

Research Paper

Modeling and Analysis of Building Cooling Energy Supply System Using Variable Solar Refrigerant Flow System

Rahim Zahedi¹, Siavash Gitifar², Alireza Aslani^{3*}

¹ PhD Candidate, Department of Renewable Energies and Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

² PhD Candidate, Faculty of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

³ Associate Professor, Department of Renewable Energies and Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received 01 January, 2022

Revised 25 January, 2022

Accepted 24 February, 2022

Keywords:

Optimization

Air conditioning system

Variable flow refrigerant (VRF) system

Photovoltaic (PV) technology

Energy consumption

ABSTRACT

Introduction

Variable refrigerant flow systems are one of the most efficient and widely used air conditioning systems to reduce energy consumption while maintaining the desired level of thermal comfort. Variable refrigerant flow systems as an efficient and flexible solution for various heating/cooling applications are gaining more attention and are widely used in commercial and residential buildings. Variable refrigerant flow systems have many advantages over traditional air conditioning systems such as chillers and fan coils or air conditioning units, including satisfactory partial load performance, individual control capability at arbitrary temperature range, and no loss in duct transmission. Easy installation and maintenance. However, variable refrigerant flow systems require a dedicated outdoor air system with an additional ventilation unit.

Methodology

This section first discusses the design of a variable refrigerant flow system. The next step is to model the building located in Cyprus with the heating system in question. The parts of this modeling include the characteristics of the selected location of the building, modeling of the relevant building, modeling of variable refrigerant air conditioning system and photovoltaic systems in detail.

1. Variable refrigerant flow system

Variable refrigerant flow systems Among the various air conditioning systems is the DX system, based on the standard Rankin reverse steam compression cycle. Therefore, these systems are thermodynamically similar to conventional DX systems and have similar equipment such as compressor, expansion valve, condenser, and evaporator. Figure (1) shows the inside of the exterior of a variable refrigerant flow system that is installed outside the building.

A 5-storey residential building with an area of 1061 square meters of space has been modeled in Design Builder software (on each floor, there are two

residential units with 110 square meters). Each floor consists of two units with an equal area; the north-facing unit has two bedrooms, the south-facing unit has three bedrooms, and the ground floor is uninhabited and without air conditioning. In addition, the corridors between adjacent apartments on each floor are also without air conditioning. This research will focus on the power consumption of the variable refrigerant flow system as an electric charge. Figure (2) shows a schematic of an integrated photovoltaic variable refrigerant flow system.

Results and Discussion

In this section, energy consumption in variable refrigerant air conditioning, power generation of photovoltaic arrays, and carbon dioxide reduction due to photovoltaics are examined according to the results obtained from the design of builder designs.

Conclusion

The intensity of solar radiation in this city equals 1852kWh, and the annual electricity consumption of a refrigerant flow system varies around 18500kWh. The results show that according to the duration of sunlight during the day, the total daily electricity produced by photovoltaics provides only

* Corresponding Author, Email: alireza.aslani@ut.ac.ir

54% of the daily electricity required for variable refrigerant current, which has a significant impact on reducing electricity consumption from the grid

and a significant impact on Reduces carbon dioxide by 14 tons per year.



Figure 1. Internal view of the outer part of the variable refrigerant flow

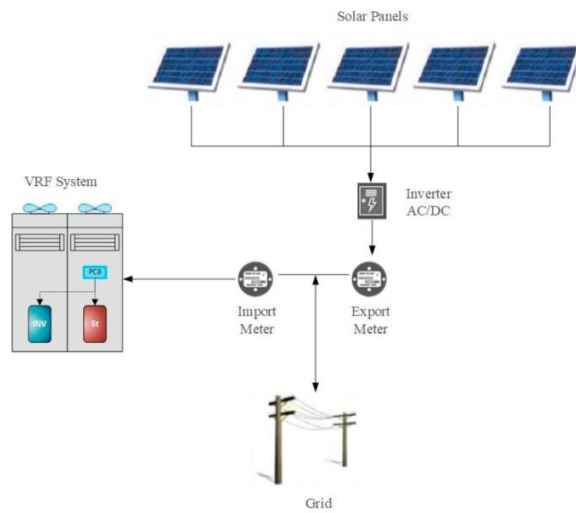


Figure 2. Schematic of VRF-PV integrated system

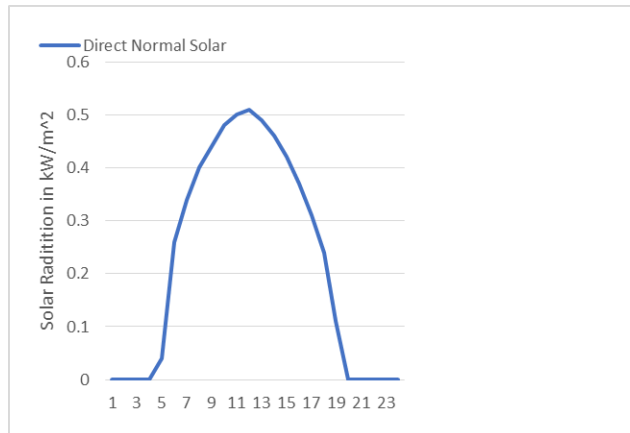


Figure 3. DNI radiation status of the sun kW/m² on July 21

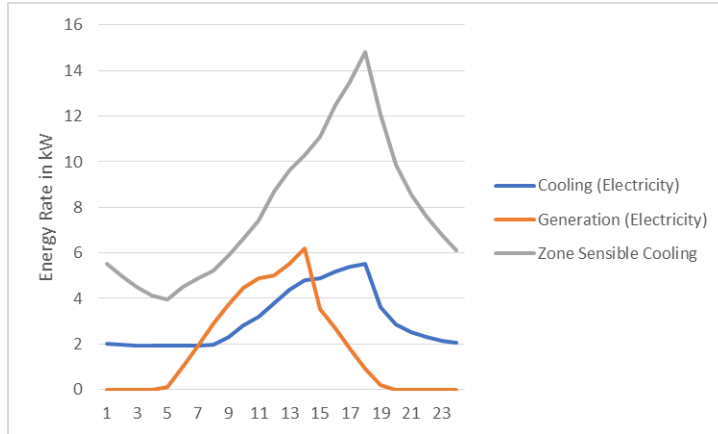


Figure 4. Energy rate status of a building unit on July 21

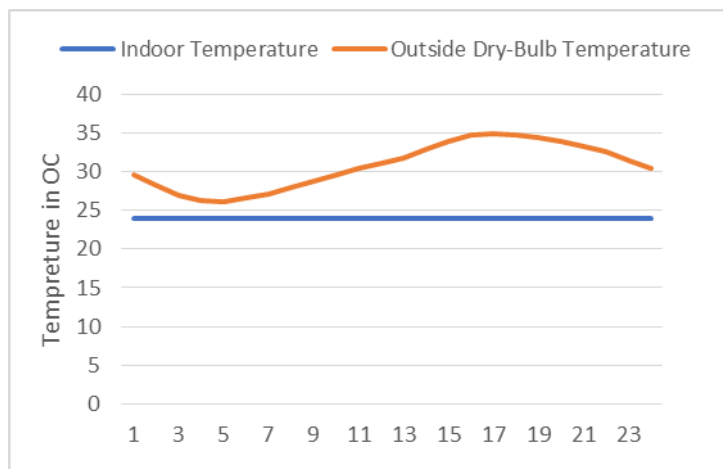


Figure 5. External and indoor temperature status of a unit (dining room facing south on the 5th floor of the building), on July 21

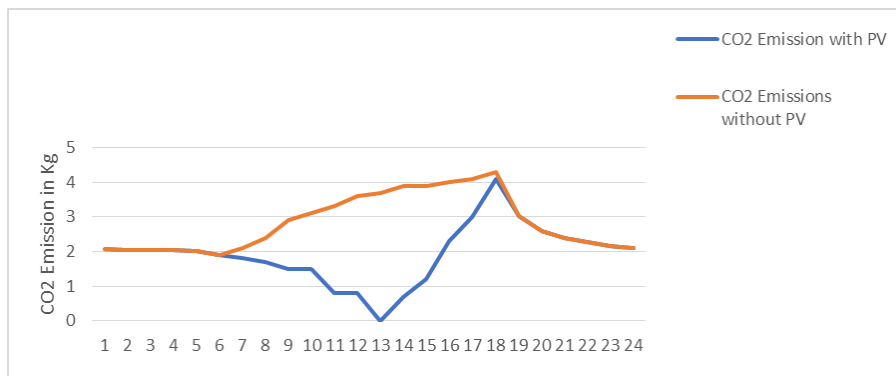


Figure 6. Status of carbon dioxide emissions on 21 July

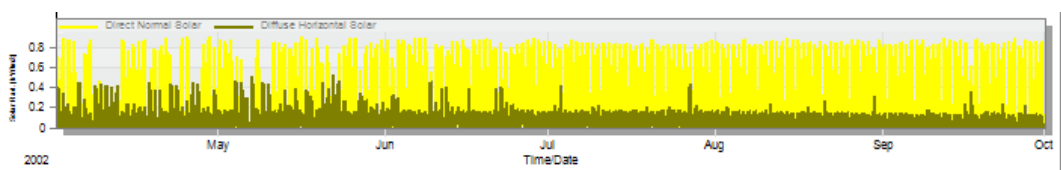


Figure 7. DNI and DIF solar radiation conditions kW / m2 in summer and autumn

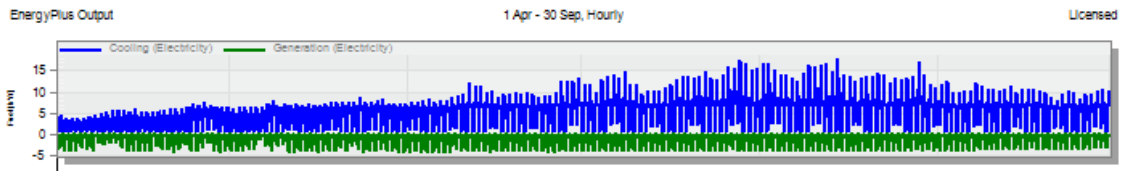


Figure 8. Electricity status (Kw) required for cooling and photovoltaic power generation in summer and autumn

