و ۱۸]:

$$E_{out} = \dot{m} C_p \left(T_o - T_a - T_a \ln \frac{T_o}{T_a} \right) \quad (14)$$

نرخ تلفات انرژی از چهار قسمت تشکیل شده است که به ترتیب نرخ تلفات اول تا چهارم و با استفاده از روابط ۱۵ تا ۱۸ و به صورت زیر قابل محاسبه است. در این روابط $(\tau\alpha)_e$ ضریب مؤثر عبور- جذب، T_s دمای ظاهری خورشید، $\bar{T}_p$ میانگین انتگرال T_p روی صفحه جذب، U_L ضریب تلفات انتقال حرارت کلی و A_p مساحت صفحه جذب است [۱۸ و ۱۹]:

$$E_l = U_L A_p (\bar{T}_p - T_a) \left(1 - \frac{T_a}{T_p} \right) \quad (15)$$

$$E_{d1} = (\tau\alpha)_e E_{d1} I A_p T_a \left(\frac{1}{T_p} - \left(\frac{1}{T_p} - \frac{1}{T_s} \right) \right) \quad (16)$$

$$E_{d2} = I [A_c - (\tau\alpha) A_p] \left(1 - \frac{T_a}{T_s} \right) \quad (17)$$

$$E_{d3} = \dot{m} C_p T_a \left[\ln \left(\frac{T_o}{T_a} \right) - \frac{(T_o - T_i)}{T_p} \right] \quad (18)$$

نرخ انرژی مفید از رابطه ۱۹ و راندمان انرژی مربوط به کلکتور خورشیدی صفحه مسطح از رابطه ۲۰ پیروی می‌کند:

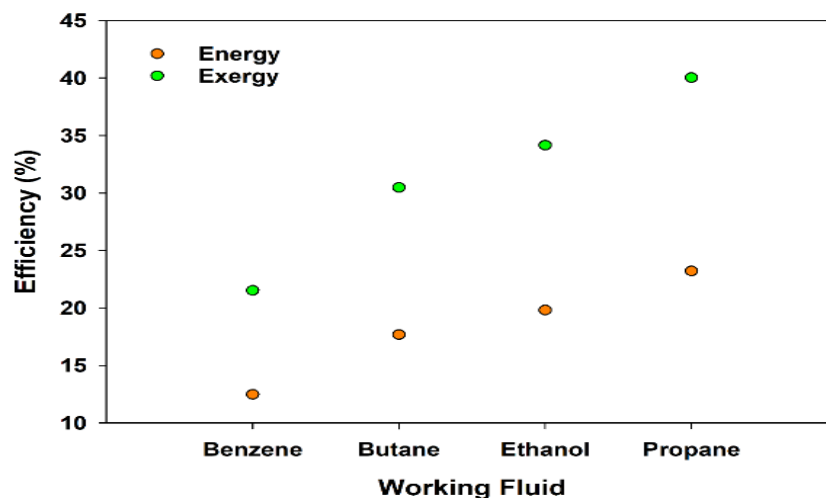
$$E_u = E_{out} - E_{in} \quad (19)$$

$$\eta_{ex} = \frac{E_{out} - E_{in}}{I A_c \left(1 - \frac{T_a}{T_s} \right)} \quad (20)$$

