

## شبیه سازی و تحلیل ترموآکونومیک تبرید تراکمی خورشیدی با ردیاب در شهر اصفهان توسط ترنسیس

علیرضا رئوف پناه<sup>۱</sup>

استادیار

سیدهدادی سید<sup>۲</sup>

دانشجوی کارشناسی ارشد

سیستم تبرید تراکمی خورشیدی برای ماه‌ها و دماهای مختلف تبخیر در اصفهان مورد بررسی قرار گرفته و توسط نرم‌افزار ترنسیس شبیه‌سازی شده است. ظرفیت بار سرمایشی ساعتی از یک ساختمان نمونه در روزهای مختلف توسط داده‌های هواشناسی مشخص شده است. ساعات افزایش حرارت کلی از ساختمان نمونه و نیز تغییرات ساعتی پارامترهای مختلف از قبیل ضریب عملکرد، ظرفیت کندانسور و مصرف برق کمپرسور و کسر خورشیدی محاسبه شده است. حداقل مساحت سطح پنل فتوولتائیک برای پاسخ‌گویی به تقاضای برق کمپرسور تعیین شده و با انجام محاسبات اقتصادی مشخص شد که اضافه‌کردن سیستم خورشیدی، صرفه اقتصادی دارد. همچنین در مصرف سالانه کربن به مقدار ۱۲۴۱ کیلوگرم برای سرمایش صرفه جویی می‌شود.

واژه‌های راهنما: شبیه‌سازی، ترموآکونومیک، تبرید تراکمی خورشیدی، ردیاب، ترنسیس

### ۱- مقدمه

روند رو به رشد دمای محیط زیست بر نیازهای (الزامات) تهویه مطبوع در آینده تاثیر خواهد گذاشت [۱ و ۲]. انتشار گازهای گلخانه‌ای به طور مداوم باعث گرم‌تر شدن کره زمین می‌شود و ممکن است تقاضا برای تهویه مطبوع در آینده افزایش یابد [۳]. بنابراین، به حداقل رساندن مصرف سوخت‌های فسیلی و ترویج گسترده‌تر استفاده از انرژی خورشیدی، به ویژه در تبرید و تهویه مطبوع ضروری است [۴]. از آنجا که تقاضای سرمایش با شدت تابش خورشیدی افزایش می‌یابد، سرمایش خورشیدی به عنوان یک راه حل منطقی در نظر گرفته شده است [۵]. سیستم فتوولتائیک مناسب‌ترین سیستم برای دستگاه‌های تبرید با ظرفیت کوچک است که برای نگهداری غذا یا کاربردهای پزشکی در زمینه‌های منابع انرژی متعارف استفاده می‌شود، که در آن سطح بالایی از تابش خورشیدی موجود است.

<sup>۱</sup>نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی<sup>(ه)</sup>، شهرری، تهران، ایران

meshkat.mt@gmail.com

<sup>۲</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی<sup>(ه)</sup>، شهرری، تهران، ایران

hadiseyyed@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۱۰، تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۶/۰۲

سرمایش خورشیدی تلفیقی از سیکل تبرید تراکمی با انرژی خورشیدی است. نحوه عملکرد این سیستم به این صورت است که انرژی خورشید توسط پنل‌های فتوولتائیک، دریافت و به سمت اینورتر هدایت می‌شود. به این ترتیب برق خروجی از اینورتر، کمپرسور را به جریان می‌اندازد. اجزای اصلی سیستم‌های فتوولتائیک، پنل خورشیدی، باتری، رگولاتور و بار الکتریکی هستند. پنل خورشیدی مسئول دریافت و جمع‌آوری انرژی خورشیدی و تولید برق است. باتری، انرژی الکتریکی تولید شده را برای مصارف بعدی ذخیره نموده و رگولاتور، کارکردن باتری و پنل را با هم در یک روش بهینه تضمین می‌نماید. بار الکتریکی اشاره به هر وسیله مصرف‌کننده انرژی الکتریکی دارد و مجموع توان تمام مصرف‌کننده‌های متصل به سیستم می‌باشد. پنل خورشیدی و باتری از برق سیستم DC استفاده می‌کنند. در صورتی که ولتاژ عملکردی تجهیزات مطابق ولتاژ باتری نباشد (متفاوت باشند) به مبدل DC/DC نیاز خواهیم داشت و چنانچه تجهیزات نیاز به برق AC داشته باشند لازم است مبدل DC/AC داشته باشیم [۶].

فرآیند مبرد در اواپراتور جوشش است. در طی این فرآیند مخلوط مایع و بخار مبرد که در فشار و دمای پایین وارد اواپراتور شده، با جذب حرارت از محیط سرد به بخار تبدیل می‌شود. به شرط عدم تغییر فشار در طی فرآیند فوق، دما نیز ثابت می‌ماند. بنابراین، دمای مبرد خروجی اواپراتور با دمای ورودی آن برابر خواهد بود. سپس این مبرد به صورت بخار وارد کمپرسور می‌شود و کمپرسور در یک سیستم برودتی تراکمی وظیفه مکش گاز از اواپراتور، افزایش فشار و انتقال آن به کندانسور را دارد. مبرد در کمپرسور متراکم می‌شود که در طی این فرآیند، دما و فشار گاز مبرد در کمپرسور افزایش می‌یابد. مبرد خروجی کمپرسور، یک گاز داغ پرفشار در فاز مافوق گرم است که وارد کندانسور می‌شود. وظیفه کندانسور در یک سیستم تبرید، دفع حرارت جذب‌شده در اواپراتور به محیط یا به عبارتی خنک کردن بخار است. البته برای دفع حرارت جذب شده در اواپراتور (منبع دما پایین) به محیط (منبع دما بالا) به صرف توان در کمپرسور نیاز است، که این توان از انرژی خورشید تامین می‌گردد. حرارت دفع‌شده در کندانسور، مجموع حرارت جذب شده در اواپراتور و توان مصرفی در کمپرسور است. فرآیند مبرد در کندانسور تقطیر است. در کندانسور حرارت از مبرد داغ گرفته شده و باعث کاهش دما و سپس تقطیر آن می‌شود. سپس مایع پرفشار آماده ورود به شیر انبساط و تکرار مرحله قبلی است. وظیفه شیر انبساط کاهش فشار مبرد از فشار کندانسور به فشار اواپراتور و تنظیم دبی مبرد است. با عبور مایع مبرد تحت فشار از شیر انبساط، فشار آن به تدریج کاهش می‌یابد تا از فشار کندانسور به فشار اواپراتور برسد. فشار و دمای مایع پرفشار خروجی از کندانسور با عبور از شیر انبساط، کاهش یافته و به صورت مخلوطی از مایع و بخار وارد اواپراتور می‌شود. هنگامی که سرمایش موردنیاز است، مبرد مایع فشرده ذخیره شده درون اواپراتور منبسط می‌شود که اثر سرمایش را ایجاد کند [۷ و ۸].

تهویه مطبوع خورشیدی مسکونی با سیستم تبرید تراکمی فتوولتائیک به عنوان یک برنامه‌ی کاربردی، توسط هرناندز [۹] در سال (۲۰۱۵)، در نظر گرفته شده است. مشخصات بار سرمایشی برای یک خانه معمولی آمریکایی در یک روز تابستان در دو موقعیت محاسبه شده و عملکرد و پارامترهای طراحی سیستم تهویه مطبوع خورشیدی با ذخیره‌سازی تخمین زده شده‌اند. وی همچنین راندمان، ضریب عملکرد و بار سرمایشی را مورد بررسی قرار داده است.

در نتیجه سیستم تبرید تراکمی خورشیدی قادر است به طور کامل بار سرمایشی را برای کاربرد مسکونی برآورده کند، و دارای یک ضریب کلی عملکرد برای مقایسه با سیستم‌های سرمایش خورشیدی دیگر است. لازارین [۱۰] در سال (۲۰۱۳) استفاده از انرژی خورشیدی به صورت پنل‌های فتوولتائیک و گرمایش آب را مورد بررسی قرار داد و اذعان داشت گسترده‌ترین گزینه‌ها چیلرهای تراکمی فتوولتائیک هستند.