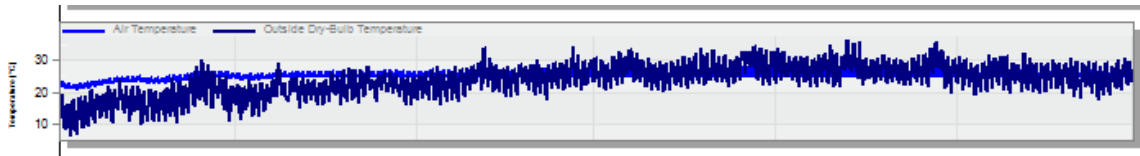


Figure 9. External temperature and temperature of the dining room facing south on the 5th floor of the building, in summer and autumn

فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار

سایت نشریه: <https://ses.ut.ac.ir>

مقاله پژوهشی

مدل‌سازی و تحلیل سیستم تأمین انرژی سرمایه‌ساخت‌ها با استفاده از سیستم جریان مبرد متغیر خورشیدی

رحیم زاهدی^۱، سیاوش گیتی‌فر^۲، علیرضا اصلانی^{۳*}

^۱ دانشجوی مقطع دکتری، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۲ دانشجوی مقطع دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

^۳ دانشیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ‌های مقاله: تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۱۰/۱۱ تاریخ بازنگری ۱۴۰۰/۱۱/۰۵ تاریخ تصویب ۱۴۰۰/۱۲/۰۵	با توجه به مصرف حدود نیمی از کل انرژی مصرفی سالانه جهان در بخش سرمایه‌سخت و گرمایش ساختمان‌ها، افزایش بهره‌وری سیستم‌های تهویه مطبوع با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نقش بسیار مهمی در کاهش مصرف انرژی خواهد داشت. در نقاطی از جهان که دارای اقلیم گرم و مرطوب و تابش خورشید بالایی هستند، به‌کارگیری سیستم تهویه مطبوع از نوع جریان مبرد متغیر بسیار باارزش است. در این پژوهش یک سیستم پمپ حرارتی جریان مبرد متغیر با به‌کارگیری ماژول‌های نوری، از نظر کارایی انرژی و میزان تولید برق مصرفی با فناوری فتوولتائیک، در یک مجتمع مسکونی پنج‌طبقه در یکی از شهرهای قبرس مورد بررسی قرار گرفته است. شدت تابش سالانه در این شهر برابر ۱۸۵۲ کیلووات‌ساعت و مصرف برق سالانه یک سیستم جریان مبرد متغیر نیز در حدود ۱۸۵۰۰ کیلووات ساعت است و هر آرایه از فتوولتائیک‌ها ظرفیت ۱۳ کیلووات دارد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد با توجه به مدت تابش خورشید طی روز، میزان تولید برق روزانه توسط فتوولتائیک‌ها ۵۴ درصد برق مورد نیاز روزانه جریان مبرد متغیر را تأمین می‌کند که این مقدار تأثیر زیادی در کاهش مصرف برق سیستم تهویه مطبوع از شبکه و منجر به کاهش ۱۴ تنی تولید سالانه کربن دی‌اکسید می‌شود.
کلیدواژه: بهینه‌سازی سیستم تهویه مطبوع سیستم جریان مبرد متغیر (VRF) فناوری فتوولتائیک (PV) مصرف انرژی	

مقدمه

سیستم‌های تهویه مطبوع در ساختمان‌ها، همواره کاهش مصرف انرژی مد نظر بوده است؛ زیرا تأثیر بسزایی در مصرف انرژی ساختمان‌ها خواهد داشت. از این‌رو، مطالعات زیادی مبتنی بر طراحی مناسب معماری ساختمان‌ها انجام گرفته است که بر انتخاب مصالح، جهت استقرار ساختمان، نوع پنجره‌ها و غیره متمرکز بوده‌اند [۶-۸].

سیستم‌های جریان مبرد متغیر یکی از کارآمدترین و پرکاربردترین سیستم‌های تهویه مطبوع برای کاهش مصرف انرژی با حفظ سطح مطلوب آسایش حرارتی هستند. سیستم‌های جریان مبرد متغیر به عنوان راه حلی کارآمد و

با توجه به اینکه تقریباً ۷۰ درصد از جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ در مناطق شهری زندگی می‌کنند [۱]، در کشورهای در حال توسعه، تقاضای انرژی برای سیستم‌های تهویه (گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع) تقریباً نیمی از کل انرژی مصرفی ساختمان را تشکیل می‌دهد [۲ و ۳]. شهرها یکی از گروه‌های بزرگ مصرف‌کننده انرژی و انتشاردهنده گازهای گلخانه‌ای هستند [۴ و ۵]، هنگام به‌کارگیری انواع

* نویسنده مسئول

Email: Alireza.aslani@ut.ac.ir

تأمین برق مورد نیاز بر اساس داده‌های موجود در پژوهش‌های پیشین در نرم‌افزار دیزاین بیلدر مدل‌سازی و سپس مورد تحلیل قرار می‌گیرد. ابتدا یک ساختمان مسکونی پنج طبقه در یکی از شهرهای کشور قبرس به نام آکروتیری^۵، کشوری با آب‌وهوای نیمه‌گرمسیری و تشعشعات خورشیدی فراوان، مدل‌سازی می‌شود و سپس، یک سیستم پمپ حرارتی جریان مبرد متغیر به عنوان سیستم سرمایش/گرمایش انتخاب می‌شود و مصرف برق سالانه سیستم تهویه مطبوع آن با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر به دست می‌آید. در مرحله بعد، با توجه به فضای محدود موجود روی پشت‌بام، با نصب پانل‌های فتوولتائیک روی آن ظرفیت تولید برق با فناوری فتوولتائیک برای کاهش مصرف برق گرمایشی و سرمایشی در این نرم‌افزار تعیین می‌شود.

پژوهش حاضر سه موضوع مرتبط به کارگیری سیستم جریان مبرد متغیر، کاربرد فناوری فتوولتائیک و مصرف انرژی و انتشار گاز کربن دی‌اکسید مجتمع مسکونی را مد نظر قرار می‌دهد. دلایل انتخاب کشور قبرس را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- ۱- قبرس کشوری است که واردکننده عمده انرژی است و نرخ بالای مصرف انرژی دارد.
- ۲- قبرس آب‌وهوای نیمه‌گرمسیری با تابستان‌های گرم و مرطوب و زمستان‌های سرد دارد، بنابراین تقاضای به کارگیری تهویه مطبوع بسیار زیاد است.
- ۳- میزان تابش خورشیدی طی سال در این کشور بسیار زیاد است.
- ۴- انرژی خورشیدی در حال حاضر به طور گسترده در قبرس استفاده می‌شود، زیرا این کشور از نظر ظرفیت سرانه کلکتورهای گرمایش آب خورشیدی در رتبه دوم جهان قرار دارد. بنابراین، این کشور می‌تواند هر راه حلی که در آن به کارگیری انرژی خورشیدی در آن وجود دارد را به راحتی به کار گیرد.

اگرچه تحقیقات زیادی در مورد سیستم‌های جریان مبرد متغیر، فناوری فتوولتائیک و ساختمان‌های کم‌انرژی در کشور قبرس و سایر کشورهای جهان انجام شده و در این خصوص مقالات زیادی موجود است، اما سیستم جریان مبرد متغیر به

انعطاف‌پذیر برای انواع کاربردهای گرمایش/سرمایش توجه بیشتری را به خود جلب می‌کنند و به طور گسترده در ساختمان‌های تجاری و مسکونی استفاده می‌شوند [۹] و [۱۰]. سیستم‌های جریان مبرد متغیر در مقایسه با سیستم‌های تهویه مطبوع سنتی مانند چیلر و فن کویل یا واحدهای هواساز، مزایای بسیاری دارند، از جمله عملکرد رضایت بخش بار پاره‌ای، قابلیت کنترل فردی در بازه دمایی دلخواه [۱۱]، عدم تلفات در انتقال از طریق کانال [۱۲] و [۱۳]، نصب و نگهداری آسان [۱۴]. با این وجود، سیستم‌های جریان مبرد متغیر به یک واحد تهویه اضافی نیاز دارد که به آن سیستم اختصاصی هوای بیرون می‌گویند. این عیب به طور کامل برطرف نشده و تا حدودی کاربرد سیستم‌های جریان مبرد متغیر را به‌ویژه در شرایطی که نیاز به هوای تازه زیاد است، محدود می‌کند.

بررسی تأثیر انواع سیستم تهویه مطبوع روی دو ساختمان با مشخصات متفاوت در تحقیق آقای ویترا و همکاران [۱۵] انجام گرفته است و از تحلیل نتایج تحقیق آن‌ها مشخص شد که طراحی مناسب ساختمان و سیستم تهویه مطبوع می‌تواند موجب صرفه‌جویی ۱۲ درصدی در مصرف انرژی ساختمان شود. روش‌های پیشنهادی برای کاهش مصرف انرژی ساختمان بیان می‌دارد که در فاز اول نیاز است که مدل ساختمان به‌دقت بررسی شود [۱۶] و سپس، افزایش دقت مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزارهای تحلیل انرژی ساختمان مانند انرژی پلاس^۱ و دیزاین بیلدر^۲ در تحقیق‌ها بیشتر مورد توجه قرار بگیرند [۱۷ و ۱۸]. در این تحقیق از نرم‌افزار دیزاین بیلدر به عنوان ابزار مدل‌سازی ساختمان استفاده می‌شود. دیزاین بیلدر یک واسط گرافیکی^۳ برای نرم‌افزار انرژی پلاس است، که انرژی مصرفی سرمایشی و گرمایشی را می‌تواند در فصل‌های مختلف ارائه دهد. برای شبیه‌سازی یک ساختمان لازم است تا داده‌های اولیه به نرم‌افزار داده شود تا مدل ایجادشده از نظر رفتار حرارتی با ساختمان مورد بررسی مشابه باشد.

در این تحقیق یک مجتمع مسکونی به همراه یک سیستم تهویه مطبوع خورشیدی از نوع سیستم‌های جریان مبرد متغیر^۴ و ماژول‌های خورشیدی فتوولتائیک^۵ برای

1. Energy Plus
2. Design Builder
3. Graphical User Interface (GUI)
4. VRF

5. Photovoltaic (PV)
6. Akrotiri

مدل‌سازی سیستم تهویه مطبوع مبرد متغیر داخلی و سیستم‌های فتوولتائیک به صورت مفصل پرداخته می‌شود.

