

# شبیه‌سازی ریاضی یک گردآور خورشیدی غیرفعال جدید و ارزیابی عملکرد آن در سیستم‌های سرمایه‌گذاری گرمایی خورشیدی برای شرایط آب و هوایی مختلف ایران

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران،  
fereydoon.molani@gmail.com

فریدون مولانی

استاد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران،  
bmziapour@gmail.com

بهروز میرزایی ضیاپور\*

## چکیده

در کار حاضر، ابتدا به صورت عددی عملکرد یک گردآور خورشیدی غیرفعال جدید شبیه‌سازی شده، سپس تحلیل ترمودینامیکی سیستم‌های سرمایه‌گذاری گرمایی در سه حالت جذبی، اجکتوری و رانکین به مدل افزوده می‌شود. عملکرد این سیستم‌ها با دو شاخص کسر خورشیدی و ضریب عملکرد خورشیدی در شرایط آب و هوایی مختلف ایران ارزیابی شده است. نتایج نشان می‌دهد که بخش زیادی از انرژی مورد نیاز سیستم‌های سرمایه‌گذاری گرمایی از خورشید قابل تامین است و حتی در بعضی از ساعت‌های روز کل انرژی مورد نیاز را می‌توان از خورشید تامین نمود. در هر سه سیستم بیشترین درصد تامین انرژی مورد نیاز از خورشید و بالاترین ضریب عملکرد خورشیدی مربوط به آبادان و کمترین مقدار آنها مربوط به رامسر است. در سیستم جذبی با افزایش دمای ژنراتور کسر خورشیدی کاهش و ضریب عملکرد خورشیدی افزایش می‌یابد، اما در سیستم‌های اجکتوری و رانکین با افزایش دمای ژنراتور کسر خورشیدی و ضریب عملکرد خورشیدی افزایش می‌یابد. در هر سه سیستم با افزایش دمای تبخیرکن کسر خورشیدی و ضریب عملکرد خورشیدی افزایش یافته است.

**واژه‌های کلیدی:** سرمایه‌گذاری گرمایی، گردآور خورشیدی غیرفعال جدید، شرایط آب و هوایی مختلف.

## Mathematical simulation of a new passive solar collector and its performance evaluation in solar thermally driven cooling systems for different climate condition of Iran

F. Molani  
B. M.Ziapour

Department of Mechanical Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran  
Department of Mechanical Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

## Abstract

A numerical model of the new passive solar collector is performed, then the thermodynamic analysis of the thermal cooling systems is applied to the model in three systems: absorption, ejector, and Rankin for different climate condition of Iran, in this work. The results show that a large percentage of the energy required of the systems is available by the solar, even at some hours of the day; the total energy can be supplied by the solar. In all systems, the highest percentage of energy supplied by the solar and the highest solar coefficient of performance is related to Abadan and the lowest amount of it is related to Ramsar. In the absorption system, with the increase of generator temperature, the solar fraction decreases, and the solar coefficient of performance increases, but in the ejector and Rankin systems, the solar fraction and the solar coefficient of performance increases with the increase of generator temperature. In all systems, with the increase of evaporator temperature, the solar fraction and the solar coefficient of performance increase.

**Keywords:** Solar cooling, New passive solar collector, Different climate condition.

## ۱- مقدمه

عملکرد، آن را به عنوان اختراع بین‌المللی ثبت نموده‌اند [۷]. در پژوهش‌های قبلی امکان به‌کارگیری PVT غیرفعال به عنوان منبع تامین انرژی در سرمایه‌گذاری خورشیدی بررسی نشده است. در کار حاضر بناست بخشی از انرژی گرمایی سیستم‌های سرمایه‌گذاری خورشیدی توسط ICSS-PV تامین شود. به این منظور، ابتدا با نرم افزار EES [۸] معادلات گردآور به صورت عددی حل شده، سپس مدل سیستم‌های سرمایه‌گذاری در سه حالت جذبی، اجکتوری و رانکین به مدل افزوده می‌شود. عملکرد این سیستم‌ها در شرایط آب و هوایی ایران با استفاده از داده‌های تابشی چهار شهر مورد ارزیابی قرار گرفته، و در نهایت تاثیر دمای ژنراتور و تبخیرکن بر عملکرد این سیستم‌ها بررسی می‌شود.