چین [۱۱] در سال (۲۰۱۵) عملکرد تجاری در دسترس ۱۷۰ Kw چیلر تراکمی بخار را با سه پیکربندی معادل (موازی، سری و ترکیب سری- موازی) VCAIRS (سیستم تبرید یکپارچه جذبی- تراکمی بخار) بر اساس آنالیز انرژی ترکیب شده، انرژی، اقتصادی و زیست محیطی مقایسه کرده است. این پیکربندی مصرف برق در کمپرسور را به ترتیب تا ۵۰، ۷۶،۸ و ۸۸،۳ درصد و در نتیجه مقدار قابل توجهی از انتشار CO<sub>2</sub> را کاهش می‌دهد. فریرا [۱۲] در سال (۲۰۱۳) مطرح کرد که اگر همه سیستم‌های گرمایش و سرمایش توسط انرژی خورشیدی رانده شود، انرژی خورشیدی می‌تواند تا ۱۰٪ از تقاضای انرژی در کشورهای سازمان همکاری اقتصادی و توسعه<sup>۱</sup> (OECD) پاسخ‌گو باشد.

این مقاله مسائل مربوط به سیستم‌های سرمایش برای ساختمان‌های مسکونی و همگانی در جنوب و شمال اروپا را مطرح می‌کند. گزینه‌های مختلفی برای تبدیل انرژی خورشیدی به اثر خنک‌کننده در دسترس است. با این حال ایشان نتیجه گرفتند که در حال حاضر سیکل‌های تراکمی بخار در ترکیب با کلکتورهای PV به جذاب‌ترین راه حل های اقتصادی منجر می‌شوند. در این مقاله عملکرد سیستم تبرید تراکمی بخار طراحی شده توسط سیستم انرژی خورشیدی برای شهر اصفهان و استفاده از سلول‌های خورشیدی برای تامین برق مصرفی یک چیلر تراکمی، تحلیل ترموآکونومیک سیکل مربوطه و امکان سنجی ساخت آن توسط نرم افزار ترنسیس<sup>۲</sup> مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۲- شبیه سازی سیستم

محاسبات بار سرمایش ساختمان اولین قدم در تعیین عملکرد کلی سیستم‌های سرمایش تراکمی است. محل مورد نظر برای انجام شبیه‌سازی‌ها شهر اصفهان است که موقعیت جغرافیایی آن به ترتیب در عرض و طول جغرافیایی 32°38' شمالی و 51°39' شرقی واقع شده است. محاسبات بار حرارتی ساختمان طبق جدول (۱) انجام شده است.

عملکرد سیستم در حالت‌های مختلف بررسی شده است و پارامترهای مورد بررسی عبارتند از: مساحت کلکتور- دمای تنظیم چیلر و برخی از مشخصات کلی سیستم سرمایش در جدول (۲) آورده شده‌اند:

<sup>1</sup> Organisation for Economic Co-operation and Development

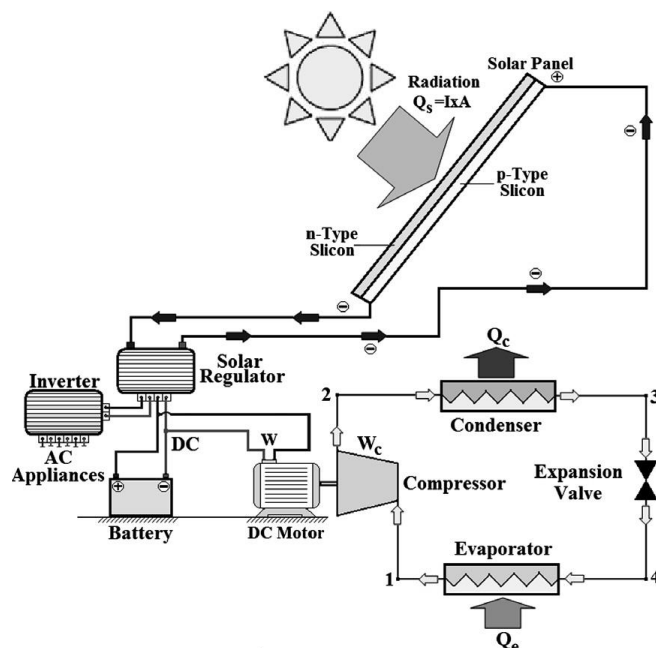
**جدول ۱-** پارامترها و مشخصات محاسبه بار حرارتی ساختمان

|                                      |                             |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| مساحت ساختمان (مترمربع)              | ۶۲۵ m <sup>2</sup>          |
| اندازه پنجره ها                      | شمال و شرق (۱۰) - جنوب (۲۴) |
| حداکثر تابش در تابستان               | ۱۱۱۳ w/m <sup>2</sup>       |
| حداکثر دمای هوا در تابستان           | ۴۱ C                        |
| حداکثر دمای هوا در زمستان            | -۱۱ C                       |
| دمای طرح داخل در تابستان             | ۲۶ C                        |
| دمای طرح داخل در زمستان              | ۲۰ C                        |
| مقدار استاندارد نفوذ هوا- نفوذ طبیعی | ۱ بار بر ساعت               |
| نفوذ به واسطه نشت هوا                | ۰/۱۶ در ساعت                |
| حداکثر توان گرمایشی                  | ۸۸۳۰۰ (kj/hr)               |
| حداکثر توان سرمایشی                  | ۹۳۸۰۰ (kj/hr)               |
| بار سرمایشی سالانه                   | ۳۱۶۶۷ kwh                   |
| حداکثر بار سرمایشی روزانه            | ۳۸۰ kwh                     |

**جدول ۲-** مشخصات کلی سیستم سرمایش

|                               |                 |
|-------------------------------|-----------------|
| بیشترین دمای داخل ساختمان     | ۲۶ C            |
| کمترین دمای داخل ساختمان      | ۲۰ C            |
| دمای تنظیم چیلر               | ۷-۵-۳ C         |
| مساحت کلکتور m <sup>2</sup>   | ۱۱۲-۹۹-۷۴-۴۹-۳۷ |
| حداکثر توان مصرفی سیکل تراکمی | ۳۲۰۰۰ kj/hr     |

نمایی از شماتیک سیستم تبرید تراکمی برق- بخار خورشیدی، در شکل (۱) نشان داده شده است. همان طور که در این شکل مشخص شده، سیستم خورشیدی- مکانیکی عمدتاً شامل سیستم فتوولتائیک و یک دستگاه خنک کننده الکتریکی است که مطابق با سیکل تراکمی بخار کار می کند [۱۳ و ۱۴].



شکل ۱ - قطعات سیستم تبرید تراکمی برق- بخار خورشیدی

در این تحقیق ابتدا حالت گذاری سیستم سرمایشی تراکمی خورشیدی برای یک ساختمان مسکونی به وسیله نرم افزار ترنسیس شبیه سازی می شود و تاثیر تغییر پارامترهای مختلف مانند شیب کلکتور، مساحت کلکتور، دمای تنظیمی چیلر روی عملکرد سیستم از منظر انرژی و اقتصادی مورد بررسی قرار می گیرد و سپس پارامترهای اقتصادی و کسر خورشید در مورد سیستم بررسی خواهند شد [۱۷-۱۵].