سیستم جریان مبرد متغیر

سیستم‌های جریان مبرد متغیر از بین انواع سیستم‌های تهویه مطبوع، از نوع سیستم DX است که بر اساس چرخه استاندارد فشرده‌سازی بخار رانکین معکوس ساخته شده‌اند. بنابراین، این سیستم‌ها از نظر ترمودینامیکی شبیه به سیستم‌های DX رایج هستند و تجهیزات مشابهی همانند کمپرسور، شیر انبساط، کندانسور و اواپراتور دارند. شکل ۱ نمای داخلی قسمت خارجی سیستم جریان مبرد متغیر که در خارج از ساختمان نصب می‌شود را نشان می‌دهد.

سیستم جریان مبرد متغیر به دلیل ویژگی‌های زیر از سایر سیستم‌های DX متمایز می‌شود:

۱- چندین بخش داخلی^۲ به یک واحد خارجی^۳ مشترک متصل است؛ ۲- واحدهای داخلی و خارجی می‌توانند ظرفیت متغیر داشته باشند و همچنین، امکان گرمایش و سرمایش به طور هم‌زمان و نیز به طور جداگانه در بخش‌های مختلف ساختمان وجود دارد؛ و ۳- هر دو نوع کندانسور هوا خنک و آب خنک در سیستم جریان مبرد متغیر در دسترس هستند.

شکل ۱ یک سیستم جریان مبرد متغیر با بخش‌های خارجی، داخلی، لوله‌کشی و شبکه‌های کنترل را نشان می‌دهد. در سیستم‌های جریان مبرد متغیر گرما از بخش خارجی به شبکه‌ای از بخش‌های داخلی در فضاهای دارای تهویه مطبوع منتقل می‌شود. تفاوت اصلی سیستم‌های جریان مبرد متغیر این است که یک شیر انبساط الکترونیکی در داخل هر فضای داخلی قرار دارد تا بر اساس تقاضای سرمایش/گرمایش فضا یا منطقه^۴ مربوطه، نرخ جریان مبرد را تنظیم کند. هر منطقه یک ترموستات دارد و بخش داخل جریان مبرد متغیر، با استفاده از یک واحد پردازش مرکزی^۵ اختصاصی، شیر انبساط الکترونیکی را بر این اساس تنظیم می‌کند تا جریان مبرد مورد نیاز برای پاسخ‌گویی به بار آن منطقه امکان‌پذیر باشد. کل جریان مبرد مورد نیاز توسط یک برد مدار چاپی^۶ کنترل

عنوان یک سیستم تهویه مطبوع^۱ بسیار کارآمد با قابلیت اتصال مستقیم به پانل‌های فتوولتائیک به عنوان منبع برق ورودی، به عنوان یک راه حل ایده‌آل برای سیستم تهویه مطبوع خورشیدی در ساختمان‌های کم‌انرژی، مورد توجه کافی قرار نگرفته است. این سیستم با توجه به بازدهی زیاد، نصب و راه‌اندازی آسان و نیز طول عمر مفید و سایر عوامل از محبوبیت روزافزونی در بین طراحان و مجریان برخوردار است. این مطالعه تلاش می‌کند تا پتانسیل بالای این فناوری پیشرفته تهویه مطبوع را به عنوان یک جایگزین عملی و امکان‌پذیر برای تأمین نیازهای انرژی سیستم‌های تهویه مطبوع در ساختمان‌های کم‌انرژی نشان دهد.

بنابراین، این تحقیق ضمن ایجاد آسایش دمایی برای ساکنان، ابزاری برای کاهش میزان مصرف انرژی کشور را نیز فراهم می‌کند. از آنجا که هیچ تحقیقی در مورد ادغام سیستم‌های جریان مبرد متغیر با فناوری فتوولتائیک در کشور قبرس موجود نیست، این تحقیق طرحی را پیشنهاد می‌دهد که دارای پتانسیل اجرایی بالایی در طراحی ساختمان‌های خالص صفر در قبرس و سایر کشورهایی با شرایط مشابه محسوب می‌شوند. در بخش‌های بعدی توضیح کاملی در مورد ساختمان مدل شده، سیستم تهویه مطبوع و مازول‌های فتوولتائیک در این پژوهش داده می‌شود. در بخش نتایج نیز به مباحث میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی در راستای کاهش کربن دی‌اکسید پرداخته می‌شود.

در ادامه، در بخش دوم به بررسی سیستم جریان مبرد متغیر و مدل‌سازی سیستم مد نظر در یک ساختمان در کشور قبرس با بیان تمام جزئیات پرداخته می‌شود. در بخش سوم به تحلیل و بررسی نتایج حاصل از مدل‌سازی و مقایسه این نتایج با مطالعات پیشین پرداخته شده و در انتها به بیان نتیجه‌گیری و بحث پیرامون این موضوع پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

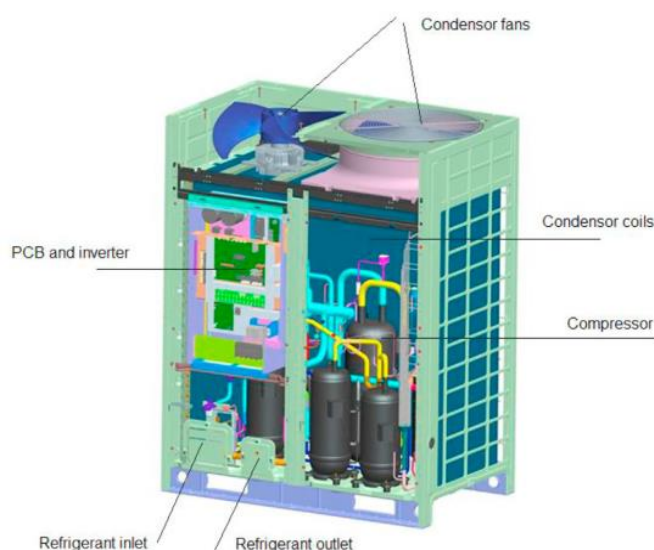
در این بخش ابتدا به طراحی سیستم جریان مبرد متغیر پرداخته می‌شود. در گام بعدی به مدل‌سازی ساختمان واقع در کشور قبرس به همراه سیستم حرارتی مد نظر پرداخته می‌شود که قسمت‌های این مدل‌سازی شامل مشخصات موقعیت انتخابی ساختمان، مدل‌سازی ساختمان مربوطه،

1. Air conditioning- AC

2. Indoor Unit
3. Outdoor Unit
4. Zoon
5. Central Processing Unit (CPU)
6. Printed Circuit Board (PCB)

مرکزی‌های نصب‌شده به صورت سری در بخش‌های داخلی جریان مبرد متغیر متصل است.

که روی بخش خارجی جریان مبرد متغیر نصب شده است، محاسبه می‌شود که این برد کنترل به واحد پردازش



شکل ۱. نمای داخلی بخش خارجی جریان مبرد متغیر

سیستم‌های جریان مبرد متغیر حداقل به یک کمپرسور با سرعت متغیر (یا ظرفیت متغیر) مجهز هستند. شکل ۲ یک اینورتر و کمپرسور تک‌سرعه در سیستم‌های جریان مبرد متغیر را نشان می‌دهد که در بخش خارجی واحد بیرونی^۳ تحت بار قرار می‌گیرند. ابتدا، کمپرسور اینورتر به تدریج تحت بار قرار می‌گیرد تا زمانی که سیستم دقیقاً به ۵۰ درصد ظرفیتش برسد، سپس در ظرفیت ۵۰ درصد، کمپرسور اینورتر تخلیه می‌شود و کمپرسور تک‌سرعه روشن می‌شود. برای کار با ظرفیت بیش از ۵۰ درصد، در حالی که کمپرسور استاندارد هنوز کار می‌کند، کمپرسور اینورتر دوباره به تدریج تحت بار قرار می‌گیرد تا سیستم به ۱۰۰ درصد ظرفیت خود برسد.

بر اساس وضعیت‌های موجود عملیاتی، سیستم‌های جریان مبرد متغیر به سه گروه تقسیم می‌شوند: ۱- فقط خنک‌کننده؛ ۲- پمپ‌های حرارتی^۴ و ۳- بازیابی حرارت^۵. سیستم‌های بازیابی گرما، که بسیار محبوب‌تر هستند، امکان سرمایه‌گذاری و گرمایش هم‌زمان را فراهم می‌کنند. در صورتی که مناطق (زون‌های) مختلفی وجود داشته باشند که برخی نیاز به سرمایه‌گذاری و برخی نیاز به گرمایش داشته باشند،

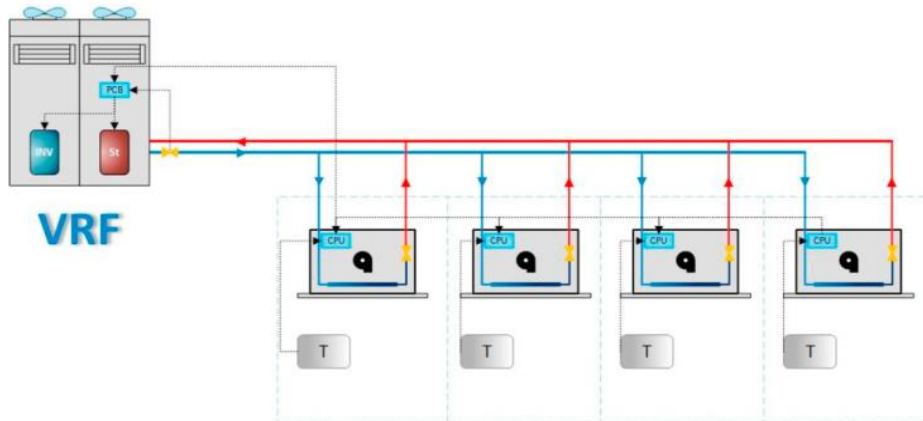
در نهایت، برد مدار چاپی سرعت کمپرسور را تغییر می‌دهد تا تقاضای بار کل متغیر، فضاها (زون‌ها) را تولید کند. کنترل چرخش یا سرعت کمپرسور با استفاده از یک اینورتر که مداری نصب‌شده روی یونیت خارجی جریان مبرد متغیر است، به دست می‌آید. برد مدار چاپی از دو قسمت موسوم به کانورتر و اینورتر تشکیل شده است. مدار مبدل^۱ (یا یکسوکننده^۲)، جریان ورودی متناوب را به جریان مستقیم تغییر می‌دهد و مدار اینورتر جریان مستقیم را به جریان متناوب با فرکانس متغیر تبدیل می‌کند. این فرکانس به نوبه خود، دور کمپرسور را تعیین می‌کند. برد مدار چاپی همچنین شیر خروجی یونیت خارجی را تنظیم می‌کند تا جریان مبرد مورد نیاز در شبکه لوله‌کشی جریان مبرد را حفظ کند. هر زون دارای یک ترموستات و یک بخش داخلی جریان مبرد متغیر است که با استفاده از یک واحد پردازش مرکزی اختصاص داده شده به آن، شیر انبساط الکترونیکی را تنظیم می‌کند. میزان تنظیم بر این اساس خواهد بود که اجازه عبور به مقدار جریان مبرد مورد نیاز را که برای پاسخ‌گویی به بار گرمایش و یا سرمایه‌گذاری آن زون مورد نیاز است، بدهد.