رشد جمعیت و توسعه صنعتی از دلایل افزایش تقاضای انرژی است. حدود ۴۰٪ از مصرف انرژی در بخش ساختمان بوده، که ۱۴/۶٪ آن صرف سرمایه‌گذاری می‌شود [۱]. سرمایه‌گذاری خورشیدی تولید سرما از خورشید است. سرمایه‌گذاری خورشیدی یا برقی است و یا گرمایی. سرمایه‌گذاری دارای دو حالت جذبی و ترمومکانیکی است [۲]. ژای و همکاران [۳] سیستم سرمایه‌گذاری خورشیدی با ظرفیت ۴/۵ kW ساخته‌اند. امان و همکاران [۴] سرمایه‌گذاری جذبی با ظرفیت ۱۰kW را تحلیل نموده‌اند. پریدوس و لنکیست [۵] اجکتور خورشیدی را توسعه داده‌اند. در گردآور خورشیدی، گرما و در سلول فتوولتایی (PV)، برق تولید می‌شود و ترکیب آنها PVT نامیده می‌شود. گردآور خورشیدی یکپارچه که گردآور غیرفعال نامیده می‌شود، حالتی است که گردآور و مخزن در یک فضای فشرده شده‌اند. ضیاپور و همکاران [۶] به مقایسه عملکرد PVT غیرفعال (ICSS-PV) با دو PVT دیگر پرداخته و با بهبود دادن

## ۲- سیستم‌های سرمایه‌گذاری گرمایی خورشیدی

هر سیستم سرمایه‌گذاری گرمایی خورشیدی از دو سیستم خورشیدی و سرمایه‌گذاری تشکیل شده‌اند. سیستم خورشیدی شامل تعدادی گردآور

\* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: bmziapour@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۸/۲۰

#### ۴- مدل‌سازی ترمودینامیکی سیستم‌های سرمایه‌یابی

در این مدل‌سازی از فرض‌های زیر استفاده می‌شود: ۱- حالت کلیه فرایندها پایا و افت فشار و انتقال گرما ناچیز است؛ ۲- کمپرسور، منبسط کننده و پمپ دارای بازده ایزنتروپیک است؛ ۳- در سیستم جذبی محلول آب-آمونیاک در دما و فشار مربوطه در تعادل بوده و بخار خروجی از ژنراتور آمونیاک خالص است؛ ۴- در اجکتوری بازده نازل، اختلاط و دیفیوزر ثابت بوده و نسبت دبی جرمی اجکتور  $\omega = \dot{m}_g / \dot{m}_p$  است [۱۰]؛ معادله‌های پایستگی جرم و انرژی به صورت زیر است:

$$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out} \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{net,in} + \sum \dot{m}_{in} h_{in} = \dot{W}_{net,out} + \sum \dot{m}_{out} h_{out} \quad (2)$$

که  $\dot{m}$  دبی جرمی،  $h$  آنتالپی ویژه،  $\dot{Q}$  انتقال گرما و  $\dot{W}$  کار مکانیکی است. با اعمال روابط (۱) و (۲)، معادله‌های حاکم بر به شکل‌های ۱، ۲ و ۳ به دست می‌آید که در جدول ۱ خلاصه شده است.

مهمترین شاخص‌های یک سیستم سرمایه‌یابی خورشیدی عبارتند از: ضریب عملکرد (COP): بیانگر نسبت بار سرمایه‌یابی سیستم به کل انرژی مصرفی آن است [۱۱].

$$COP = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_{solar} + \dot{Q}_{aux}} \quad (3)$$

کسر خورشیدی (SF): نسبت انرژی گرمایی تامین شده توسط گردآور خورشیدی به کل انرژی مورد نیاز سیستم است [۱۱].

$$SF = \frac{\dot{Q}_{solar}}{\dot{Q}_{solar} + \dot{Q}_{aux}} \quad (4)$$

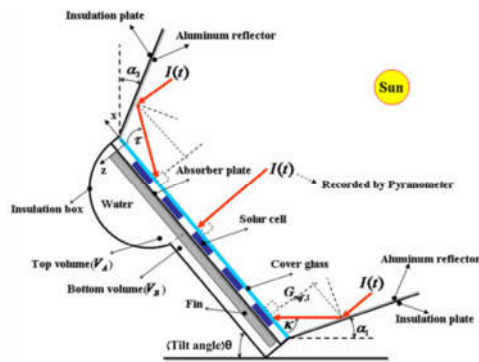
ضریب عملکرد خورشیدی ( $COP_{solar}$ ): این ضریب نسبت بار سرمایه‌یابی به کل انرژی ورودی است [۲].

$$COP_{solar} = \eta_{coll} \cdot COP \quad (5)$$

که  $\dot{Q}_e$ ،  $\dot{Q}_{solar}$  و  $\dot{Q}_{aux}$  به ترتیب بار سرمایه‌یابی، گرمای تامین شده توسط گردآور و گرمای تامین شده توسط گرمکن کمکی است.