تمامی این موارد در نرم افزار ترنسیس به منظور تحلیل ترمودینامیک و همچنین مقادیر مصرف و نحوه عملکرد هر یک از اجزا تجزیه و تحلیل و مدل سازی می شوند. به این ترتیب برق مورد نیاز کمپرسور با استفاده از سلول های خورشیدی تامین می گردد. البته قابل ذکر است که انرژی خورشیدی همیشه نیاز سیستم را به طور ۱۰۰٪ تامین نمی کند و در این گونه سیکل ها از یک منبع کمکی برای جبران انرژی استفاده می شود. [۱۸]

عملکرد چیلر بر اطلاعات کاتالوگ که از فایل های اطلاعات خارجی تهیه شده است، متکی می باشد. [۱۹]

$$COP_{nom} = COP_{rated} * COP_{ratio} \quad (۱)$$

$$Capacity = Capacity_{rated} * Capacity_{ratio} \quad (۲)$$

$$\dot{Q}_{load} = \dot{m} * C_p (T_{chw,in} - T_{chw, set}) \quad (۳)$$

$$PLR = \frac{\dot{Q}_{load}}{Capacity} \quad (۴)$$

$$P = \frac{\text{Capacity}}{\text{COP}_{\text{nom}}} \text{FFLP} \quad (۵)$$

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_{\text{met}}}{P} \quad (۶)$$

$$\dot{Q}_{\text{rejected}} = \dot{Q}_{\text{met}} + P \quad (۷)$$

$$T_{\text{chw, out}} = T_{\text{chw, in}} - \frac{\dot{Q}_{\text{met}}}{\dot{m}C_p} \quad (۸)$$

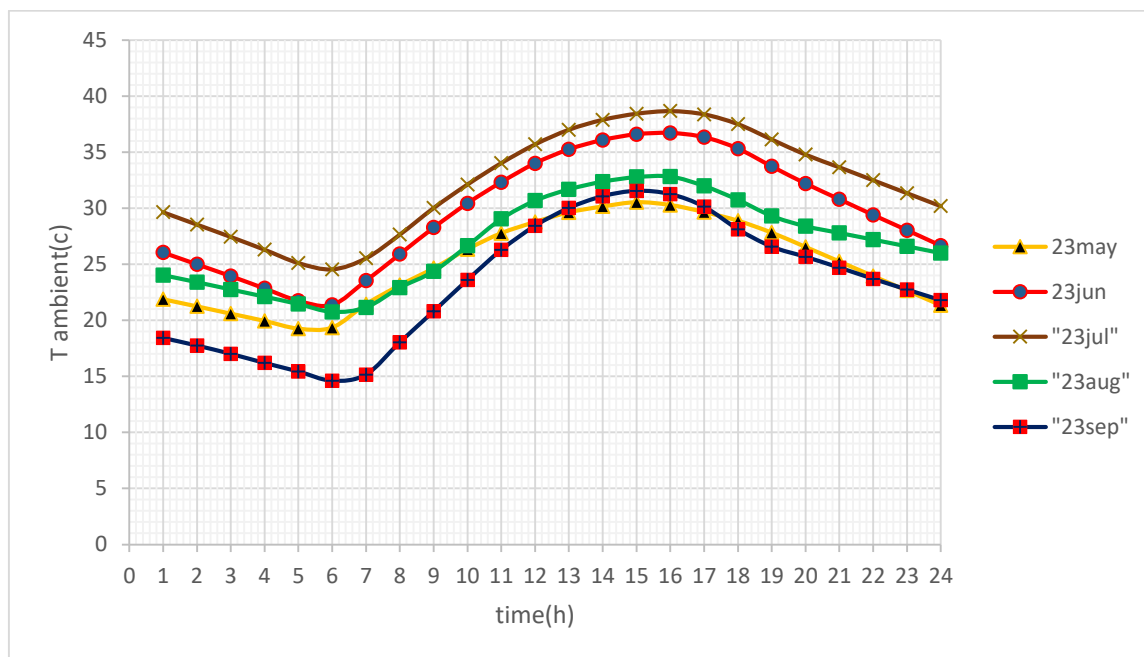
سیستم سرمایه‌ش تراکمی خورشیدی از یک محرک اولیه توان- خورشیدی برای راندن سیستم تهویه هوای معمولی بهره می‌گیرد. سیستم موردنظر در این مطالعه به طور عمده از پنل‌های خورشیدی، دنبال‌کننده خورشیدی، باتری، اینورتر و تنظیم‌کننده و یک دستگاه سرمایه‌ش الکتریکی تشکیل شده است. انرژی الکتریکی تولیدشده توسط پنل‌های فتوولتائیک در باتری ذخیره شده است و نیاز انرژی الکتریکی کمپرسور از این باتری تامین می‌گردد. تحت شرایط پیش از شارژ و تخلیه باتری، یک تنظیم‌کننده برای محافظت از باتری استفاده شده است. برای شبه‌سازی تمامی قسمت‌های سیستم موردنظر، از اجزاء موجود در نرم‌افزار ترنسیس استفاده شده است.

### ۳- نتایج

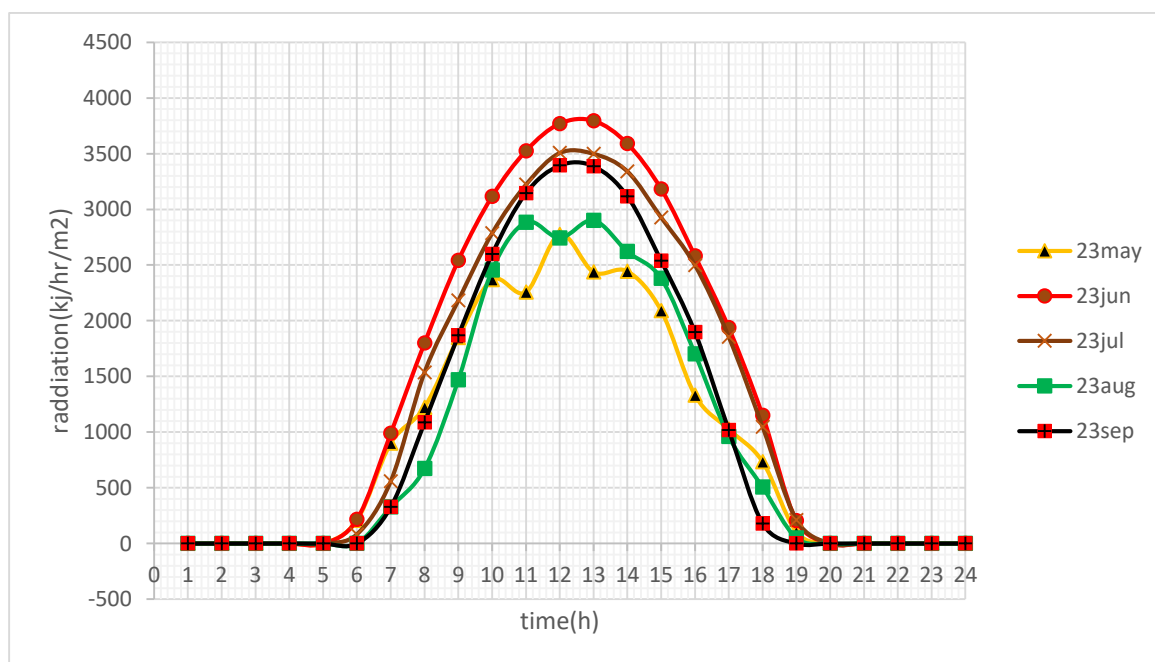
برای روزهای ۲۳ ام (۱۳) ماه‌های مه (خرداد)، ژوئن (تیر)، ژوئیه (مرداد)، اوت (شهریور) و سپتامبر (مهر) دمای هوا و تغییرات ساعتی تابش خورشیدی به ترتیب در شکل‌های (۲ و ۳) ارائه شده است. دمای ساعتی هوا در طول روز شامل طیف وسیعی از تغییرات است و پایین‌ترین دما بین ساعت‌های ۵ و ۶ صبح رخ می‌دهد. حداکثر دمای ساعتی در جولای (مرداد) اتفاق می‌افتد، این در حالی است که در سپتامبر (مهر) شاهد حداقل دما هستیم. تابش خورشیدی تغییرات قابل توجهی در طول روز دارد، همان‌طور که در شکل (۳) دیده می‌شود تابش خورشیدی با نور آفتاب افزایش می‌یابد و در ظهر به حداکثر مقدار خود می‌رسد. پس از آن با کاهش اثر انرژی خورشیدی در طول ساعات عصر یا بعد از آن کاهش پیدا می‌کند. نتایج اندازه‌گیری مقدار تابش خورشیدی قبل از تابش آفتاب و بعد از غروب آن صفر است.