3. Outdoor Unit
4. Heat Pumps
5. Heat Recovery

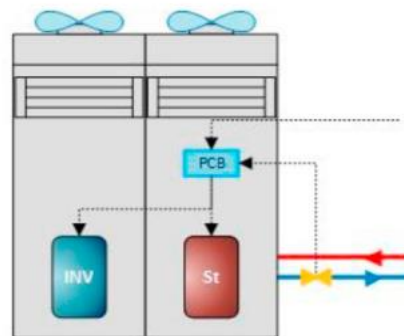
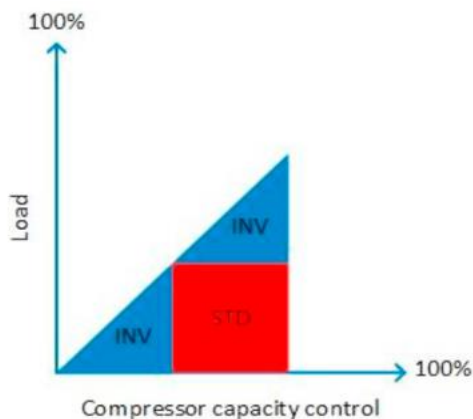
1. Converter Circuit
2. Rectifier

مختلفی دارد. به طور مثال، برای گرمایش یک ساختمان اداری بزرگ با یک اتاق سرور شبکه که طی فصل سرما، سرمایش نسبتاً زیادی نیاز دارد، در حالی که سایر مناطق (زون‌ها) باید گرم شوند، استفاده از یک سیستم بازبایی گرما می‌تواند به صرفه‌جویی قابل توجهی در انرژی کمک کند.

گرمای دریافت‌شده از مناطق سرمایشی به مناطقی که نیاز به گرمایش دارند، ارسال می‌شود. به این ترتیب، سیستم جریان مبرد متغیر هیچ گرمایی توسط پمپ حرارتی ایجاد نمی‌کند، بلکه به‌سادگی گرما را به محل مورد نیاز منتقل می‌کند. سیستم‌های بازبایی حرارت جریان مبرد متغیر انواع



شکل ۲. ترکیب‌بندی یک سیستم جریان مبرد متغیر



شکل ۳. اینورتر و کمپرسورهای تک‌سرعت در سیستم‌های جریان مبرد متغیر

مشخصات محل انتخابی

جدول ۱ اطلاعات هواشناسی مانند بیشینه و کمینه دمای محیط، بالاترین میانگین رطوبت نسبی ماهانه در تابستان، میانگین سرعت باد سالانه و ارقام تابش خورشیدی به همراه موقعیت جغرافیایی مکان انتخابی تحقیق، شهر آکروتیری را نشان می‌دهد.

مدل‌سازی ساختمان

یک ساختمان ۵ طبقه مسکونی به مساحت ۱۰۶۱ متر مربع فضا در نرم‌افزار دیزاین بیلدر مدل‌سازی شده است

مدل‌سازی

جزئیات مکانی و منطقه اقلیمی، مدل ساختمان، سیستم تهویه و اجزای سیستم انرژی تجدیدپذیر خورشیدی به شرح زیر است که باید به عنوان اطلاعات در بخش‌های موقعیت^۱، منطقه^۲ پروژه و در بخش‌های ساخت‌وساز^۳، فعالیت^۴ و چیدمان^۵ مربوط به ساختمان وارد شوند.

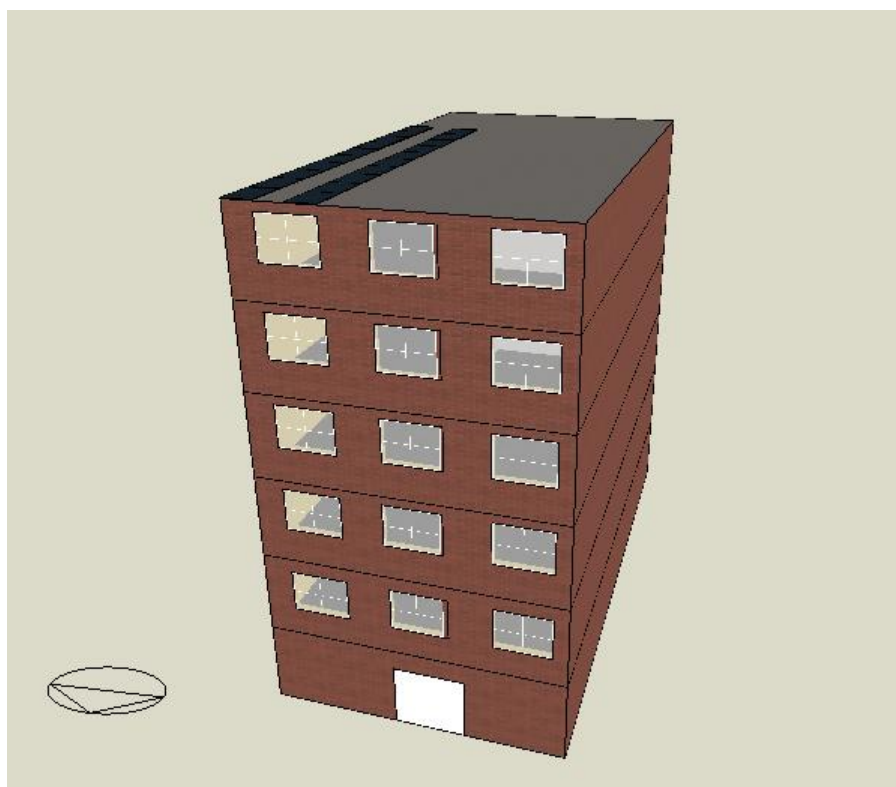
1. Location
2. Region
3. Construction
4. Activity
5. Layout

طبقه نیز بدون تهویه مطبوع هستند. جزئیات ابنیه و پنجره‌های ساختمان در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. این اطلاعات در بخش ساخت‌وساز نرم‌افزار وارد می‌شوند. دیوارها، سقف و کف مجتمع دارای چهار لایه بوده که مشخصات آن‌ها طبق جدول ۲ با یکدیگر متفاوت است. مشخصات پنجره‌های دوجداره طبق جدول ۳ در بخش ابتدایی^۱ نرم‌افزار وارد می‌شود.

(در هر طبقه دو واحد مسکونی با مساحت ۱۱۰ متر مربع در نظر گرفته شده است). نمای شماتیک ساختمان در شکل ۴ و نمای درونی در شکل ۵ که توسط محققان مدل شده نشان داده شده است. هر طبقه شامل دو واحد با مترای مساوی است که واحد رو به شمال دارای دو اتاق خواب و واحد رو به جنوب دارای سه اتاق خواب است و طبقه همکف خالی از سکنه و بدون تهویه مطبوع است. علاوه بر این، راهروهای بین آپارتمان‌های مجاور در هر

جدول ۱. اطلاعات مکانی شهر آکروتیری

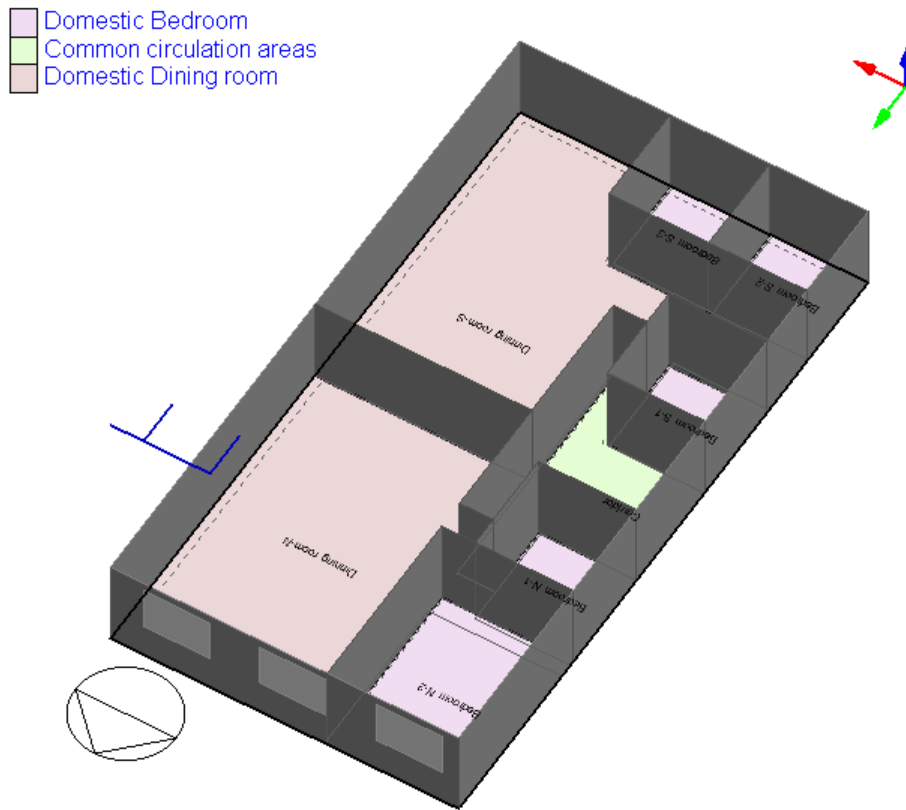
موقعیت	طول (°E)	عرض جغرافیایی (°N)	شدت تابش افقی سالیانه دیفیوز (kWh/m ²) - دیفیوز دیفیوز اکل (kWh/m ²)	بالاترین دمای محیط ساعتی تابستان (°C)	کمترین دمای محیط ساعتی زمستان (°C)	بالاترین میانگین رطوبت نسبی ماهانه در تابستان
آکروتیری	۳۶	۳۶/۳	۱۸۵۲ - ۶۶۸ - ۶۳۰	۵۵/۵۵	۲۲/۴	۷۶٪



شکل ۴. نمای شماتیک ساختمان (پیکان به شمال اشاره دارد) (مدل شده توسط محققان)

1. Opening

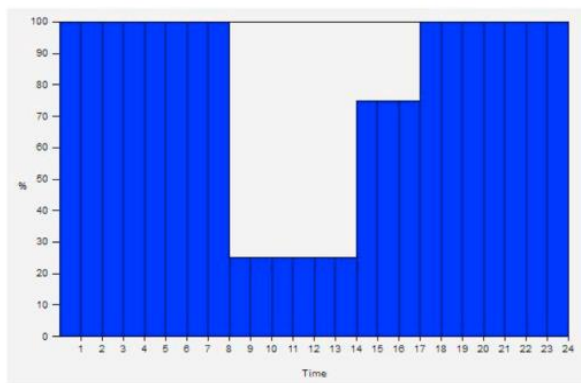
زاهدی و همکاران: مدل‌سازی و تحلیل سیستم تأمین انرژی سرمایش ساختمان با استفاده از سیستم جریان ...



