ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. 2022;22(02):81-92

Design and Feasibility Analysis of a HVAC System Based on CCHP, Solar Heating and Ice Thermal Storage for Residential Buildings

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Authors
Etemad A.[1]
Abdalisousan A.[2*]
Aliehyaei M.[3]

How to cite this article
A. Etemad, A. Abdalisousan, M. Aliehyaei, Design and Feasibility Analysis of a HVAC System Based on CCHP, Solar Heating and Ice Thermal Storage for Residential Buildings, Modares Mechanical Engineering, Modares Mechanical Engineering. 2022;22(02):81-92.

[1] Department of Energy Engineering and Economics, Science and research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
[2] Department of engineering, Astara branch, Islamic Azad University, Astara, Iran.
[3] Department of mechanical engineering, Pardis Branch, Islamic Azad University, Pardis, Iran.

Correspondence
Address: Department of engineering, Astara branch, Islamic Azad University, Astara, Iran.

Ashkan.abdali@gmail.com

Article History
Received: October 05, 2020
Accepted: July 27, 2021
ePublished: December 25, 2022

ABSTRACT

A significant portion of world energy consumption belongs to building sector, And HVAC systems have an important share in building energy usage. In this research, a novel HVAC system has been proposed which is based on three technologies of combined heating and power, ice thermal energy storage, and solar heating. The system is named CCHP-ITESS as an abbreviation of previously mentioned technologies. This system was modeled on a case study building in Tehran, to obtain energy consumption, costs, and payback results in comparison with conventional HVAC systems. In order to realize the effect of energy prices on the economical results, the same system and building were simulated for the city of Los Angeles, California, US. The results showed that both scenarios will lead to significant reduction in net source energy consumption, which is 36.87% reduction in Tehran and 40.28% reduction in Los Angeles. However, the system is not economically reasonable in Tehran because of the low energy prices and has a 39 years of payback period, but is absolutely feasible in Los Angeles with ab payback period of less than 3.5 years. As a result, application of this system is feasible in Los Angeles and not feasible in Tehran.

Keywords Combined Heating and Power, Ice Thermal Energy Storage, Solar Heating, Air Conditioning, Thermoeconomics

CITATION LINKS

[1] Keeping global warming within 1.5 C constrains emergence of aridification. [2] The global exchange for energy efficiency policies, data and analysis. [3] Iran Energy Balance Sheet. [4] Hybrid solar-assisted combined cooling, heating, and power systems: A review. [5] Integrated adsorption-based multigeneration systems: A critical review and future trends. [6] Exergy analysis in combined heat and power systems: A review. [7] Thermodynamic performance analyses for CCHP system coupled with organic Rankine cycle and solar thermal utilization under a novel operation strategy. [8] Design and feasibility study of combined heat and power systems integrated with heat pump. [9] Performance Analysis of Indirect Absorption Chiller based on CHP System Components. [10] Energy and emissions analysis of ice thermal energy storage in the western US. [11] analysis and multi-objective optimization of an ice thermal energy storage for air-conditioning applications. [12] Study on optimal ice storage capacity of ice thermal storage system and its influence factors. [13] Optimal energy reduction schedules for ice storage air-conditioning systems. [14] Data analytics and optimization of an ice-based energy storage system for commercial buildings. [15] Model-based predictive control of an ice storage device in a building cooling system. [16] Energy and cost assessment of packaged ice energy storage implementations using OpenStudio Measures. [17] Case studies of thermal energy storage (TES) systems: Evaluation and verification of system performance. [18] An evaluation of heat transfer and effectiveness for unglazed transpired solar air heaters. [19] Overview of solar technologies for electricity, heating and cooling production. [20] Nanofluids for improved efficiency in cooling solar collectors–a review. [21] Climatic data for building design standards. [22] ASHRAE Handbook HVAC systems and equipment. [23] Performance assessment of some ice TES systems. [24] Energy Star. [25] New energy technologies, innovation and clean coal. [26] Thermo-economic optimization of an ice thermal energy storage system for air-conditioning applications. [27] Iran Electicity Tariff. [28] Iran CHP Power Feed-in Tariff. [29] SCE Electricity Tariff [30] Central Bank of Iran: Inflation rate.