تغییرات تابش خورشیدی و دمای هوا برای تمامی روزها خیلی مشابه هستند اما مقدارشان متفاوت است و روز به روز نوسانات زیادی دارد. تابش خورشید و دمای هوا در طول فصل‌های بهار و تابستان که سرمایه‌ش برای شرایط آسایش مورد نیاز است، به حداکثر مقدارشان می‌رسند. حداکثر مقدار تابش خورشیدی در ساعت ۱۲ تا ۱۳ رخ می‌دهد. در شکل (۴) داده‌های مورد استفاده (دما و تابش) در مرجع [۲۰] نمایش داده شده، که داده آب و هوایی مورد استفاده در این مرجع در ایستگاه هواشناسی آدانا واقع در جنوب منطقه مدیترانه ترکیه اندازه‌گیری شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، روند تغییرات در هر دو نمودار دما و تابش شبه هم هستند و مقادیر به دلیل مکان‌های مختلف با هم تفاوت دارند.

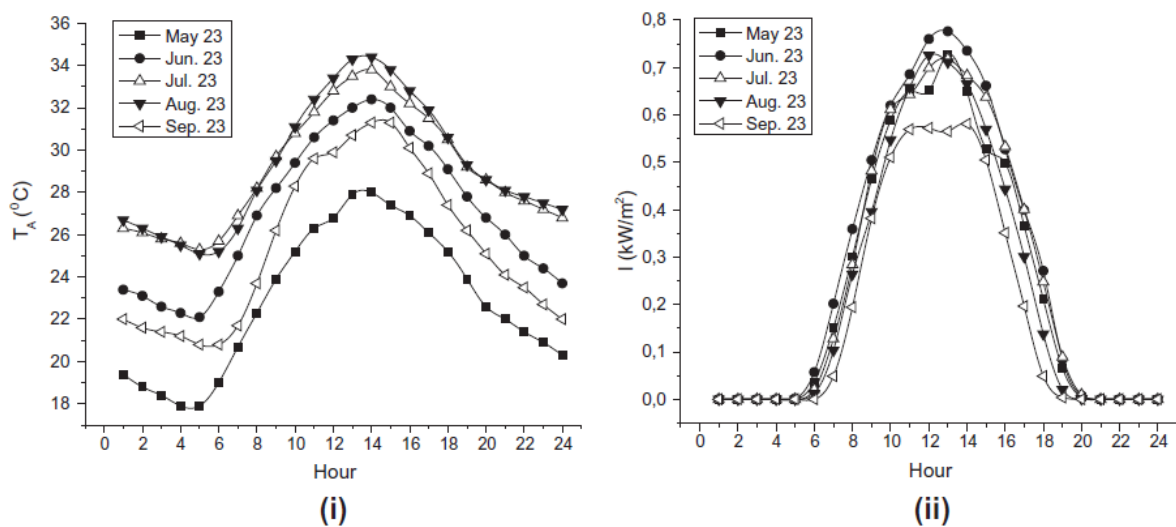
تغییرات بار سرمایشی ساعتی برای ماه‌های مختلف در شکل (۵) نشان داده شده است. همان طور که مشخص است، ظرفیت‌های بار سرمایشی ساعتی برای تمام روزهای انتخاب شده از ماه‌های مختلف به حداکثر مقدار خود در ساعات ۳ تا ۴ بعد از ظهر رسیده است. زیرا حداکثر دمای محیط نیز در همین ساعات اتفاق می‌افتد. حداکثر مقدار بار سرمایشی در ماه جولای (مرداد) بدست آمده است. همچنین در این شکل مقدار بار سرمایشی مورد نیاز ساختمان در مرجع [۲۰] نمایش داده شده است. نمودارهای بالایی شکل، نتایج بدست آمده و قسمت پایینی شکل، نمودارهای مرجع [۲۰] هستند.



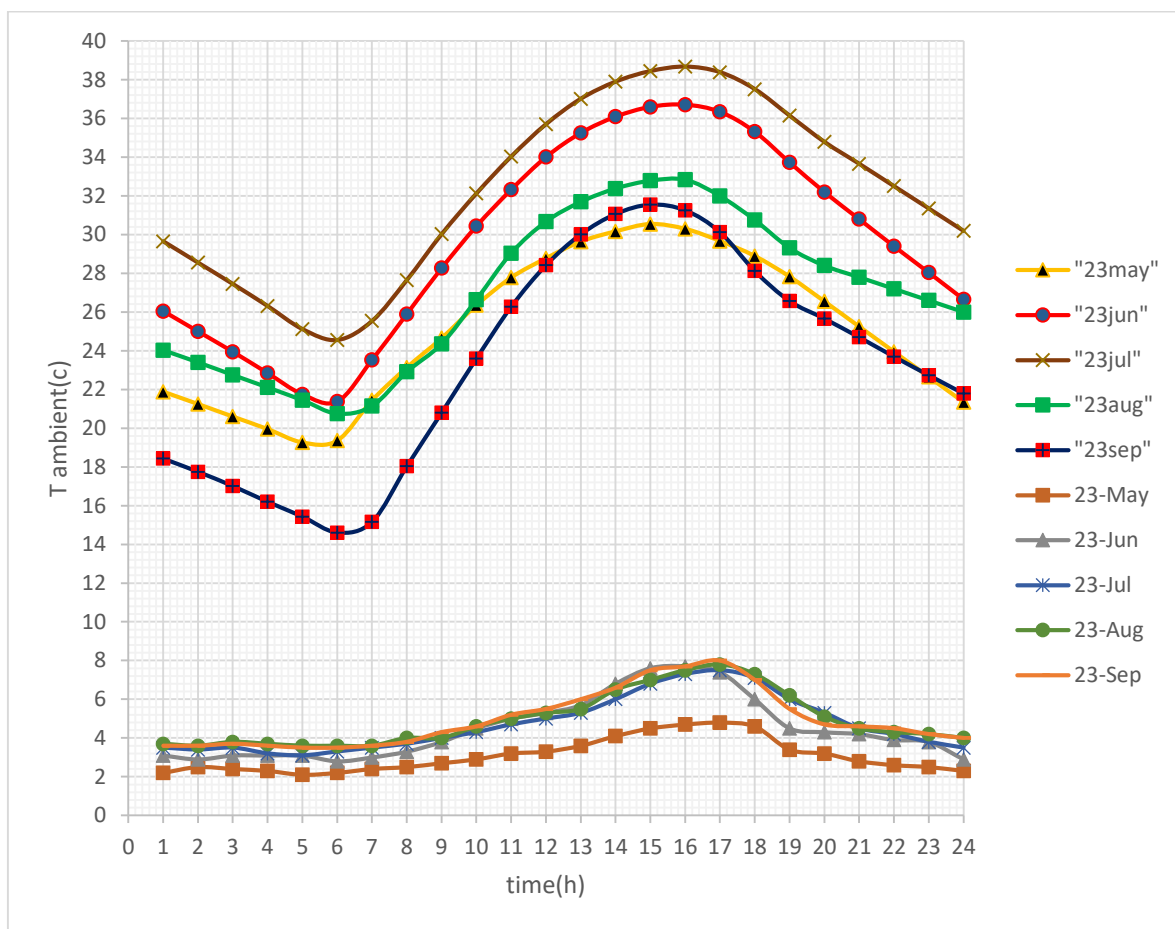
شکل ۲- دمای ساعتی در روزهای مختلف



شکل ۳- تابش ساعتی در روزهای مختلف



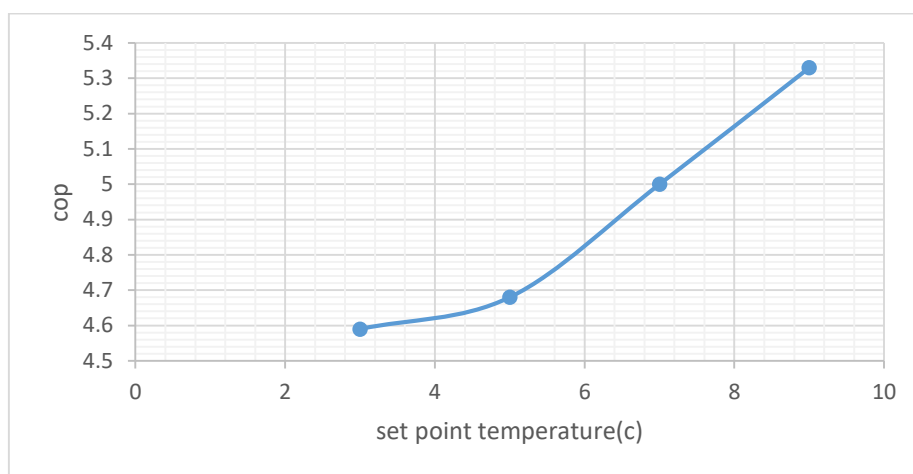
شکل ۴- دما و تابش ساعتی در مرجع [۲۰]