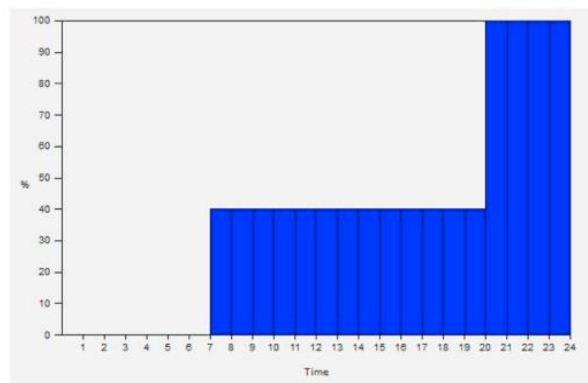
شکل ۵. نمای شماتیک ساختمان (پیکان به شمال اشاره دارد) (مدل شده توسط محققان)

نیست و تغییر می‌کند. در نتیجه، این تغییرات بر مشخصات روشنایی و در نهایت، بارهای سرمایشی/گرمایشی تأثیر می‌گذارد. پروفایل روزانه حضور افراد و روشنایی ساختمان در شکل ۶ نشان داده شده است.

در این مدل‌سازی فرض شده است که در این ساختمان افراد طی ۲۴ ساعت شبانه‌روز در مجتمع حضور دارند. به بیانی، هیچ‌گاه مجتمع خالی از سکنه نیست، بنابراین سیستم تهویه مطبوع نیز باید در تمام مدت کار کند، اما میزان حضور افراد در ساختمان در طی روز ثابت



(a) Occupancy



(b) Lighting

شکل ۶. پروفایل روزانه حضور افراد و روشنایی ساختمان

سیستم‌های انرژی پایدار، دوره ۱، شماره ۱، زمستان ۲۰۲۲

جدول ۲. جزئیات قسمت‌های مختلف ساختمان

سطح خارجی	لايه	جنس مواد	ضخامت (متر)	رسانایی (W/m. OC)	چگالی (J/kg. OC)	حرارت ویژه (kg/m ³)	
دیوار	۱	آجرکاری بیرونی	۰/۱	۰/۸۴	۸۰۰	۱۷۰۰	
	۲	پلی استایرن اکسترود شده XPS - CO ₂	۰/۰۷۹	۰/۰۳۴	۱۴۰۰	۳۵	
	۳	بلوک بتنی (متوسط)	۰/۱	۰/۵۱	۱۰۰۰	۱۴۰۰	
	۴	گچ کاری	۰/۰۱۳	۰/۰۴	۱۰۰۰	۱۰۰۰	
سقف	۱	آسفالت ۱	۰/۰۱	۰/۷	۱۰۰۰	۲۱۰۰	
	۲	مگاوات پشم شیشه (رول)	۰/۱۴۴۵	۰/۰۴	۸۴۰	۱۲	
	۳	در محاسبات (حرارتی استفاده نمی شود)	شکاف هوا = ۲۵ میلی متر	۰/۳	۰/۱۸	۱۰۰۰	۱۰۰۰
	۴	گچ	۰/۰۱۳	۰/۲۵	۸۹۶	۲۸۰۰	
کف ساختمان	۱	فوم اوره فرمالدئید	۰/۰۸۶۹	۰/۰۴	۱۴۰۰	۱۰	
	۲	بتن ریخته‌گری	۰/۱	۱/۱۳	۱۰۰۰	۲۰۰۰	
	۳	کفپوش	۰/۰۷	۰/۴۱	۸۴۰	۱۲۰۰	
	۴	کفپوش چوبی	۰/۰۳	۰/۱۴	۱۲۰۰	۶۵۰	

جدول ۳. جزئیات پنجره‌های ساختمان

U (W/m ² . OC)	انتقال مستقیم خورشیدی (-)	انتقال کل خورشیدی (SHGC)(-)	نوع لعاب	نوع Fenestration
۲/۷۶۱	۰/۰۵۳۱۹	۰/۱۵۴	Dbl Ref-A-L Clr 6mm/6 mm Air	پرده‌های دوجداره، بازتابنده، شفاف، پرده داخلی

۲- گرمای حاصل از تجهیزات برابر 1200KJ/hours تعیین شد که در بخش متفرقه^۲ مربوط به فعالیت‌ها درج شد.
 ۳- گرمای حاصل از افراد برابر 800KJ/hours تعیین شد که در بخش متفرقه مربوط به فعالیت درج شد.
 ۴- تصفیه هوا^۳ که عاملی تأثیرگذار در بار حرارتی ساختمان‌ها است، در طراحی مدل در نظر گرفته شد و برنامه کاری آن به علت اینکه به حضور افراد بستگی ندارد، باید همواره انجام گیرد. همچنین، مقدار آن برابر 1ac/h^۴ تعیین و در بخش ساخت‌وساز وارد شد.

درخور یادآوری است که مشخصات زیر در مطالعات قبلی تعیین نشده بود، بنابراین محققان با مطالعه و بررسی منابع و برای نزدیک شدن سیستم جریان مبرد متغیر مدل‌شده به واقعیت، مقادیر مورد نظر خود را در نرم‌افزار دیزاین بیلدر درج کردند تا مدل‌سازی هر چه بیشتر به واقعیت نزدیک باشد:
 ۱- گرمای حاصل از روشنایی برابر 300KJ/hours تعیین شد و در گزینه absolute zone power مقدار کلی 300KJ/hours در بخش روشنایی^۱ نرم‌افزار درج شد.

2. Miscellaneous
 3. Infiltration
 4. Air Change Per Hour

1. Lighting

طراحی سرمایش از روش شبیه‌سازی^{۱۱} نیز امکان‌پذیر است که در این حالت برای تمام ساعت‌ها در کل سال محاسبه انجام می‌گیرد. نتیجه محاسبات نشان می‌دهد روش شبیه‌سازی نیز بسیار دقیق اما زمان‌بر است و اختلاف کمی با روش آماری طراحی سرمایش دارد. یادآور می‌شود که بار سرمایش با تغییر بعضی از پارامترها مانند تعداد پنجره‌ها و تغییر نوع لایه‌های ساختمان و غیره تغییر می‌یابد.

مدل‌سازی سیستم تهویه مطبوع مبرد متغیر داخلی و سیستم‌های فتوولتائیک

یک سیستم پمپ حرارتی جریان مبرد متغیر خنک‌شونده با هوا، قابل نصب روی سقف ساختمان، به عنوان سیستم گرمایش/سرمایش ساختمان انتخاب شده است. در این تحقیق برای حفظ سادگی طراحی، تنها یک واحد بیرونی جریان مبرد متغیر برای کل ساختمان در نظر گرفته شده است. بنابراین، ساختمان در مجموع از ۴۱ منطقه (زون) تهویه مطبوع تشکیل شده است که همه با یک واحد بیرونی جریان مبرد متغیر تأمین می‌شوند. انجام این کار در دیزاین بیلدر با ایجاد سیستم‌های تهویه مطبوع^{۱۲} و تعریف سیستم مبرد متغیر داخلی و گروه‌های منطقه مربوطه انجام می‌گیرد. هر زون با یک جریان مبرد متغیر داخلی^{۱۳} و بدون کانال‌های رفت و برگشت هوای تازه^{۱۴} تعریف شده است.

در بخش سیستم مبرد متغیر ابتدا برنامه کاری آن منطبق بر حضور افراد تنظیم می‌شود. با توجه به جدول ۴، بیشینه دمای بیرون در حالت خنک‌کننده^{۱۵} (°C) و کمینه دمای بیرون در حالت خنک‌کننده^{۱۶} (°C) در برگ‌های گرمایش و سرمایش وارد می‌شود. در برگ عمومی^{۱۷} نوع مبرد متغیر از نوع خنک‌شونده با هوا^{۱۸} تعیین می‌شود. در این بخش ارتفاع عمودی لوله‌کشی تا ۱۵ متر تأیید می‌شود. مقدار حداقل نسبت بار جزئی پمپ حرارتی^{۱۹} برابر ۰/۲ تأیید می‌شود و به این معناست که بار فضا یا بار دستگاه می‌تواند حداقل به ۲۰ درصد بار کل دستگاه برسد.

۵- بخش تهویه مکانیکی^۱ که به معنای ترکیب هوای اتاق از بیرون با هوای تازه (توسط داکت کشی و فن) است، در مدل در نظر گرفته نشد، زیرا تأثیر محسوسی بر بارهای سرمایشی و گرمایشی ندارد.

۶- دماهای گرمایش^۲ و سرمایش^۳ به صورت پیش‌فرض تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد گرم و تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد خنک شود، تعیین و در بخش ساخت‌وساز نرم‌افزار وارد شد.

۷- دمای تنظیم‌شده گرم‌کننده^۴ برابر ۱۲ درجه سانتی‌گراد در مدل وارد شد که به معنای این است که اگر افراد در واحد خود حضور نداشتند و دما به ۱۲ درجه سانتی‌گراد رسید سیستم گرمایش روشن شود. همچنین، دمای تنظیم‌شده خنک‌شونده^۵ برابر ۲۸ درجه سانتی‌گراد در مدل وارد شد و به معنای آن است که اگر افراد در واحد خود نبودند و دما به ۲۸ رسید سیستم سرمایش روشن شود.