۴.۳. نتایج مربوط به بررسی مایعات آلی

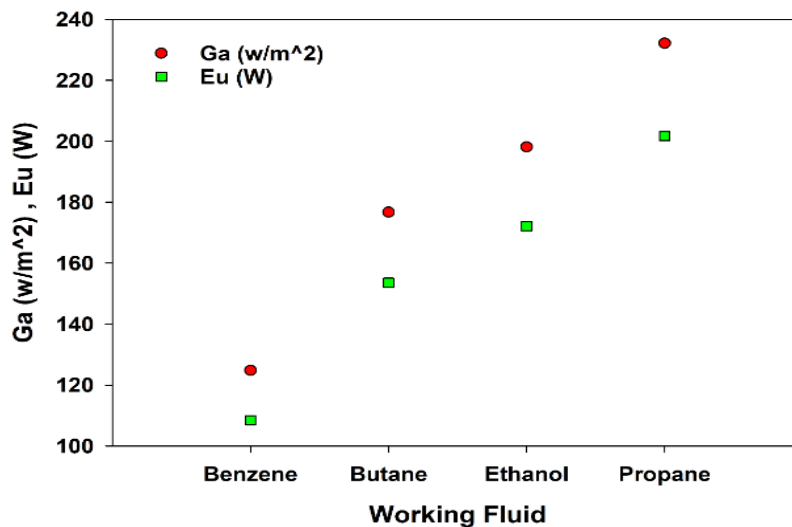
عملکرد حرارتی مایعات آلی بر راندمان انرژی و انرژی کلکتور خورشیدی صفحه مسطح در شکل ۴ و میزان گرمای منتقل شده از کلکتور به سیال عامل و نیز انرژی مفید مربوط به مایعات آلی در نمودار شکل ۵ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در بین این مایعات آلی بیشترین راندمان، بهترین عملکرد در انتقال گرما از کلکتور به سیال عامل و نیز بیشترین انرژی مفید به ترتیب به سیالات Ethanol, Propane و Butane و Benzene تعلق دارد.

نتایج نهایی به دست آمده از نرم‌افزار در جدول ۵ قابل مشاهده است:



شکل ۴. نمودار راندمان انرژی و انرژی مربوط به مایعات آلی

احمدی: بررسی عملکرد حرارتی مایعات آلی و روغن‌های ترمینول بر راندمان انرژی و اگزرژی کلکتور ...



شکل ۵. میزان گرمای منتقل شده از کلکتور به سیال عامل و اگزرژی مفید مربوط به مایعات آلی

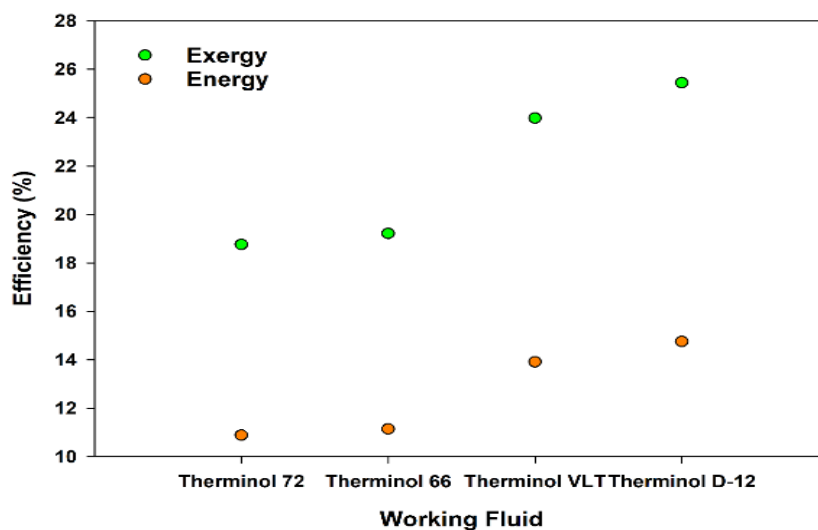
جدول ۵. نتایج مربوط به مایعات آلی

Working Fluid	η_{en} (%)	η_{ex} (%)	E_u (W)	G_a (W/m ²)
Benzene	۱۲/۴۸	۲۱/۵۱	۱۰۸/۴۳	۱۲۴/۸۰
Butane	۱۷/۶۷	۳۰/۴۷	۱۵۳/۵۶	۱۷۶/۷۳
Ethanol	۱۹/۸۱	۳۴/۱۵	۱۷۲/۱۴	۱۹۸/۱۲
Propane	۲۳/۲۱	۴۰/۰۳	۲۰۱/۷۴	۲۳۲/۱۸