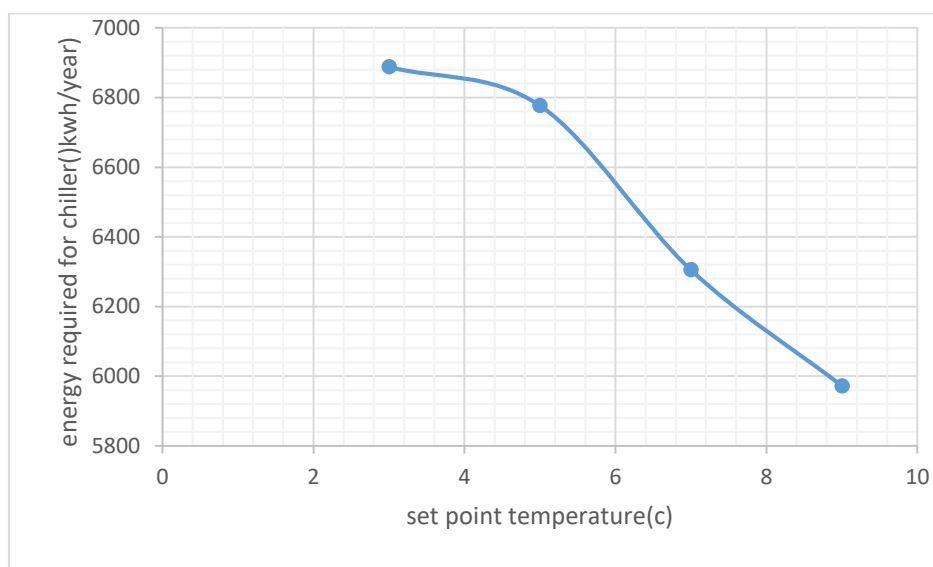
شکل ۵- تغییرات بار سرمایشی مورد نیاز ساختمان در روزهای مختلف و سرمایش مورد نیاز ساعتی در مرجع [۲۰]



در شکل (۶) تاثیر دمای تنظیم چیلر بر روی ضریب عملکرد سالانه و مقدار توان مصرفی سالانه چیلر نمایش داده شده است. با افزایش دمای تنظیم مقدار ضریب عملکرد افزایش می‌یابد و به تبع آن برای یک بار سرمایشی ثابت، مقدار کار کمتری مورد نیاز است. در شکل (۷) نیز مقدار انرژی مورد نیاز سالانه چیلر بر حسب دمای تنظیم نمایش داده شده است. البته باید به این نکته توجه کرد که اگرچه با بزرگتر در نظر گرفتن دمای تنظیم، ضریب عملکرد بزرگتر خواهد شد، ولی به دلیل کاهش اختلاف دما با محیط، به تجهیزات بزرگتری برای مبادله حرارت نیاز خواهیم داشت. شکل (۸) تغییرات ساعتی ضریب عملکرد را برای دماهای مختلف تنظیم شده چیلر در روز ۱۳۳ام ماه جولای (۱۳م مرداد) نمایش می‌دهد.



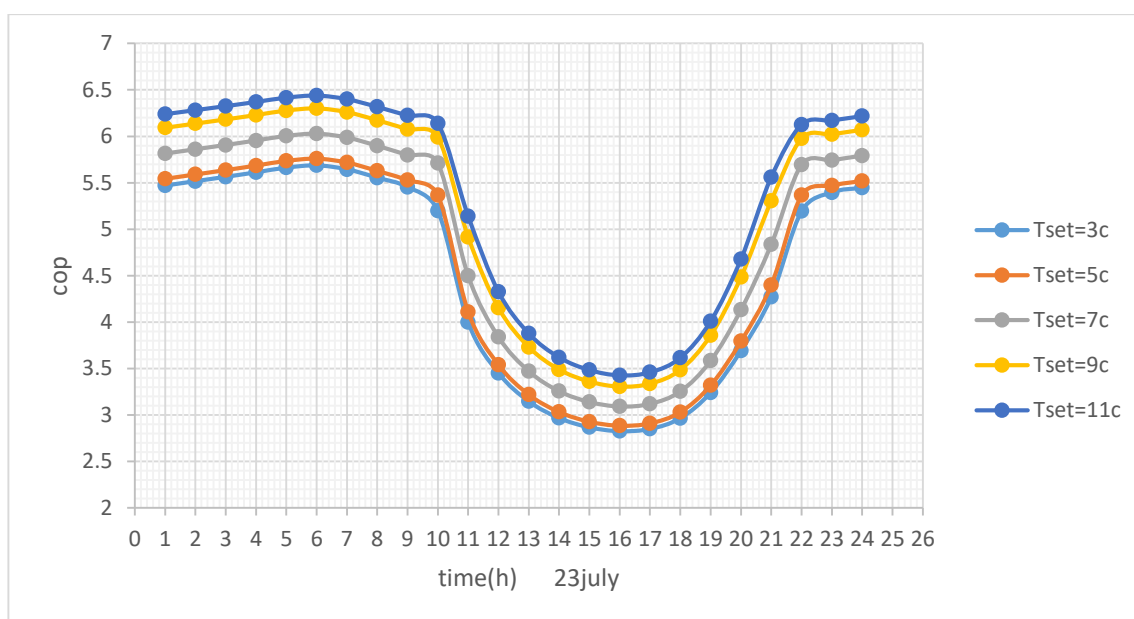
شکل ۶- ضریب عملکرد به ازاء دماهای مختلف تنظیم شده چیلر