۸- در مدل برای هر زون یک جریان مبرد متغیر داخلی^۶ در نظر گرفته شده است. برای آن‌ها کانال‌های رفت و برگشت هوای تازه^۷ تعریف نشده است.

۹- ارتفاع عمودی لوله‌کشی تا جریان مبرد متغیر خارجی^۸ تا ۱۵ متر در نظر گرفته شده است.

۱۰- حداقل بار فضا یا بار دستگاه برابر ۰/۲ در نظر گرفته شده که به معنای آن است که این بار می‌تواند حداقل به ۲۰ درصد بار کل دستگاه برسد.

با توجه به داده‌های معماری ساختمان، مدل‌سازی مجتمع انجام گرفت و با لحاظ کردن پروفایل روزانه حضور افراد، روشنایی ساختمان و همچنین، کلیه پارامترهای مورد نیاز (از جمله بندهای یادشده) در نرم‌افزار دیزاین بیلدر، محاسبات لازم به منظور تعیین حداکثر بار سرمایشی در برگ^۹ طراحی سرمایش^{۱۰} انجام شد. برای محاسبه بارها، نرم‌افزار در ابتدای کار براساس کشور و اسم شهر و موقعیت مکانی، اطلاعات مورد نیاز را از طریق اینترنت دانلود کرده و سپس، به محاسبه بار سرمایشی در فصل تابستان می‌پردازد. درخور یادآوری است که محاسبه

11. Simulation
12. HVAC system
13. Indoor VRF
14. Fresh Air
15. Maximum Outdoor Temperature in Cooling Mode
16. Minimum Outdoor Temperature in Heating Mode
17. General
18. Air Cooled
19. Minimum Heat Pump Part-load Ratio

1. Mechanical Ventilation
2. Heating
3. Cooling
4. Heating Set Back Temperature
5. Cooling Set Back Temperature
6. Indoor
7. Fresh Air
8. Outdoor
9. Tab
10. Cooling Design

شیب آرایه‌ها برابر با عرض جغرافیایی محل نصب است و همه آرایه‌های نوری رو به جنوب هستند.

در خور یادآوری است که برای تولید برق از فتوولتائیک، ابتدا در دیزاین بیلدر یک تولید قدرت (توان)^۱ در سطح ساختمان و در بخش تولید^۲ به صورت مرکز بار الکتریکی^۳ تعریف و مشخصات ماژول‌ها و اینورترها طبق جدول ۵ در آن درج می‌شود. در این پژوهش، تمرکز بر مصرف برق سیستم جریان مبرد متغیر به عنوان بار الکتریکی خواهد بود. شکل ۷ شماتیکی از سیستم یکپارچه جریان مبرد متغیر- فتوولتائیک را نشان می‌دهد.

مشخصات بخش خارجی مبرد متغیر مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۴ آمده است. یونیت خارجی، دارای یک کمپرسور سرعت متغیر بوده و همان‌طور که در بخش قبل بحث شد، توسط اینورتر کنترل می‌شود. پارامترهای ماژول‌های نوری فتوولتائیک که از نوع اروپایی هستند، در جدول ۵ آمده است. هر ماژول دارای توان خروجی ۲۶۰ وات است. یک سیستم نت مترینگ شامل پنج آرایه و بدون ذخیره‌سازی نصب شده است که هر آرایه شامل ده ماژول به صورت سری است. ظرفیت اینورتر ۱/۱ برابر حداکثر خروجی آرایه فتوولتائیک در نظر گرفته می‌شود.

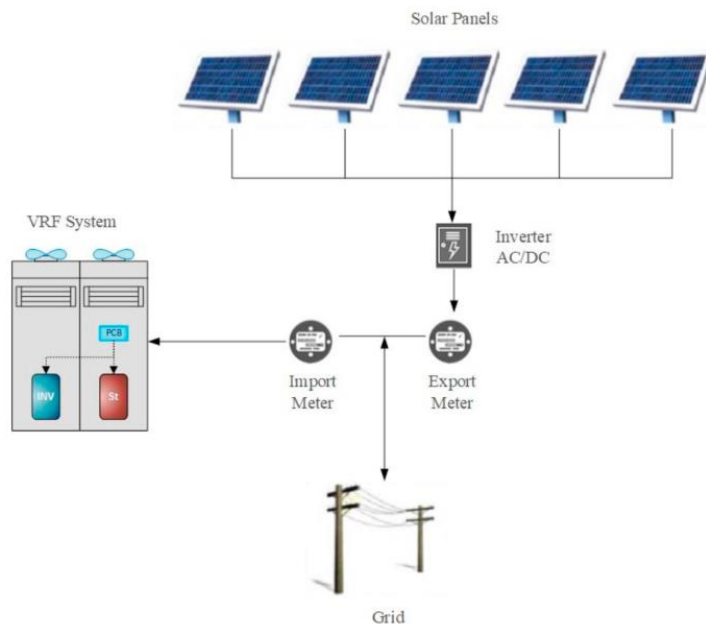
جدول ۴. پارامترهای بخش خارجی VRF

واحد بیرونی	ظرفیت خنک‌کننده نامی ناخالص (کیلو وات)	COP خنک‌کننده با رتبه (-) ناخالص	ظرفیت گرمایش نامی ناخالص (کیلووات)	دمای ناخالص COP (کیلووات)	تعداد کمپرسور	حداکثر	حداقل	نوع کندانسور
						دمای بیرون در حالت خنک‌کننده (°C)	دمای بیرون در حالت خنک‌کننده (°C)	
۱	۲۱/۱	۴/۸۳	۲۳/۷	۴/۷۳	۱	۵۰	-۲۵	خنک‌کننده با هوا

جدول ۵. پارامترهای ماژول فتوولتائیک

پارامتر	مقدار
نوع عملکرد	معادل یک دیود
منطقه فعال (m ²)	۱/۴۶
ضخامت (متر)	۰/۰۳۳
دمای مرجع (°C)	۲۵
عایق حرارتی مرجع (W/m ²)	۱۰۰۰
خروجی برق مصرفی (W)	۲۶۰
جریان اتصال کوتاه (A)	۸/۹۴
جریان ماژول در حداکثر توان (A)	۸/۳۷
جریان ماژول در حداکثر توان (A)	۰/۰۳۷۴۸۵
ولتاژ مدار باز (V)	۳۸/۴
ولتاژ ماژول در حداکثر توان (V)	۳۱/۴
ضریب دمایی ولتاژ مدار باز (V/K)	-۰/۱۱۹۰۴
دمای سلول NOCT (°C)	۴۶
عایق NOCT (W/m ²)	۸۰۰

1. Power Generation
2. Generation
3. Electric Load Center



شکل ۷. شماتیک سیستم یکپارچه VRF-PV

شده است. شکل ۸ نشان می‌دهد طی روز، سطوح بالایی از تابش خورشیدی (تا حدود ۰/۷ کیلووات بر متر مربع) در دسترس است و از نزدیک به ظهر تا غروب خورشید، بیشتر تابش از نوع تابش مستقیم نرمال خورشیدی^۲ است.

همان‌طور که شکل ۸ نشان می‌دهد، بار محسوس سرمایشی^۳ سیستم جریان مبرد متغیر ثابت نیست و طی روز تغییر می‌کند. این موضوع مبتنی بر ماهیت ظرفیت متغیر سیستم‌های جریان مبرد متغیر است. مطابق شکل می‌توان مشاهده کرد که بار محسوس سرمایشی سیستم و در نتیجه، برق مورد نیاز سرمایشی^۴، با افزایش دمای بیرونی^۵ افزایش می‌یابد. به بیان دیگر، سیستم ظرفیت عملیاتی خود را با نیاز سرمایشی ساختمان تنظیم می‌کند. مصرف برق ساعتی نسبتاً کم سیستم خنک‌کننده در مقایسه با بارهای خنک‌کننده مورد نیاز^۶ در شکل ۹، کارایی مناسب سیستم را نشان می‌دهد.

یافته‌ها

در این بخش، مصرف انرژی در سیستم تهویه مطبوع جریان مبرد متغیر، تولید برق آرایه‌های فتوولتائیک و کاهش کربن دی‌اکسید ناشی از به‌کارگیری فتوولتائیک با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از محاسبات دیزاین بیلدر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

صرفه‌جویی انرژی و اثرات زیست محیطی

بارهای سرمایشی سالانه ساختمان و مصرف برق سیستم جریان مبرد متغیر، انتشار کربن دی‌اکسید ساختمان، تولید برق و کاهش کربن دی‌اکسید ناشی از ماژول‌های فتوولتائیک برای شهر منتخب در کشور قبرس محاسبه و بررسی شده است. سیستم جریان مبرد متغیر به گونه‌ای انتخاب و مدل شده است که بتواند دمای داخلی همه مناطق^۱ ساختمان را با حداکثر ۰/۵ درجه سانتی‌گراد انحراف از دمای تنظیم‌شده برای سرمایش ۲۴ درجه سانتی‌گراد طی تابستان تأمین کند. سیستم با حداکثر تعداد ۵ آرایه فتوولتائیک، که هر آرایه دارای ۲۰ ماژول است، در نظر گرفته شد. برای شهر منتخب آکروتیری، ابتدا نتایج یک روز (۲۱ جولای که در آن بالاترین دمای سالانه رخ می‌دهد) برای بررسی دقیق‌تر عملکرد و رفتار سیستم جریان مبرد متغیر و فتوولتائیک در نظر گرفته

2. GHI, Global Horizontal Irradiation: the sum of both diffuse and direct components reaching the same surface.

DNI, Direct Normal Irradiation: is the part of the solar irradiance that directly reaches a surface

DIF, Diffuse Horizontal Irradiation: is the part that is scattered by the atmosphere