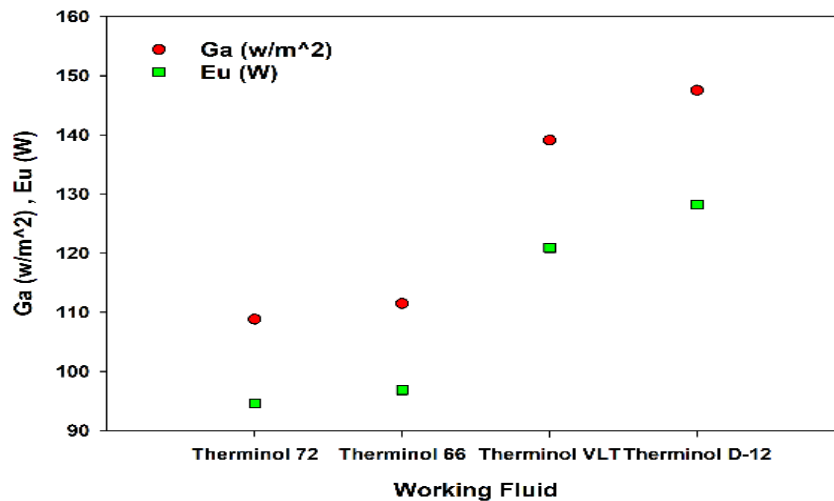
بیشترین راندمان، بهترین عملکرد در انتقال گرما از کلکتور به سیال عامل و نیز بیشترین اگزرژی مفید به ترتیب به روغن‌های Therminol VLT، Therminol D-12، Therminol 66 و Therminol 72 تعلق دارد که نتایج نهایی به دست آمده از نرم افزار در جدول ۶ قابل مشاهده است.

۵.۳. نتایج مربوط به بررسی روغن‌های ترمینول

عملکرد حرارتی روغن‌های ترمینول بر راندمان انرژی و اگزرژی این کلکتور در شکل ۶ و میزان گرمای منتقل شده از کلکتور به سیال عامل و نیز اگزرژی مفید مربوط به روغن‌های ترمینول در نمودار شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در بین این سیالات



شکل ۶. نمودار راندمان انرژی و اگزرژی مربوط به روغن‌های ترمینول



شکل ۷. میزان گرمای منتقل شده از کلکتور به سیال عامل و انرژی مفید مربوط به روغن‌های ترمینول

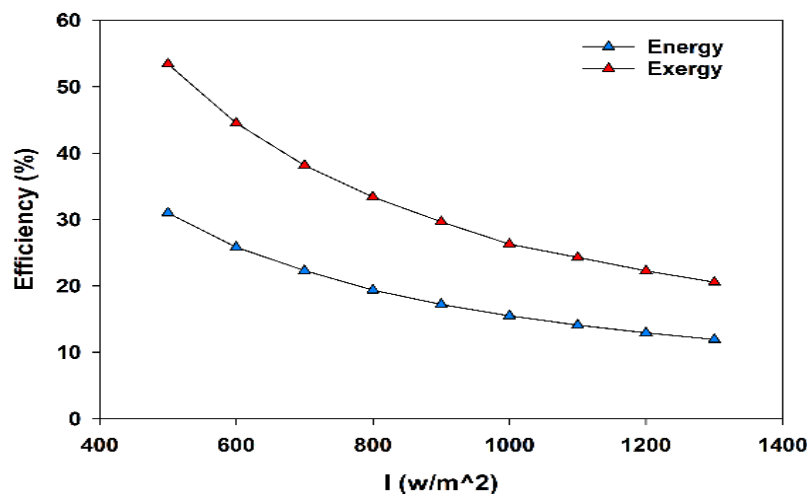
جدول ۶. نتایج مربوط به روغن‌های ترمینول

Working Fluid	η_{en} (%)	η_{ex} (%)	E_u (W)	G_a (W/m ²)
Therminol 72	۱۰/۸۸	۱۸/۷۶	۹۴/۵۴	۱۰۸/۸۱
Therminol 66	۱۱/۱۴	۱۹/۲۲	۹۶/۸۶	۱۱۱/۴۷
Therminol VLT	۱۳/۹۱	۲۳/۹۸	۱۲۰/۸۶	۱۳۹/۱۰
Therminol D-12	۱۴/۷۵	۲۵/۴۴	۱۲۸/۲۰	۱۴۷/۵۵

شکل‌های ۸-۱۰ مشاهده می‌شود. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد با افزایش شدت تابش خورشید، راندمان انرژی و انرژی کلکتور کاهش و میزان گرمای منتقل شده از سیال عامل به کلکتور افزایش خواهد یافت. همچنین با افزایش دمای محیط، راندمان انرژی و نیز انرژی مفید کلکتور کاهش خواهد یافت.