#### ۵- نتایج و بحث

در این مقاله، پس از حل عددی PVT غیرفعال، مدل سیستم‌های سرمایه‌یابی به تحلیل افزوده شده است. نتایج شبیه‌سازی سیستم‌های جذبی، اجکتوری، تراکمی و رانکین کار حاضر با نتایج [۴، ۱۲ و ۱۳] در جدول ۲ مقایسه شده است که توافق خوبی بین نتایج وجود دارد.



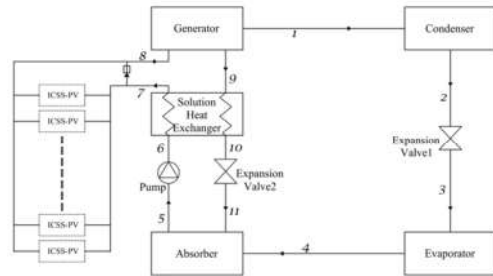
شکل ۴- طرحواره گردآور خورشیدی غیرفعال جدید

غیرفعال تغییر یافته و یک مبادله‌کن گرما ICSS-PV است. در سیستم سرمایه‌یابی از سه چرخه جذبی، اجکتوری و رانکین استفاده می‌شود.

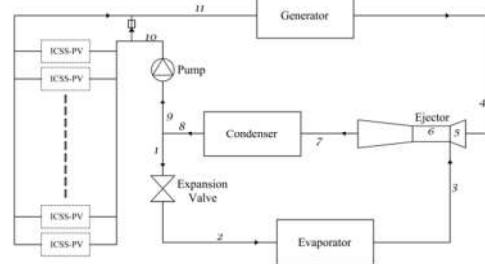
سیستم سرمایه‌یابی جذبی خورشیدی شامل یک چرخه سرمایه‌یابی جذبی آب-آمونیاک است. طرحواره این سیستم در شکل ۱ نشان داده شده است. اجزای این سیستم عبارتند از: گردآورهای خورشیدی، مبادله‌کن گرما ICSS-PV، مبادله‌کن گرما محلول، ژنراتور، تبخیرکن، چگالنده، جذب، پمپ و شیرهای انبساط. طرحواره سیستم سرمایه‌یابی اجکتوری خورشیدی در شکل ۲ آورده شده است. اجزای این سیستم عبارتند از: گردآورهای خورشیدی، مبادله‌کن گرما ICSS-PV، ژنراتور، تبخیرکن، چگالنده، اجکتور، پمپ و شیر انبساط. سیستم سرمایه‌یابی رانکین خورشیدی از دو چرخه رانکین با سیال عامل آلی (ORC) و چرخه تبرید تراکمی متداول (VCC) تشکیل شده است. اجزای این سیستم عبارتند از: گردآورهای خورشیدی، مبادله‌کن گرما ICSS-PV، ژنراتور، تبخیرکن، چگالنده‌ها، منبسط کننده، کمپرسور، پمپ و شیر انبساط. طرحواره این سیستم در شکل ۳ نشان داده شده است.

#### ۳- گردآور خورشیدی غیرفعال جدید

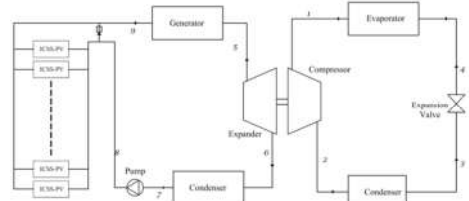
در شکل ۴ طرحواره گردآور خورشیدی غیرفعال آورده شده است. اجزای این گردآور عبارتند از: پوشش شیشه‌ای، سلول‌های PV؛ صفحه جذب؛ صفحه‌های بازتابنده و مخزن. روابط حاکم بر PVT غیرفعال در مقاله قبلی ما [۹] آورده شده و در اینجا از تکرار آن خودداری می‌شود.