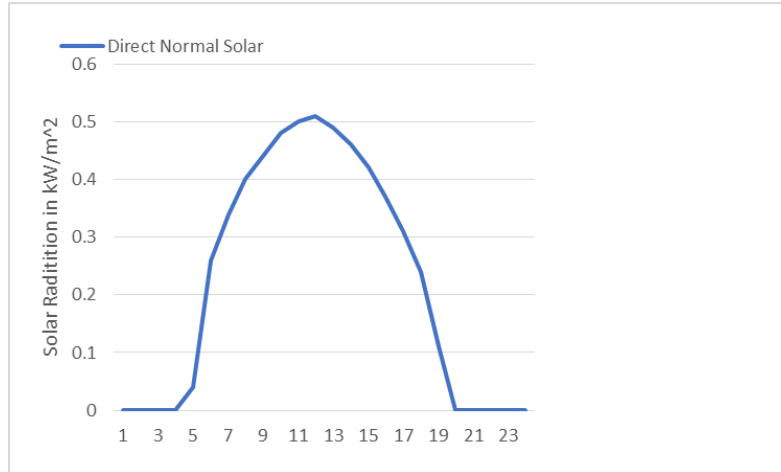
3. Sensible Cooling Load

4. Cooling Electricity

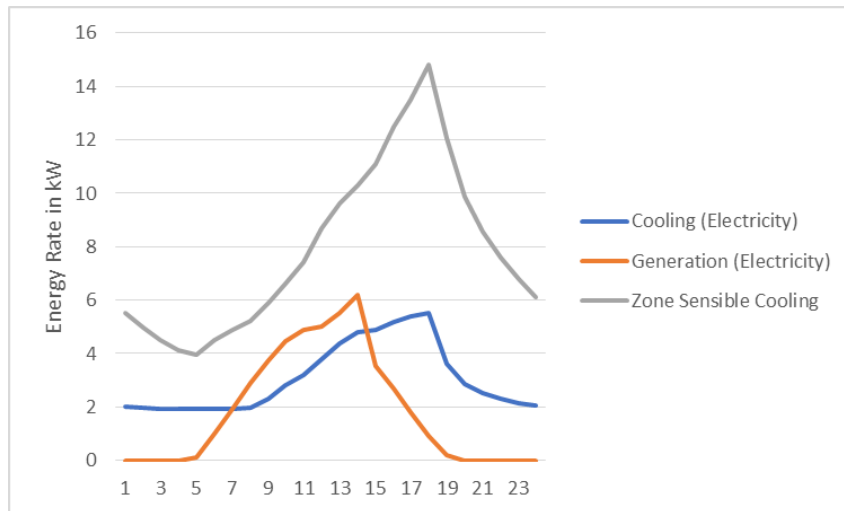
5. Outdoor Dry-bulb Temperature

6. Sensible Cooling

1. zone



شکل ۸. وضعیت تابش DNI خورشید در kW/m² در ۲۱ جولای



شکل ۹. وضعیت نرخ انرژی یک واحد ساختمان در ۲۱ جولای

در شکل‌های ۸ و ۹ نکته قابل توجه این است که حداکثر بار سرمایش محسوس^۱ با زمان بیشترین تابش خورشید هنگام ظهر منطبق نیست و با از چند ساعت تأخیر رخ می‌دهد. این امر به دلیل تأخیر حرارتی^۲ ساختمان است، به این معنا که گرمای حرارتی ذخیره‌شده در لایه‌های بیرونی ساختمان به تدریج از طریق دیوارها منتقل می‌شود و در نهایت، به لایه داخلی می‌رسد و به هوای داخل ساختمان می‌رسد. در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که دمای داخلی یکی از زون‌های مورد نظر مانند اتاق غذاخوری رو به جنوب در طبقه ۵ (شکل ۵) با حداکثر افزایش گرما طی روز، در دمای تنظیم شده

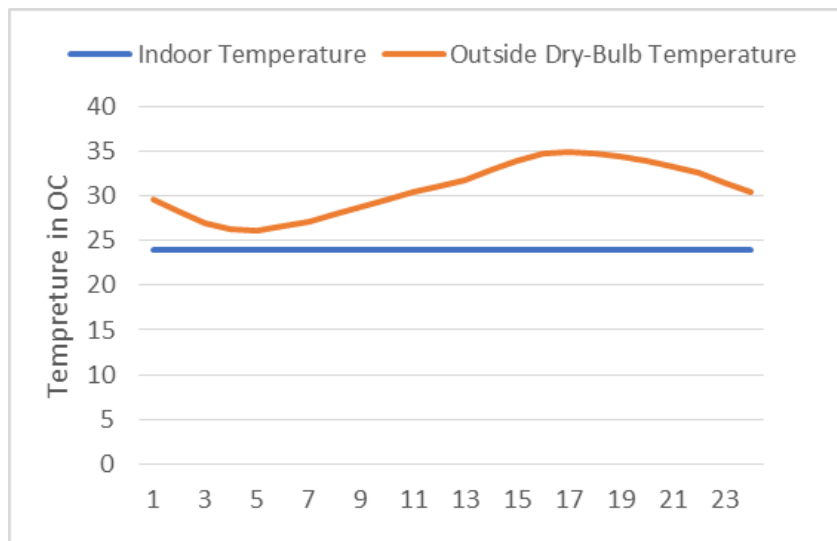
(24°C) ثابت نگه داشته می‌شود. حفظ دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد به این معناست که سیستم خنک‌کننده جریان مبرد متغیر قادر است دمای مطلوب فضای داخلی را در ساعات‌های اوج فصل گرما حفظ کند.

در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ یک همسویی بین دمای حباب خشک خارجی^۳ و بار سرمایشی خنک‌کننده معقول^۴ مشاهده می‌شود که مشخص‌کننده آن است که نرخ انتقال حرارت از طریق ابنیه ساختمان و تغییرات دما بین فضاهای داخلی و خارجی با هم متناسب هستند. به بیان دیگر، این دو منحنی یکدیگر را دنبال می‌کنند.

در شکل‌های ۸ و ۹ نکته قابل توجه این است که حداکثر بار سرمایش محسوس^۱ با زمان بیشترین تابش خورشید هنگام ظهر منطبق نیست و با از چند ساعت تأخیر رخ می‌دهد. این امر به دلیل تأخیر حرارتی^۲ ساختمان است، به این معنا که گرمای حرارتی ذخیره‌شده در لایه‌های بیرونی ساختمان به تدریج از طریق دیوارها منتقل می‌شود و در نهایت، به لایه داخلی می‌رسد و به هوای داخل ساختمان می‌رسد. در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که دمای داخلی یکی از زون‌های مورد نظر مانند اتاق غذاخوری رو به جنوب در طبقه ۵ (شکل ۵) با حداکثر افزایش گرما طی روز، در دمای تنظیم شده

3. Outdoor Dry-bulb Temperature
4. Sensible Cooling

1. Maximum Sensible Cooling Load
2. Thermal Lag



شکل ۱۰. وضعیت دمای خارجی و داخلی یک واحد (اتاق غذاخوری رو به جنوب در طبقه ۵ ساختمان)، در تاریخ ۲۱ جولای

سرمایشی^۲ مورد نیاز است، حداکثر انتشار کربن دی‌اکسید رخ می‌دهد.

شکل ۱۲ نمودارهای وضعیت تابش DNI و DIF خورشید در دو فصل تابستان و پاییز را نشان می‌دهد. شدت بالای تابش DNI و DIF خورشید در کشور قبرس و در شهر آکروتیری در شکل ۱۲ مشهود است. شکل ۱۳ وضعیت برق (kW) مورد نیاز سرمایش و برق تولیدی فتوولتائیک، در فصل تابستان و پاییز را نشان می‌دهد. علت منفی بودن مقادیر برق تولیدشده توسط فتوولتائیک آن است که سیستم در دیزاین بیلدر به گونه‌ای تعریف شده است که وقتی تابش باشد، تولید برق پنل خورشیدی وجود دارد و چون برق تولید می‌شود، عدد یادشده در نمودار منفی است، اما برق مصرفی یا به بیانی برق مورد نیاز برای سیستم سرمایش، با مقادیر مثبت نشان داده می‌شوند.

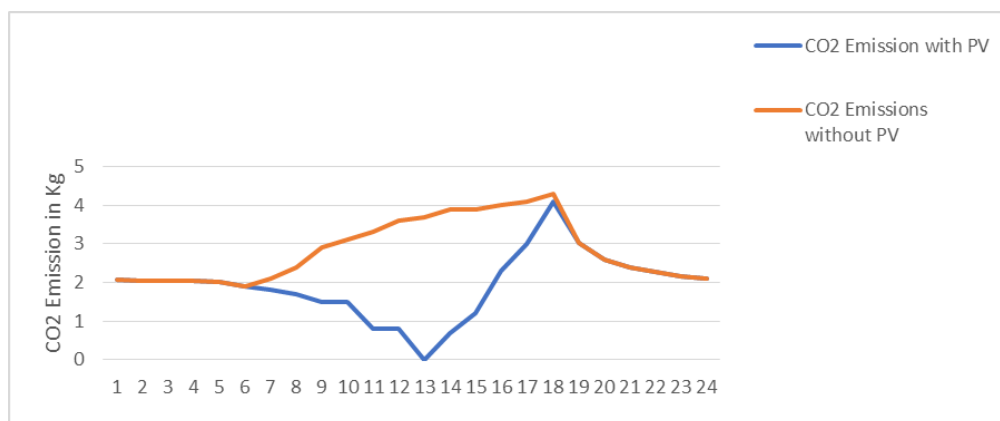
تغییرات دمای حباب خشک خارجی^۳ و دمای اتاق غذاخوری رو به جنوب در طبقه ۵ ساختمان در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود. دمای داخلی در محدوده مطلوب و تنظیم شده بین ۱۸ درجه سانتی‌گراد گرمایش و ۲۴ درجه سانتی‌گراد سرمایش باقی می‌ماند. به این معنا که سیستم جریان مبرد متغیر قادر است آسایش حرارتی مورد نظر را حفظ کند.

شکل ۱۰ مقایسه مقدار تقاضای ساعتی برق سیستم جریان مبرد متغیر برای سرمایش را با مقدار برق تولیدی از طریق ماژول‌های نوری نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که بین ساعت ۱۱ تا ۱۵ که بیشترین مقدار تابش وجود دارد، تولید برق توسط فتوولتائیک از برق مورد نیاز سیستم جریان مبرد متغیر بیشتر است. کل برق تولیدی روزانه توسط فتوولتائیک‌ها، تنها ۵۴ درصد برق مورد نیاز روزانه جریان مبرد متغیر را تأمین می‌کند. وضعیت انتشار کربن دی‌اکسید ساختمان در حالت به‌کارگیری / عدم به‌کارگیری ماژول‌های فتوولتائیک در شکل ۱۱ نشان داده شده است. (برای غیر فعال کردن تولید برق از طریق فتوولتائیک کافی است که در مدل طراحی شده در نرم‌افزار دیزاین بیلدر و در بخش Generation، مراکز تولید برق فتوولتائیک معرفی شده به سیستم غیر فعال شود و دوباره شبیه‌سازی^۱ انجام گیرد.)