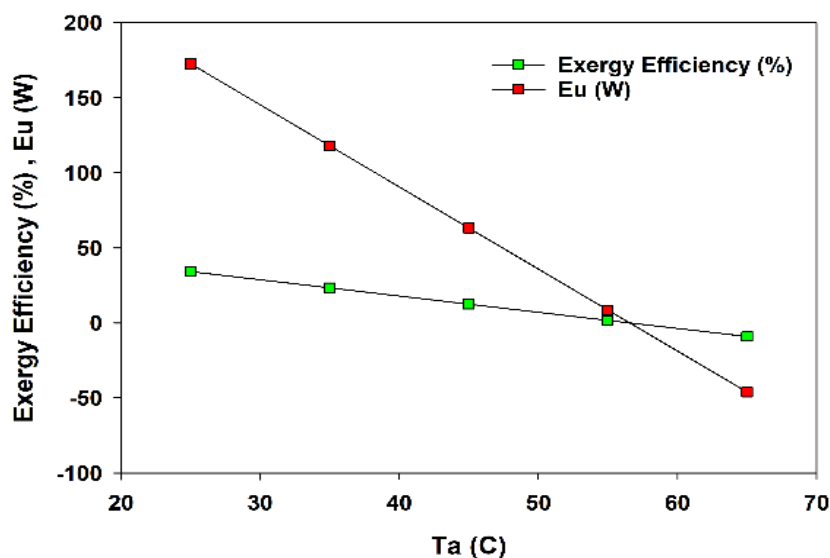
۶.۳. نتایج مربوط به بررسی تأثیر سایر پارامترها

در مقاله حاضر سعی شده تا علاوه بر بررسی عملکرد سیال عامل، سایر پارامترهای تأثیرگذار بر راندمان کلکتور خورشیدی صفحه مسطح نیز مورد بررسی قرار گیرد. از جمله این پارامترها می‌توان به شدت تابش خورشید و دمای محیط اشاره کرد که نتایج مربوط به آن‌ها در

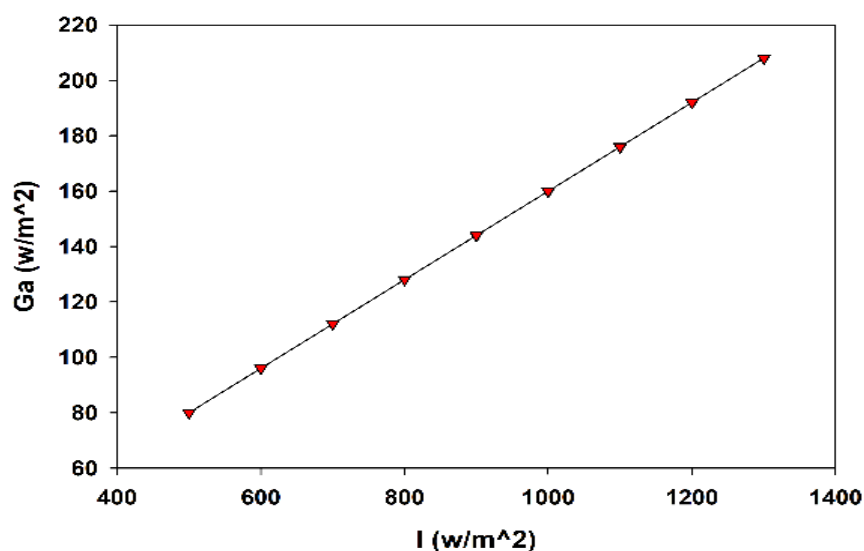


شکل ۸. نمودار تأثیر شدت تابش خورشید بر راندمان انرژی و انرژی کلکتور

احمدی: بررسی عملکرد حرارتی مایعات آلی و روغن‌های ترمینول بر راندمان انرژی و اگزرژی کلکتور ...