شکل ۱- طرحواره سیستم سرمایه‌یابی جذبی خورشیدی



شکل ۲- طرحواره سیستم سرمایه‌یابی اجکتوری خورشیدی

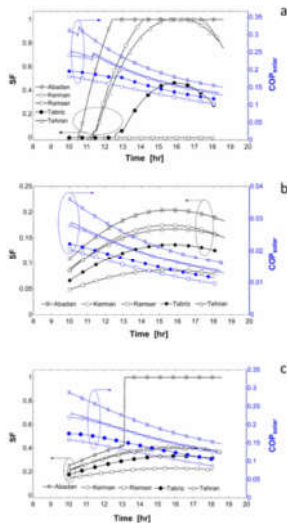


شکل ۳- طرحواره سیستم سرمایه‌یابی رانکین خورشیدی

جدول ۱- معادله‌های بایستگی جرم و انرژی حاکم بر سیستم‌های سرمایش خورشیدی

سیستم جذب	سیستم اجکتوری	سیستم رانکین
تبخیرکن	تبخیرکن	تبخیرکن
$\dot{Q}_e = \dot{m}_4(h_4 - h_3)$	$\dot{Q}_e = \dot{m}_s(h_3 - h_2)$	$\dot{Q}_e = \dot{m}_{vcc}(h_1 - h_4)$
ژنراتور	ژنراتور	ژنراتور
$\dot{Q}_{aux} = \dot{m}_4h_1 + \dot{m}_1h_9 - \dot{m}_5h_8$	$\dot{Q}_{aux} = \dot{m}_p(h_{12} - h_{11})$	$\dot{Q}_{aux} = \dot{m}_{orc}(h_5 - h_9)$
ICSS-PV	ICSS-PV	ICSS-PV
$\dot{Q}_{solar} = \dot{m}_5(h_8 - h_7)$	$\dot{Q}_{solar} = \dot{m}_p(h_{11} - h_{10})$	$\dot{Q}_{solar} = \dot{m}_{orc}(h_9 - h_8)$
مبادله‌کن گرما	اجکتور	منبسط کننده
$T_{10} = \eta_{hex}T_6 + (1 - \eta_{hex})T_9$	$\eta_{ln} = \frac{h_4 - h_5}{h_4 - h_{5s}}$	$\eta_{exp} = \frac{h_6 - h_5}{h_{6s} - h_5}$
محلول		
$\dot{m}_5(h_7 - h_6) = \dot{m}_{11}(h_9 - h_{10})$	$h_7 = \frac{1}{\omega + 1}h_4 + \frac{\omega}{\omega + 1}h_3$	$\dot{W}_{exp} = \dot{m}_{orc}(h_5 - h_6)$
جاذب		کمپرسور
$\dot{m}_5 = \dot{m}_4 + \dot{m}_{11}$	$\eta_m = (u_6'/u_6)^2$	$\eta_c = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$
$X_5\dot{m}_5 = \dot{m}_4 + X_{11}\dot{m}_{11}$	$\eta_d = \frac{h_6 - h_{7s}}{h_6 - h_7}$	$\dot{W}_c = \dot{m}_{vcc}(h_2 - h_1)$
$\dot{Q}_{abs} = \dot{m}_4h_4 + \dot{m}_{11}h_{11} - \dot{m}_5h_5$		

افزایش دمای ژنراتور، کسر خورشیدی کاهش و ضریب عملکرد خورشیدی افزایش می‌یابد. در سیستم‌های اجکتوری و رانکین با افزایش دمای ژنراتور، کسر خورشیدی و ضریب عملکرد خورشیدی افزایش می‌یابد. سیستم جذب در همه شهرها به جز رامسر کارایی بهتری دارد بطوری که در آبادان و کرمان با دمای ژنراتور ۷۰°C تقریباً مستقل از انرژی کمکی است. در شکل‌های ۶ و ۹ مشاهده می‌شود که نمودار کسر خورشیدی به صورت جهشی به مقدار یک رسیده و کل انرژی گرمایی مورد نیاز سیستم از خورشید تامین شده است. اثر دمای تبخیرکن بر کسر خورشیدی و ضریب عملکرد خورشیدی این سیستم‌ها در شکل‌های ۱۰-۱۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش دمای تبخیرکن کسر خورشیدی و ضریب عملکرد خورشیدی هر سه سیستم افزایش یافته است. در چرخه رانکین تاثیر دمای تبخیرکن بر کسر خورشیدی ناچیز است.