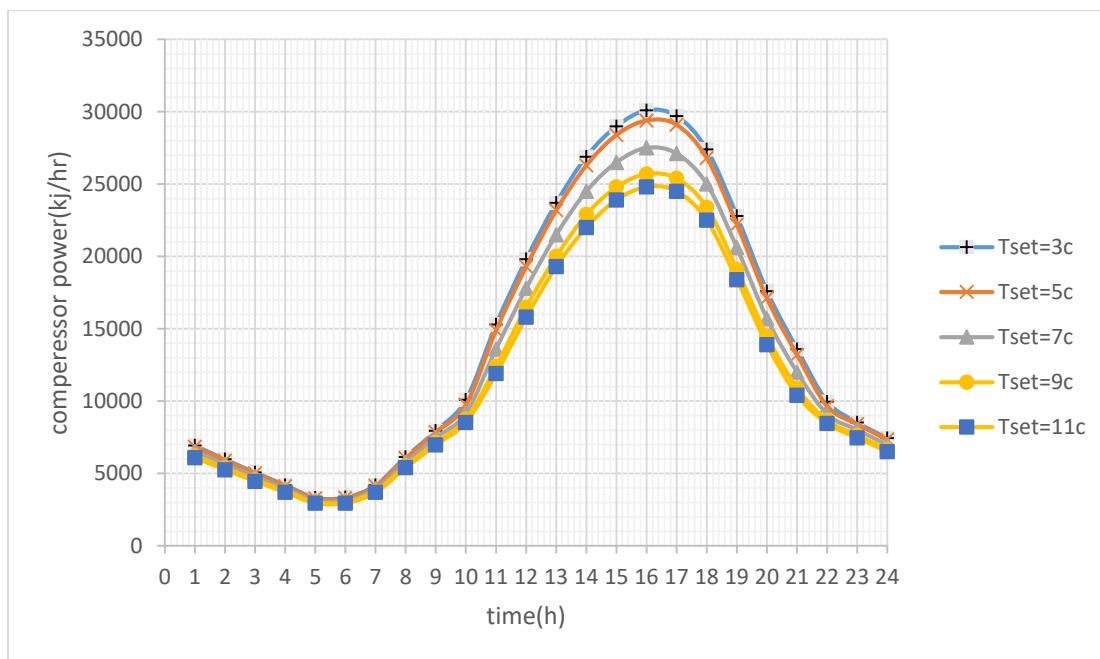
شکل ۷- انرژی مورد نیاز چیلر در طول سال

همان طور که در شکل نشان داده شده است، راندمان سیستم سرمایش با کاهش دمای تبخیر کاهش می‌یابد. علاوه بر این ضرایب عملکرد در طول روز به‌طور نسبی تغییر می‌کنند. بالاترین راندمان بین ساعت‌های ۶ و ۷ صبح رخ می‌دهد. اما پایین‌ترین مقدار راندمان در طول ساعت‌های ۳ تا ۵ بعدازظهر به دست آمده است. دلیل مقدارهای پایین راندمان در حدود ساعات ظهر این است که دمای هوا بالاترین مقدار خود را در طول این دوره دارد. همان‌طور که دمای هوا افزایش پیدا می‌کند، دمای کندانسور سیستم سرمایش نیز بیشتر می‌شود و به این ترتیب عملکرد سیستم کاهش می‌یابد.

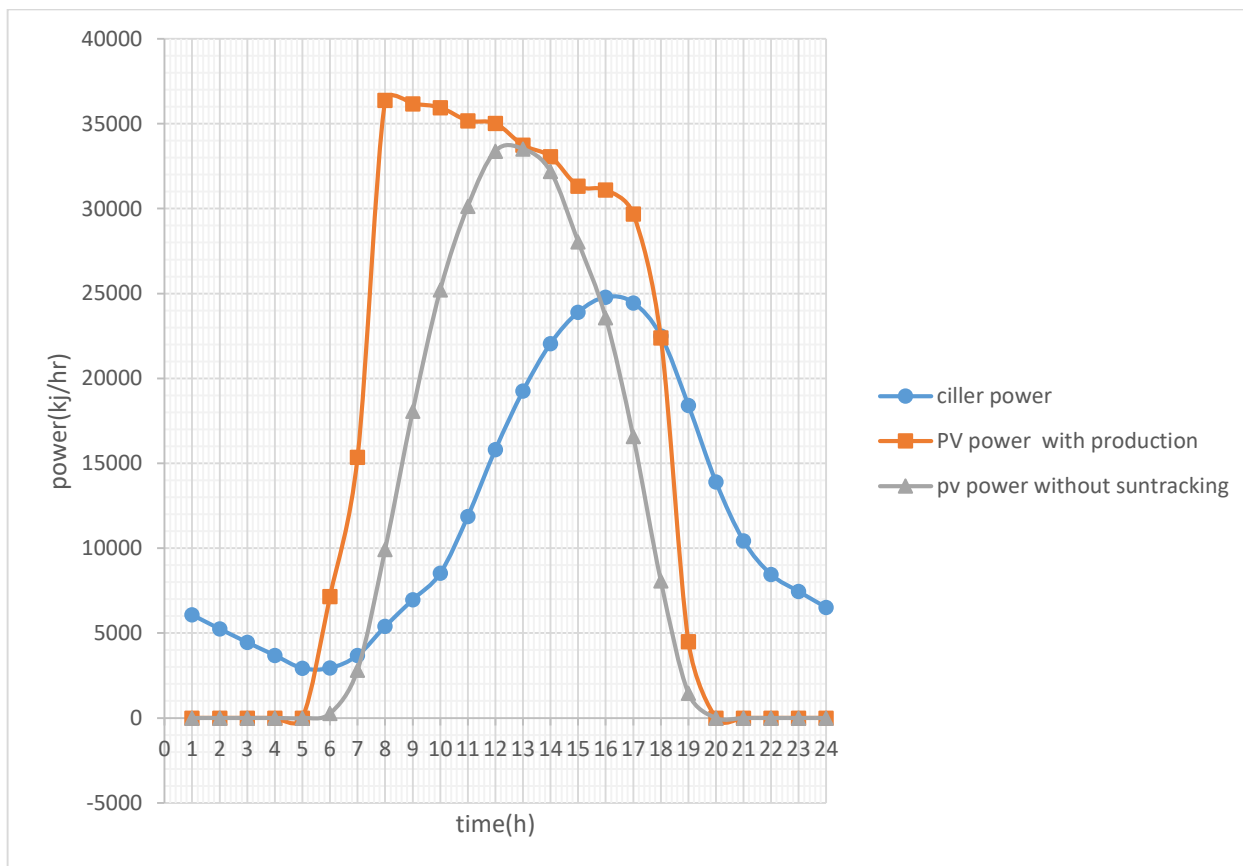
نتایج محاسبات نشان می‌دهند که دمای هوا یکی از مهم‌ترین پارامترهای موثر برای راندمان سیستم تبرید تراکمی بخار است. راندمان با دمای هوا نسبت عکس دارد. به این معنا که راندمان با افزایش دمای هوا کاهش می‌یابد. شکل (۹) تغییرات ساعتی مصرف برق کمپرسور  $W$  را برای دماهای مختلف تبخیر در ساعات مختلف روز ۲۳ جولای (۱۳ مرداد) نشان می‌دهد. مصرف برق کمپرسور به بالاترین مقدار خود به خصوص بین ساعات ۳ و ۶ بعدازظهر می‌رسد که دمای هوا و بار سرمایشی در حداکثر سطح خود هستند. از سوی دیگر با کاهش دمای هوا در طول ساعات صبح و عصر مصرف برق کمپرسور نسبتاً کاهش می‌یابد. به عنوان یک نتیجه، مصرف برق کمپرسور با افزایش دمای هوا و همچنین بار سرمایشی به صورت مستقیم افزایش پیدا می‌کند. همچنین مصرف برق با کاهش دمای تبخیر افزایش می‌یابد. بدین معنی که، کاهش دمای تبخیر افزایش مصرف برق کمپرسور را به دنبال دارد. مقایسه مقدار مصرف برق کمپرسور و مقدار تولید برق فتوولتائیک در طول روز ۲۳م ماه ژوئیه (۱۳ مرداد) در شکل (۱۰) نشان داده شده است. مقدار تولید برق فتوولتائیک بین ساعات ۷ عصر تا ۹ صبح نسبتاً کم است. تحت این شرایط، تقاضای انرژی موردنیاز نمی‌تواند برآورده شود. با این حال، تولید انرژی خورشیدی - برق از مساحت سطح پنل فتوولتائیک تعیین شده بین ساعات ۹ صبح تا ۵ بعدازظهر بیشتر از تقاضای موتور کمپرسور است.



شکل ۸- تغییرات COP در ساعات مختلف روز در دماهای مختلف تنظیم شده چیلر



شکل ۹- تغییرات ساعتی مصرف توان کمپرسور



شکل ۱۰- مصرف کمپرسور و تولید فتوولتائیک

انرژی اضافی تولید شده در طول این دوره در انباشتگر ذخیره می‌شود و این انرژی ذخیره شده تا حدی یا به طور کامل برای پاسخ‌گویی به تقاضای برق کمپرسور از ساعت ۷ عصر تا ۶ صبح مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل (۱۰) اثر اضافه‌کردن سیستم دنبال‌کننده خورشید روی تولید انرژی الکتریکی نمایش داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، ردیاب خورشیدی باعث افزایش جذب انرژی شده است.