شکل ۹. نمودار تأثیر افزایش دمای محیط بر راندمان اگزرژی و اگزرژی مفید کلکتور



شکل ۱۰. نمودار تأثیر شدت تابش خورشید بر مقدار گرمای منتقل شده از کلکتور به سیال عامل

پایین‌تری برخوردارند که این نتیجه در جدول ۷ قابل مشاهده است.

جدول ۷. مقادیر میانگین راندمان انرژی و اگزرژی حاصل از انتخاب سیال عامل در مطالعه حاضر

Working Fluid	η_{en} (%)	η_{ex} (%)
Organic Liquids	۱۸/۲۹	۳۱/۵۴
Therminol Oils	۱۲/۶۷	۲۱/۸۵
Water	۲۷/۱۶	۴۶/۸۳

۷.۳. نتیجه مربوط به بررسی تأثیر سیال عامل بر راندمان

در بخش‌های پیشین عملکرد حرارتی مایعات آلی و روغن‌های ترمینول و نیز تأثیر سایر پارامترهای مؤثر بر راندمان این کلکتور خورشیدی ارائه شد با وجود اینکه نتایج نشان می‌دهد مایعات آلی در مقایسه با روغن‌های ترمینول از عملکرد حرارتی بهتری برخوردارند، اما همچنان در مقایسه با آب هر دو گروه از عملکرد حرارتی

۴. بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر، فقط یک تحقیق تئوری است که در آن با در نظر گرفتن مقادیر ارائه‌شده در جدول‌های ۱ و ۲ به بررسی عملکرد حرارتی سیالات مطرح شده و سایر پارامترهای موثر بر راندمان انرژی و انرژی پراکنش پرداخته شده است. نتایج به‌دست‌آمده از انتخاب این سیالات در مقاله حاضر نشان می‌دهد مایعات آلی در مقایسه با روغن‌های ترمینول دارای راندمان بیشتر و در جذب گرما از کلکتور و انتقال آن به سیال عامل عملکرد بهتری خواهند داشت و علت آن نیز پایین‌تر بودن گرمای ویژه مایعات آلی در دمای کاری مطرح‌شده است، زیرا این سیالات در دماهای مختلف دارای چگالی و گرمای ویژه متفاوتی هستند که تفاوت در خصوص گرمای ویژه می‌تواند بر نتایج به‌دست‌آمده و در نتیجه‌گیری‌ها تأثیر به‌سزایی گذارد. بنابراین مهم است که از سیالات نامبرده در چه دمایی استفاده می‌شود. همچنین با افزایش شدت تابش خورشید، راندمان انرژی و انرژی کلکتور کاهش و میزان گرمای منتقل‌شده از سیال عامل به کلکتور افزایش خواهد یافت و با افزایش دمای محیط، راندمان انرژی و انرژی کلکتور مفید کلکتور کاهش خواهد یافت. درخور یادآوری است که روغن‌های ترمینول در دماهای بالا به دلیل داشتن گرمای ویژه بالاتر نسبت به مایعات آلی، می‌توانند کارایی بیشتری از خود نشان دهند، اما چون این کلکتورها برای کار در دماهای پایین طراحی شده‌اند مشاهده می‌شود که مایعات آلی در مقایسه با روغن‌های ترمینول می‌توانند کارایی بهتری از خود نشان دهند. لذا بر اساس مقادیر ارائه‌شده در جدول ۷ می‌توان مایعات آلی را بعد از آب انتخاب مناسبی برای این کلکتورها دانست.