شکل ۵- کسر خورشیدی و ضریب عملکرد سیستم‌های سرمایشی در شهرهای مختلف، حالت: (a) جذب، (b) اجکتوری، (c) رانکین

سیال عامل در چرخه‌های اجکتوری، ORC و VCC به ترتیب R123، R245fa و R134a است. شرایط کاری سیستم‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. جهت ارزیابی عملکرد سیستم‌ها در شرایط آب و هوایی ایران شهرهای آبادان، تبریز، رامسر و کرمان انتخاب شده‌اند. ضریب عملکرد این سیستم‌ها در حالت جذب، اجکتوری و رانکین ۰/۶۲۰، ۰/۹۴ و ۰/۶۲۸ است. کسر خورشیدی و ضریب عملکرد خورشیدی سیستم‌ها در شکل ۵ آورده شده است. در سیستم جذب سهم انرژی خورشید بیشتر است، به گونه‌ای که در بعضی از ساعت‌های روز کسر خورشیدی به عدد یک می‌رسد، یعنی کل انرژی مورد نیاز از انرژی خورشید تامین می‌شود. در سیستم رانکین نیز این امکان وجود دارد، اما در سیستم اجکتوری سهم انرژی خورشید حداکثر ۲۰٪ است. به جز رامسر کسر خورشیدی سیستم جذب از دو سیستم دیگر بزرگتر است.

جدول ۲- مقایسه نتایج شبیه‌سازی کار حاضر با نتایج دیگران

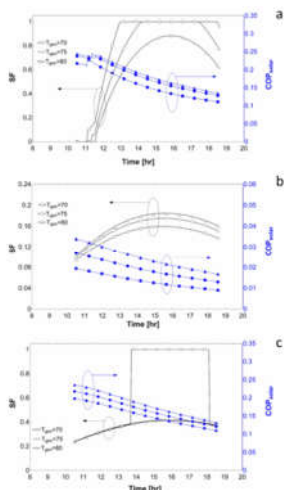
چرخه	پارامتر	کار حاضر	کار دیگران
سرمایش جذب	بار گرمایی تبخیرکن (kW)	۱۰/۰	[۴]
	بار گرمایی ژنراتور (kW)	۱۵/۲	[۴]
سرمایش اجکتوری	بار گرمایی تبخیرکن (kW)	۱۷۵/۰	[۱۲]
	توان کمپرسورها (kW)	۱۱۳/۴	[۱۲]
سرمایش تراکمی	بار گرمایی تبخیرکن (kW)	۱۷۵/۰	[۱۲]
	توان کمپرسورها (kW)	۱۲۱/۳	[۱۲]
تولید توان رانکین	بار گرمایی تبخیرکن (kW)	۲۵۲/۰	[۱۳]
	توان توربین (kW)	۵۱/۴۳	[۱۳]

جدول ۳- پارامترهای مورد نیاز شبیه‌سازی سیستم‌های سرمایشی

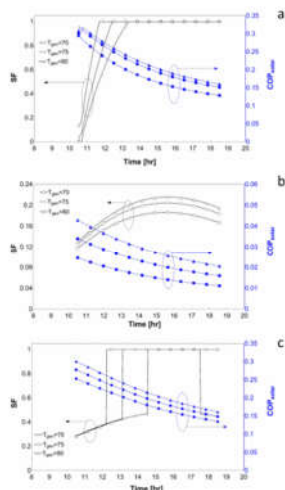
پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
$\dot{Q}_c$ (kW)	۱۰/۰	$\eta_c$	۰/۸۰	مقدار	۰/۸۰
$T_c$ (°C)	۰/۰	$\eta_{exp}$	۰/۸۵	مقدار	۰/۹۵
$T_{gen}$ (°C)	۷۵/۰	$\eta_{hex}$	۰/۸۰	مقدار	۰/۸۰
$T_a$ و $T_c$ (°C)	۳۰/۰	$\eta_p$	۰/۹۰	مقدار	

### ۱-۵- تاثیر دمای ژنراتور و تبخیرکن

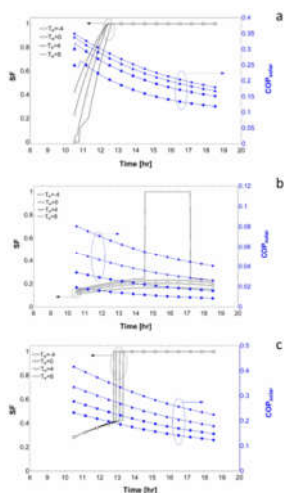
اثر دمای ژنراتور بر کسر خورشیدی و ضریب عملکرد خورشیدی این سیستم‌ها در شکل‌های ۶-۹ آورده شده است. در سیستم جذب با