#### ۴- محاسبات اقتصادی

تحلیل اقتصادی هر پروژه‌ای به معنای استفاده از تکنیک‌های مقایسه، تصمیم‌گیری و در نهایت انتخاب مناسب‌ترین راهکار بر اساس شرایط پولی و اقتصادی است. هر اندازه که میزان سرمایه‌گذاری بیشتر باشد فرآیند تحلیل اقتصادی نیز حساس‌تر می‌گردد. در مبحث اقتصاد مهندسی به منظور ارزیابی یک طرح، سه روش کلی وجود دارد:

- بازگشت سرمایه<sup>۱</sup>
- ارزش خالص فعلی<sup>۲</sup>
- نرخ بازگشت داخلی<sup>۳</sup>

برای انجام محاسبات اقتصادی از نرم‌افزار ترنسیس استفاده شده که یک تحلیل استاندارد هزینه چرخه عمر را بر اساس شبیه سازی یک ساله سیستم موردنظر انجام می‌دهد. در این تحلیل هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه‌های جاری سیستم خورشیدی، با سیستم معمولی مقایسه شده و فرض بر این است که سیستم‌های به غیر از سیستم خورشیدی برای هر دو حالت یکسان است و فقط هزینه‌های اضافه‌کردن سیستم خورشیدی به سیستم معمولی در نظر گرفته می‌شود. محاسبات اقتصادی براساس پارامترهای موجود در جدول (۳) محاسبه شده است. همچنین طبق مصوبه وزارت نیرو، هر کیلووات ساعت برق خورشیدی با ظرفیت کمتر از ۲۰ کیلووات به قیمت ۹۷۷ تومان خریداری می‌شود. [۲۱]

#### جدول ۳- پارامترهای تحلیل اقتصادی

|                        |                      |                 |                            |
|------------------------|----------------------|-----------------|----------------------------|
| طول دوره بهره برداری   | ۲۰ سال               | مالیات بر درآمد | ۱۵ درصد                    |
| قیمت پنل خورشیدی       | ۳/۵۰۰ تومان بر وات   | نرخ تنزیل بازار | ۵ درصد                     |
| هزینه فروش برق به شبکه | ۹۷۷ تومان بر کیلووات | هزینه تعمیرات   | ۱ درصد کل سرمایه گذاری     |
| نرخ بهره               | ۱۵ درصد              | نرخ تورم        | ۱۲ درصد                    |
| افت عملکرد سیستم       | حدود ۱ درصد در سال   | هزینه بازیافت   | ۲۰ درصد سرمایه گذاری اولیه |

<sup>1</sup> Pay Back

<sup>2</sup> Net Present Value

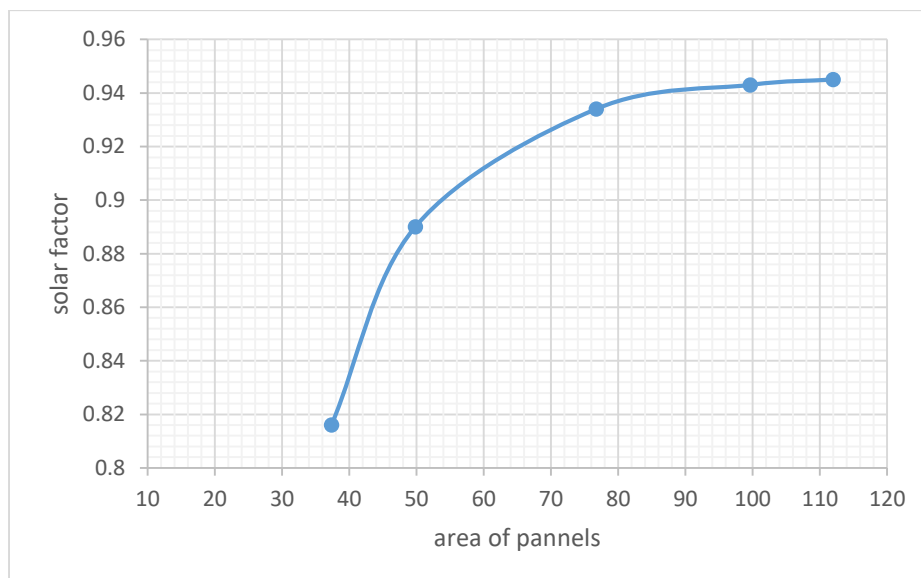
<sup>3</sup> Interval rate of Return

نتایج در جدول (۴) نمایش داده می‌شود:

| حالت | تعداد کلکتور | مساحت کلکتورها (M <sup>2</sup> ) | هزینه کلکتور (دلار) | هزینه BOS (دلار) | هزینه کل | کسر خورشیدی | نرخ تنزیل /% | نرخ بازگشت سرمایه /% | دوره بازگشت (سال) | ارزش خالص فعلی جریان های نقدی پروژه (دلار) |
|------|--------------|----------------------------------|---------------------|------------------|----------|-------------|--------------|----------------------|-------------------|--|
| ۱    | ۱۲۶          | ۱۱۲/۱۴                           | ۱۴۵۷۸               | ۱۴۵۰۰            | ۲۹۰۷۸    | ۰/۹۴۵       | ۱۰           | ۲۸/۲                 | ۴                 | ۴۹۵۷۵                                      |
| ۲    | ۱۱۲          | ۹۹/۶۸                            | ۱۲۹۵۸               | ۱۳۰۰۰            | ۲۵۹۵۸    | ۰/۹۴۳       | ۱۰           | ۲۷/۵                 | ۴                 | ۴۲۱۸۵                                      |
| ۳    | ۸۴           | ۷۴/۷۶                            | ۹۷۱۸                | ۹۷۰۰             | ۱۹۴۱۸    | ۰/۹۳۴       | ۱۰           | ۲۵/۷                 | ۵                 | ۲۷۹۳۷                                      |
| ۴    | ۵۶           | ۴۹/۸۴                            | ۶۴۷۹                | ۶۵۰۰             | ۱۲۹۷۹    | ۰/۸۹۰       | ۱۰           | ۲۲,۵                 | ۵                 | ۱۴۴۰۳                                      |
| ۵    | ۴۲           | ۳۷/۳۸                            | ۴۸۵۹                | ۴۹۰۰             | ۹۷۵۹     | ۰/۸۱۶       | ۱۰           | ۲۰,۸                 | ۶                 | ۹۰۸۹                                       |

ظرفیت‌های مختلفی برای سیستم خورشیدی جهت انجام محاسبات اقتصادی در نظر گرفته شده است که مشاهده می‌شود که در تمامی حالات، دوره بازگشت حدود ۴ الی ۶ سال است که از نظر اقتصادی مناسب است. همچنین نرخ بازگشت سرمایه از نرخ بهره بیشتر بوده و از نظر اقتصادی سودآور است. این سودآوری بدون در نظر گرفتن مزایای زیست‌محیطی حاصل از اجرای پروژه است. همچنین ارزش خالص فعلی نیز به ازاء نرخ تنزیل ۱۰ درصد مثبت بوده و نشان‌دهنده سودآوری بودن طرح است. نتایج تحلیل اقتصادی حاکی از آن است که حالت ۱ علی‌رغم این که هزینه سرمایه‌گذاری بیشتری را نسبت به سایر حالت‌ها طلب می‌کند، مناسب‌تر بوده و این امر نیز روی تصمیم‌گیری‌های اقتصادی بسیار موثر است.

در شکل (۱۱) کسر خورشیدی به ازاء تعداد پنل‌ها نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش تعداد پنل‌های خورشیدی، کسر خورشیدی نیز افزایش می‌یابد که امری کاملاً بدیهی است. زیرا با افزایش تعداد پنل‌ها، انرژی دریافتی افزایش پیدا کرده و وابستگی سیستم به انرژی کمکی کمتر خواهد شد.