منابع

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128504000103>
- [4]. S. Mekhilef, R. Saidur, A. S.-R. and sustainable energy reviews, and undefined 2011, "A review on solar energy use in industries," *Elsevier*, Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110004533>
- [5]. A. Noghrehabadi, ... E. H.-C. in N. and, and undefined 2016, "An experimental investigation on the performance of a symmetric conical solar collector using SiO₂/water nanofluid," *chal.usb.ac.ir*, vol. 5, no. 1, pp. 23–29, 2017, doi: 10.7508/tpnms.2017.01.003.
- [6]. Y. Tian and C. Y. Zhao, "A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications," *Appl. Energy*, vol. 104, pp. 538–553, Apr. 2013, doi: 10.1016/J.APENERGY.2012.11.051.
- [7]. E. Zambolin, D. D. C.-S. Energy, and undefined 2010, "Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily conditions," *Elsevier*, Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X10001799>
- [8]. S. Chamoli, "Exergy analysis of a flat plate solar collector," *J. Energy South. Africa*, vol. 24, no. 3, pp. 8–13, 2013, doi: 10.17159/2413-3051/2013/v24i3a3137.
- [9]. R. M. Mostafizur, M. G. Rasul, and M. N. Nabi, "Energy and exergy analyses of a flat plate solar collector using various nanofluids: An analytical approach," *Energies*, vol. 14, no. 14, 2021, doi: 10.3390/en14144305.
- [10]. J. Duffie, W. Beckman, and N. Blair, *Solar engineering of thermal processes, photovoltaics and wind*. 2020. Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available: <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=4vXPDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR11&dq=Duffie,+J.A.,+W.A.+Beckman,+and+N.+Blair,+Solar+engineering+of+thermal+processes,+photovoltaics+and+wind.+2020:+John+Wiley+%26+Sons.&ots=kvvDXPmGMN&sig=zRrxDI2b4RLMfNhMp0YfT5HPgIc>
- [11]. M. Izquierdo, A. González-Gil, E. P.-A. Energy, and undefined 2014, "Solar-powered single-and double-effect directly air-cooled LiBr–H₂O absorption prototype built as a single unit," *Elsevier*, Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261914005236>
- [1]. A. Mwesigye, T. Bello-Ochende, and J. P. Meyer, "Numerical Investigation of Entropy Generation in a Parabolic Trough Receiver at Different Concentration Ratios", 2021.
- [2]. E. Bellos, C. T.-J. of T. A. and Calorimetry, and undefined 2019, "Thermal efficiency enhancement of nanofluid-based parabolic trough collectors," *Springer*, vol. 135, no. 1, pp. 597–608, Jan. 2018, doi: 10.1007/s10973-018-7056-7.
- [3]. S. K.-P. in energy and combustion science and undefined 2004, "Solar thermal collectors and applications," *Elsevier*, Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available:

- [12]. C. Dorfing, C. Hornung, ... B. H.-S. E. M., and undefined 2010, "The experimental response and modelling of a solar heat collector fabricated from plastic microcapillary films," *Elsevier*, Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024810001261>
- [13]. F. Incropera, D. DeWitt, T. Bergman, and A. Lavine, *Fundamentals of heat and mass transfer*. 1996. Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available: http://www.mid-contracting.com/sites/default/files/webform/careers_webform/_sid_/pdf-fundamentals-of-heat-and-mass-transfer-frank-p-incropera-david-p-dewitt-pdf-download-free-book-7841c05.pdf
- [14]. H. Taherian, A. Rezaia, S. Sadeghi, D. G.-E. C. and, and undefined 2011, "Experimental validation of dynamic simulation of the flat plate collector in a closed thermosyphon solar water heater," *Elsevier*, Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890410002840>
- [15]. A. Suzuki, "A fundamental equation for exergy balance on solar collectors," 1988, Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available: <https://asmedigitalcollection.asme.org/solarenergyengineering/article-abstract/110/2/102/418335>
- [16]. A. S.- Energy and undefined 1988, "General theory of exergy-balance analysis and application to solar collectors," *Elsevier*, Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0360544288900400>
- [17]. "Kotas, T., The Exergy Analysis Method of Thermal... - Google Scholar." https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Kotas%2C+T.%2C+The+Exergy+Analysis+Method+of+Thermal+Plant+Analysis%2C+Krieger.+Melbourne%2C+Australia%2C+1995.&btnG= (accessed Jul. 05, 2023).
- [18]. U. L.-P. A. S. M. and its Applications and undefined 2016, "Econophysics and biochemical engineering thermodynamics: The exergetic analysis of a municipality," *Elsevier*, Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437116303946>
- [19]. Z. Ge, H. Wang, H. Wang, S. Zhang, X. G.-Entropy, and undefined 2014, "Exergy analysis of flat plate solar collectors," *mdpi.com*, vol. 16, pp. 2549–2567, 2014, doi: 10.3390/e16052549.