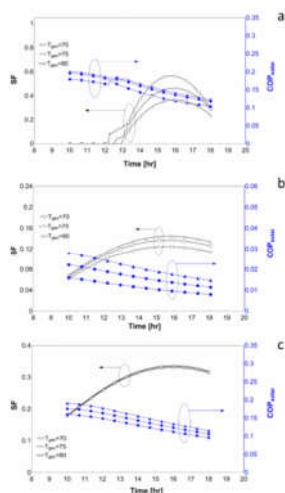
شکل ۹- تاثیر دمای ژنراتور بر عملکرد سیستم‌های سرمایش خورشیدی در شهر کرمان، حالت: (a) جذبی، (b) اجکتوری، (c) رانکین



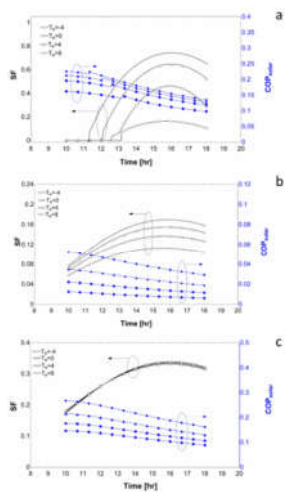
شکل ۶- تاثیر دمای ژنراتور بر عملکرد سیستم‌های سرمایش خورشیدی در شهر آبادان، حالت: (a) جذبی، (b) اجکتوری، (c) رانکین



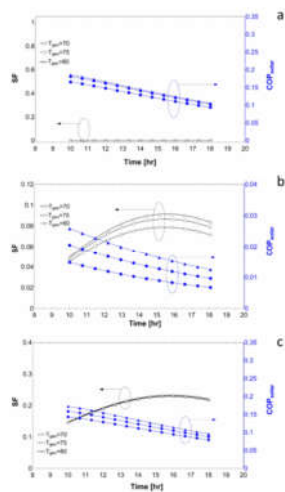
شکل ۱۰- تاثیر دمای تبخیرکن بر عملکرد سیستم‌های سرمایش خورشیدی در شهر آبادان، حالت: (a) جذبی، (b) اجکتوری، (c) رانکین



شکل ۷- تاثیر دمای ژنراتور بر عملکرد سیستم‌های سرمایش خورشیدی در شهر تبریز، حالت: (a) جذبی، (b) اجکتوری، (c) رانکین



شکل ۱۱- تاثیر دمای تبخیرکن بر عملکرد سیستم‌های سرمایش خورشیدی در شهر تبریز، حالت: (a) جذبی، (b) اجکتوری، (c) رانکین



شکل ۸- تاثیر دمای ژنراتور بر عملکرد سیستم‌های سرمایش خورشیدی در شهر رامسر، حالت: (a) جذبی، (b) اجکتوری، (c) رانکین

## ۶- نتیجه گیری

در کار حاضر امکان بکارگیری گردآورهای PVT غیرفعال جهت تامین انرژی سیستم‌های سرمایش گرمایی در چهار شهر با شرایط آب و هوایی مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد، در سیستم جذبی سهم انرژی خورشید بیشتر است، به گونه‌ای که در بعضی از ساعت‌های روز کسر خورشیدی به عدد یک می‌رسد و کل انرژی مورد نیاز از خورشید تامین می‌شود. در سیستم رانکین نیز این امکان وجود دارد، اما در سیستم اجکتوری سهم انرژی خورشید حداکثر ۲۰٪ است. در هر سه سیستم بیشترین درصد تامین انرژی مورد نیاز از خورشید مربوط به آبادان و کمترین مقدار آنها مربوط به رامسر است.