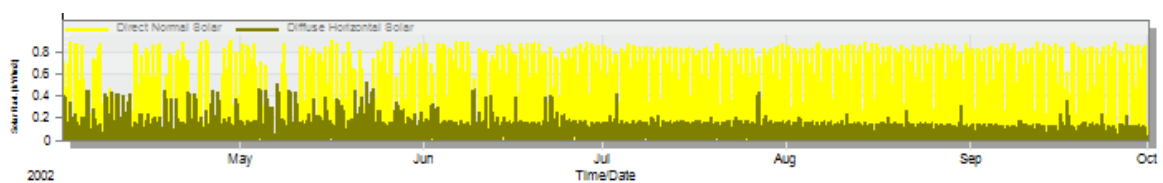
با توجه به اینکه حدود ساعت ۱۳ حداکثر برق از سوی فتوولتائیک (شکل ۱۰) تولید می‌شود که به کمک تأمین برق مورد نیاز سیستم سرمایش خواهد آمد، حداقل انتشار کربن دی‌اکسید در آن زمان است. در صورتی که از فتوولتائیک استفاده نشود، انتشار کربن دی‌اکسید به صورت تقریباً یکنواخت ادامه یافته تا اینکه در ساعت‌های حداکثر Sensible Cooling که همان حداکثر برق

2. Cooling Electricity
3. Outdoor Dry-bulb Temperature

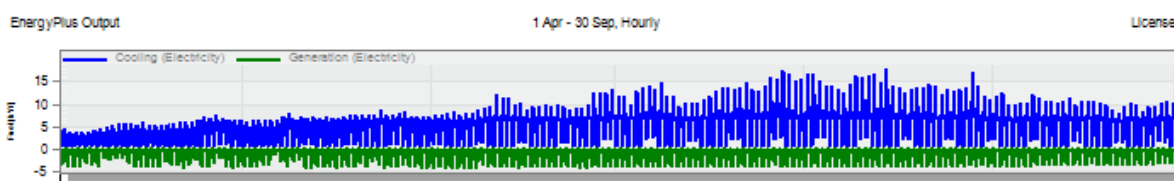
1. Simulation



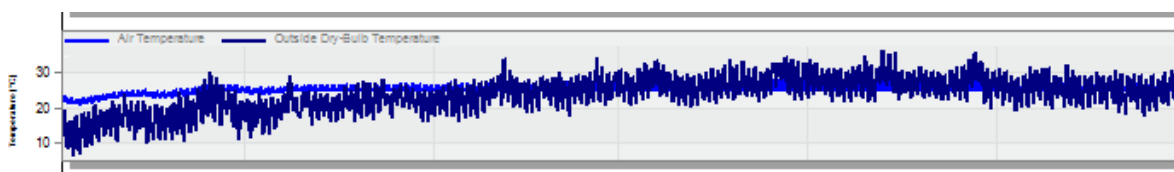
شکل ۱۱. وضعیت انتشار دی‌اکسید کربن در ۲۱ جولای



شکل ۱۲. وضعیت تابش DNI و DIF خورشید در فصل تابستان و پاییز



شکل ۱۳. وضعیت برق (Kw) مورد نیاز سرمایش و برق تولیدی فتوولتائیک، در فصل‌های تابستان و پاییز



شکل ۱۴. وضعیت دمای خارجی و دمای اتاق غذاخوری رو به جنوب در طبقه ۵ ساختمان، در فصل‌های تابستان و پاییز

بحث و نتیجه‌گیری

مناطقى که دارای آب‌وهوای گرم و مرطوب بوده و شدت تابش خورشید در آن‌ها زیاد است، این پتانسیل را دارند که با استفاده از سیستم‌های تهویه مطبوع از جمله سیستم جریان مبرد متغیر با انرژی‌های تجدیدپذیر (مانند خورشید) بتوانند مصارف برق خانگی خود را کاهش داده و در عین حال، بیش از نیمی از مصرف سالانه سرمایش و گرمایش خانگی را تأمین کنند. در این مقاله یک سیستم پمپ حرارتی جریان مبرد متغیر با به‌کارگیری ماژول‌های

نوری در یک مجتمع مسکونی ۵ طبقه در شهر آکروتیری کشور قبرس مورد بررسی قرار گرفت. شدت تابش خورشید در این شهر برابر ۱۸۵۲ کیلووات‌ساعت و مصرف برق سالانه یک سیستم جریان مبرد متغیر حدود ۱۸۵۰۰ کیلووات‌ساعت است. نتایج نشان می‌دهد با توجه به مدت تابش خورشید طی روز، کل برق تولیدی روزانه توسط فتوولتائیک‌ها، فقط ۵۴ درصد برق مورد نیاز روزانه جریان مبرد متغیر را تأمین می‌کند که این مقدار تأثیر زیادی در کاهش مصرف برق از

- optimization of solar façades in urban canopy layers. *Energy Procedia*. 2012;30:1163-72.
- [7]. Sola A, Corchero C, Salom J, Sanmarti M. Multi-domain urban-scale energy modelling tools: A review. *Sustainable Cities and Society*. 2020;54:101872.
- [8]. Hedegaard RE, Kristensen MH, Pedersen TH, Brun A, Petersen S. Bottom-up modelling methodology for urban-scale analysis of residential space heating demand response. *Applied Energy*. 2019;242:181-204.
- [9]. Yu X, Yan D, Sun K, Hong T, Zhu D. Comparative study of the cooling energy performance of variable refrigerant flow systems and variable air volume systems in office buildings. *Applied energy*. 2016;183:725-36.
- [10]. Zhang R, Sun K, Hong T, Yura Y, Hinokuma R. A novel Variable Refrigerant Flow (VRF) heat recovery system model: Development and validation. *Energy and Buildings*. 2018;168:399-412.
- [11]. Zhai ZJ, Rivas J. Promoting variable refrigerant flow system with a simple design and analysis tool. *Journal of Building Engineering*. 2018;15:218-28.
- [12]. Enteria N, Yamaguchi H, Miyata M, Sawachi T, Kuwasawa Y. Performance evaluation of the variable refrigerant flow (VRF) air-conditioning system subjected to partial and unbalanced thermal loadings. *Journal of Thermal Science and Technology*. 2016;11(1):JTST0013-JTST.
- [13]. Liu J, Wang J, Li G, Chen H, Shen L, Xing L. Evaluation of the energy performance of variable refrigerant flow systems using dynamic energy benchmarks based on data mining techniques. *Applied energy*. 2017;208:522-39.
- [14]. Matsumoto K, Ohno K, Yamaguchi S, Saito K. Numerical analysis of control characteristics of variable refrigerant flow heat-pump systems focusing on the effect of expansion valve and indoor fan. *International Journal of Refrigeration*. 2019;99:440-52.
- [15]. Virta M, Itkonen H, Mustakallio P, Kosonen R, editors. Energy efficient HVAC-system and building design. *Proceedings of Clima*; 2010.
- [16]. Hazyuk I, Ghiaus C, Penhouet D. Optimal temperature control of intermittently heated buildings using Model Predictive Control: Part I—Building modeling. *Building and Environment*. 2012;51:379-87.
- شبکه و تأثیر بسیار زیادی بر کاهش کربن دی‌اکسید به مقدار ۱۴ تن در سال دارد.
- در این پژوهش تنظیم جریان مبرد متغیر در مدل به گونه‌ای بوده است که تغییر دمای داخلی از دمای تنظیم‌شده برای سرمایش ۲۴ درجه سانتی‌گراد طی تابستان، حداکثر ۰/۵ درجه سانتی‌گراد می‌تواند منحرف شود. بنابراین، اگر در مدل امکان نوسان بیشتری به دمای داخلی نسبت به نقطه تنظیم شده داده شود، سایز واحد خارجی جریان مبرد متغیر می‌تواند کاهش یابد که این خود موجب کاهش بیشتر برق مصرفی سیستم تهویه مطبوع مجتمع می‌شود.
- در این پژوهش برای مدل‌سازی از نرم‌افزار دیزاین بیلدر و از سیستم جریان مبرد متغیر هوا خنک با تأمین برق فتوولتائیک استفاده شد و ضمن محاسبات بار حرارتی، امکان تأمین برق مورد نیاز از فتوولتائیک مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین، با توجه به هزینه‌های خرید، نصب و راه‌اندازی و تعمیر و نگهداری سیستم یادشده و قیمت برق، بخش تحلیل اقتصادی در پژوهش آینده مد نظر قرار گیرد. در عین حال، به‌کارگیری توربین بادی به عنوان یکی دیگر از منابع تجدیدپذیر، دیگر موضوع برای پژوهش بعدی می‌تواند در نظر گرفته شوند.

منابع

- [1]. Abergel T, Dean B, Dulac J. Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector: Global Status Report 2017. UN Environment and International Energy Agency: Paris, France. 2017;22.
- [2]. Yang L, Yan H, Lam JC. Thermal comfort and building energy consumption implications—a review. *Applied energy*. 2014;115:164-73.
- [3]. Zahedi R, Zahedi A, Ahmadi A. Strategic Study for Renewable Energy Policy, Optimizations and Sustainability in Iran. *Sustainability*. 2022;14(4):2418.
- [4]. Alberti M, Waddell P. An integrated urban development and ecological simulation model. *Integrated Assessment*. 2000;1(3):215-27.
- [5]. Maghzian A, Aslani A, Zahedi R. Review on the direct air CO₂ capture by microalgae: Bibliographic mapping. *Energy Reports*. 2022;8:3337-49.
- [6]. Lobaccaro G, Fiorito F, Masera G, Poli T. District geometry simulation: a study for the

- [17]. Lam KP, Zhao J, Ydstie EB, Wirick J, Qi M, Park JH. An EnergyPlus whole building energy model calibration method for office buildings using occupant behavior data mining and empirical data. *ASHRAE Journal*. 2014;160-7.
- [18]. Esabegloo A, Haghshenas M, Borzoui A. Comparing the results of thermal simulation of rasoulia house in Yazd by design builder software, with experimental data. *Iran University of Science & Technology*. 2016;26(2):121-30.