شکل ۱۱- کسر خورشیدی به ازاء تعداد پنل ها

## ۵- نتیجه گیری

اثر پارامترهای مختلف روی یک سیستم تبرید تراکمی خورشیدی توسط شبیه سازی ها در نرم افزار ترنسیس بررسی شد. عملکرد سیستم برای دماهای مختلف تبخیر و ماه های مختلف در شهر اصفهان مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات ساعتی پارامترهای مختلف از قبیل ضریب عملکرد، ظرفیت کندانسور و مصرف برق کمپرسور و کسر خورشیدی محاسبه شد. ظرفیت های بار سرمایه گذاری ساعتی برای تمام روزهای انتخاب شده از ماه های مختلف به حداکثر مقدار خود در ساعات ۳ تا ۴ بعد از ظهر رسید. زیرا حداکثر دمای محیط نیز در همین ساعات اتفاق می افتد. حداکثر مقدار بار سرمایه گذاری در ماه جولای (مرداد) بدست آمده است.

با افزایش تعداد پنل های خورشیدی، کسر خورشیدی نیز افزایش می یابد. با افزایش دمای تنظیم آب خنک کننده چیلر، مصرف برق کمپرسور کاهش پیدا کرده و ضریب عملکرد افزایش پیدا می کند. همچنین طبق محاسبات اقتصادی انجام شده برای اندازه های مختلف سیستم خورشیدی، مشخص شد که اضافه کردن سیستم خورشیدی به سیستم تبرید تراکمی با توجه به حمایت دولت از تولید برق فتوولتائیک، صرفه اقتصادی دارد. در مصرف سالانه کربن نیز به مقدار ۱۲۴۱ کیلوگرم برای سرمایه گذاری صرفه جویی می شود.

## مراجع

- [1] Beggs, C., "Energy: Management, Supply and Conservation", in: Seconded Elsevier Ltd, (2009).
- [2] Fong, K.F., "Solar Hybrid Air-conditioning System for High Temperature Cooling in Subtropical City", Renewable Energy, Vol. 35, pp. 2439-2451, (2010).

- [3] Koroneos, C., "Solar Air Conditioning Systems and their Applicability—An Exergy Approach", *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 55, pp. 74–82, (2010).
- [4] Guo, J., and Shen, H.G., "Modeling Solar-driven Ejector Refrigeration System Offering Air Conditioning for Office Buildings", *Energy and Buildings*, Vol. 41, pp. 175–181, (2009).
- [5] Kim, D.S., and Ferreira, I., "Solar Refrigeration Options a State of the Art Review", *International Journal of Refrigeration*, Vol. 31, pp. 3–15, (2008).
- [6] Freris, L., and Infield, D., "*Renewable Energy in Power Systems*", John Wiley and Sons Ltd, USA, (2008).
- [7] Cengel, YA., and Boles, MA., "*Thermodynamics: An Engineering Approach*", McGraw Hill, (2014).
- [8] Wylen, V., "*Fundamentals of Thermodynamics 6th Edition*", Edwin, R and Gordon J., (2013).
- [9] Carolina Mira-Hernández, "Compressed-liquid Energy Storage with an Adsorption-based Vapor Accumulator for Solar-driven Vapor Compression Systems in Residential Cooling", *International Journal of Refrigeration*, 3207, (2016).
- [10] Lazzarin, RM., "Solar Cooling: PV or Thermal? A Thermodynamic and Economical Analysis", *International Journal of Refrigeration*, Vol. 39, pp. 38- 47, (2014).
- [11] Vaibhav, Jain., "Energy, Exergy, Economic and Environmental (4E) Analyses Based Comparative Performance Study and Optimization of Vapor Compression-absorption Integrated Refrigeration System", *Energy*, Vol. 91, pp. 816-832, (2015).
- [12] Ferreira, CI., "Techno-economic Review of Solar Cooling Technologies Based on Location-Specific Data", *International Journal of Refrigeration*, Vol. 39, pp. 23-37, (2014).
- [13] Mastrullo, R., and Renno, C., "A Thermo Economic Model of a Photovoltaic Heat Pump", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 30, pp. 1959–1966, (2010).
- [14] Fong, K.F., "Comparative Study of Different Solar Cooling Systems for Buildings in Subtropical City", *Solar Energy*, Vol. 84, pp. 227–244, (2010).
- [15] Duffie, J.A., and Beckman W.A., "*Solar Engineering of Thermal Processes*", John Wiley and Sons Ltd, (2013).
- [16] Ersoy, H.K., "Performance of a Solar Ejector Cooling-system in the Southern Region of Turkey", *Applied Energy*, Vol. 84, pp. 971–983, (2007).
- [17] Ozgoren, M., "Determination of Cooling Load of a Midibus Via Meteorological Data in: Case Study for Edirne", *International Scientific Conference, UNITECH09*, pp. 544–551, (2009).

- [18] Yamankaradeniz, R., "Refrigeration Techniques and Heat Pump Applications", Dora Company, (2009).
- [19] TRNSYS 16: "A TRaNsient System Simulation Program", Volume 3 Standard Component Library Overview University of Wisconsin- Madison, (2016)
- [20] Bilgili, M., "Hourly Simulation and Performance of Solar Electric-vapor Compression Refrigeration System", Solar Energy, Vol. 85, pp. 2720–2731, (2011).

[۲۱] <http://www.tavanir.org.ir>، وزارت نیرو، مصوبه وزیر، ابلاغ تعرفه خرید تضمینی برق از نیروگاه های تجدیدپذیر و پاک، مصوبه شماره ۱۰۰/۳۷۰۷۳۲ مورخ ۹۱/۰۵/۰۸ شورای اقتصاد.

### فهرست نمادهای انگلیسی

|  |           |                      |
|--|-----------|----------------------|
| ظرفیت چیلر در شرایط فعلی                                 | [kJ/hr]   | $Capacity$           |
| ظرفیت مجاز چیلر  | [kJ/hr]   | $Capacity_{rated}$   |
| ظرفیت چیلر در شرایط فعلی تقسیم بر ظرفیت مجاز             | [kJ/hr]   | $Capacity_{ratio}$   |
| ضریب عملکرد اسمی چیلر در شرایط فعلی                      | [ - ]     | $COP_{nom}$          |
| ضریب عملکرد مجاز چیلر در شرایط فعلی                      | [ - ]     | $COP_{rated}$        |
| ضریب عملکرد چیلر در شرایط فعلی تقسیم بر ضریب عملکرد مجاز | [ - ]     | $COP_{ratio}$        |
| گرمای ویژه سیال ورودی به جریان سیال سرد شده              | [kJ/kg.K] | $C_p$                |
| کسری از قدرت بار کامل                                    | [0..1]    | $FFLP$               |
| نرخ جریان سیال ورودی به جریان سیال سرد شده               | [kg/hr]   | $\dot{m}$            |
| قدرت جذب شده توسط چیلر در شرایط فعلی                     | [kJ/hr]   | $P$                  |
| نسبت بخشی از بار چیلر (نسبت بار فعلی به بار مجاز)        | [0..1]    | $PLR$                |
| جریان بار در چیلر  | [kJ/hr]   | $\dot{Q}_{load}$     |
| بار مواجه شده با چیلر                                    | [kJ/hr]   | $\dot{Q}_{met}$      |
| انرژی داده شده توسط چیلر به محیط                         | [kJ/hr]   | $\dot{Q}_{rejected}$ |
| دمای سیال ورودی در جریان سیال سرد شده                    | [°C]      | $T_{chw,in}$         |
| دمای سیال خروجی در جریان سیال سرد شده                    | [°C]      | $T_{chw,out}$        |
| دمای خروجی مورد نیاز سیال در جریان سیال سرد شده          | [°C]      | $T_{chw,set}$        |



**Abstract**

A solar compression refrigeration (SE-VCR) system has been proposed for different evaporating temperatures and months in Isfahan, it is simulated by software TRNSYS. The hourly cooling load capacities of a sample building on different days were determined by using meteorological data. The hourly total heat gain of the sample building and the hourly variations of various parameters such as coefficient of the performance, condenser capacity and compressor power consumption and solar fraction were calculated. The minimum photovoltaic panel surface area was determined to meet the compressor power demand. By doing economic calculations it was found that additional solar system, is economical. Also in the consumption of carbon, the amount of 1241 KG is saved for cooling.