## ۷- نمادها

h آنتالپی ویژه ( J/Kg )  
T دما ( °C )

u سرعت ( m/s )

### علائم یونانی

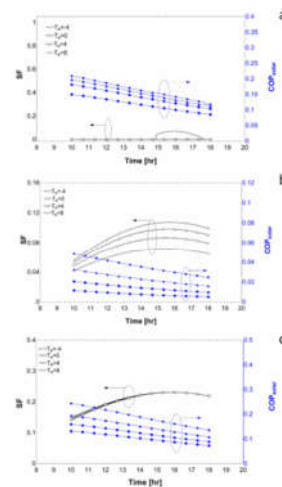
$\eta_c$	بازده اینتروپیک کمپرسور (-)
$\eta_{coll}$	بازده گرمایی گردآور (-)
$\eta_d$	بازده دیفیوزر اجکتور (-)
$\eta_{exp}$	بازده اینتروپیک منبسط کننده (-)
$\eta_{hex}$	بازده گرمایی مبادله‌کن گرما (-)
$\eta_m$	بازده اختلاط اجکتور (-)
$\eta_n$	بازده نازل اجکتور (-)
$\eta_p$	بازده اینتروپیک پمپ (-)

### زیر نویس

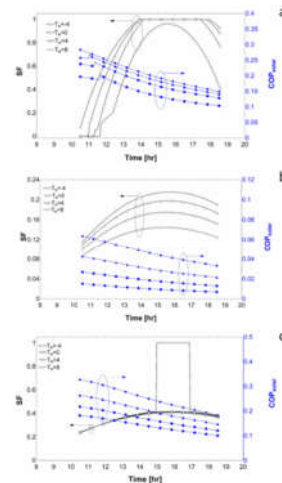
abs	جاذب
c	گردآور یا چگالنده

## ۸- مراجع

- [1] Nugent, N. and Rhinard M., The European commission, *Macmillan International Higher Education*, 2015.
- [2] Zeyghami, M., Goswami, D.Y. and Stefanakos, E., A review of solar thermo-mechanical refrigeration and cooling methods. *Ren & Sus Energy Rev*, 51, 1428-1445, 2015.
- [3] Zhai, X., Li, Y., Cheng, X. and Wang, R., Experimental Investigation on a Solar-powered Absorption Radiant Cooling System. *Energy Procedia*, 70, 552 – 559, 2015.
- [4] Aman, J., Ting, D.K. and Henshaw, P., Residential solar air conditioning: Energy and exergy analyses of an ammonia-water absorption cooling system. *Applied Thermal Engineering*, 62, 424-432, 2014.
- [5] Pridasawas, W. and Lundqvist, P., A year-round dynamic simulation of a solar-driven ejector refrigeration system with iso-butane a refrigerant. *Inter Jour of Ref*, 30, 840-850, 2007.
- [6] Ziapour, B.M., Palideh, V. and Mokhtari, F., Performance improvement of the finned passive PVT system using reflectors like removable insulation covers. *Applied Thermal Engineering*, 94, 341-349, 2016.
- [7] Ziapour, B.M. and Palideh V., Finned passive pvt system with adjustable angle insulating reflectors, *US 2017/0040930 A1*, 2017.
- [8] Klein A., *Engineering Equation Solver (EES)*, F-Chart Software, Madison, WI, 2012.
- [9] Molani, F., Ziapour, B.M., Performance Analyses of Ammonia-Water Absorption Cooling Cycle Combined with Enhanced Passive PVT System. *J Energy Eng*. 145, (2019).
- [10] Yari, M. and Sirousazar, M., Cycle improvements to ejector expansion transcritical CO2 two-stage refrigeration cycle. *Int. J. Energy Res*, 32, 677-687, 2008.
- [11] Al-Alili, A., Hwang, Y., Radermacher, R. and Kubo, I. Optimization of a solar powered absorption cycle under Dhahi weather condition. *Solar Energy*, 84, 2034-2040, 2010.
- [12] Dokandari, A., Hagh, S. and Mahmoudi, S., Thermodynamic investigation and optimization of novel ejector- expansion CO2/NH3 cascade refrigeration cycles. *International journal of Refrigeration*, 46, 26-36, 2014.
- [13] Safarian, S. and Aramoun, F., Energy and exergy assessments of modified organic Rankine cycles (ORCs). *Energy reports*, 1, 1-7, 2015.



شکل ۱۲- تاثیر دمای تبخیرکن بر عملکرد سیستم‌های سرمایش خورشیدی در شهر رامسر، حالت: (a) جذبی، (b) اجکتوری، (c) رانکین



شکل ۱۳- تاثیر دمای تبخیرکن بر عملکرد سیستم‌های سرمایش خورشیدی در شهر کرمان، حالت: (a) جذبی، (b) اجکتوری، (c) رانکین