Copyright© 2020, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

طراحی و امکان‌سنجی سیستم تهویه مطبوع مبتنی بر CHP، گرمایش خورشیدی و سیستم ذخیره انرژی یخ برای ساختمان‌های مسکونی

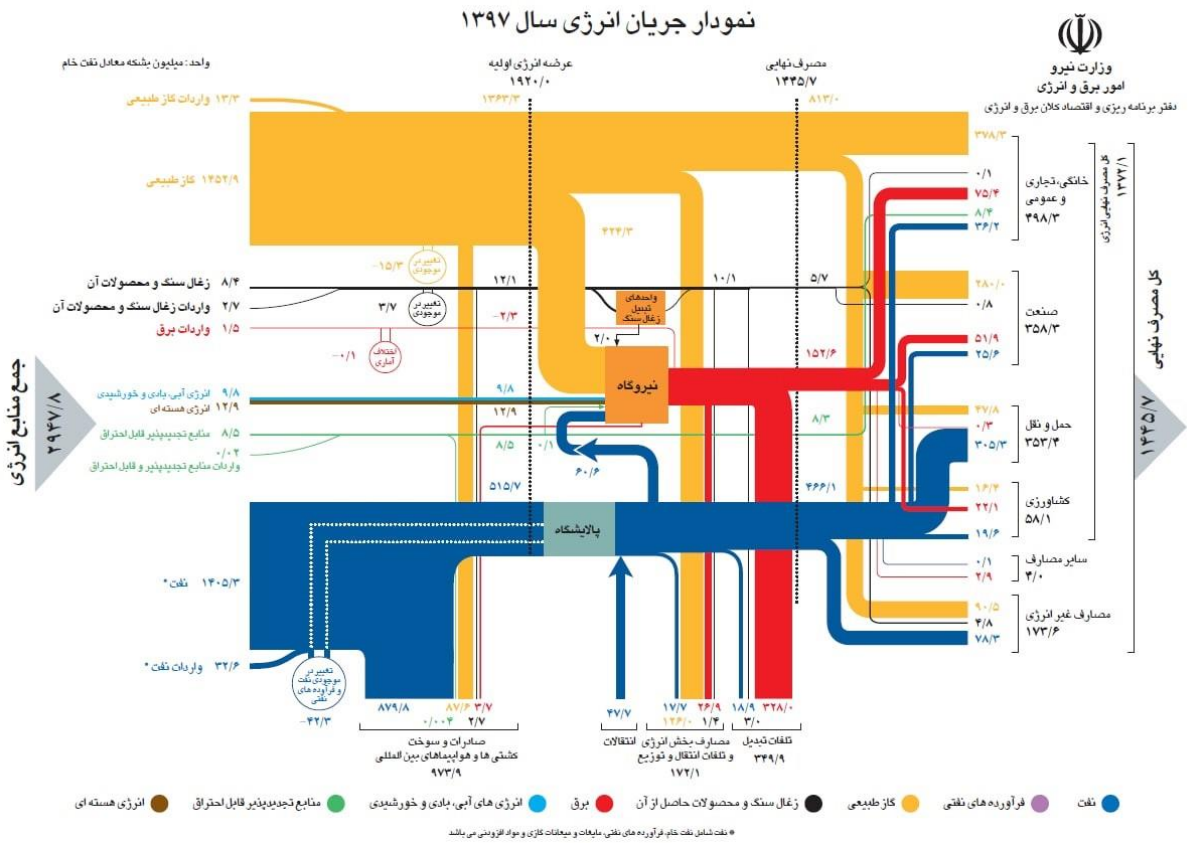
علیرضا اعتماد
گروه مهندسی انرژی و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
اشکان عبدالی سوسن*
گروه فنی و مهندسی، واحد آستارا، دانشگاه آزاد اسلامی، آستارا، ایران
مهدی علی احیایی
گروه مهندسی مکانیک، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی، پردیس، ایران

چکیده
بخش قابل توجهی از مصرف انرژی و آلودگی محیط زیست در جهان به صنعت ساختمان اختصاص دارد. در این میان سیستم های تهویه مطبوع سهم مهمی از مصرف انرژی ساختمان دارند. در این تحقیق، یک سیستم نوین تهویه مطبوع بر اساس ترکیب سه فناوری تولید همزمان برق و حرارت، ذخیره انرژی یخ، و گرمایش خورشیدی طراحی و مدل‌سازی شده است. این سیستم به اختصار CCHP-ITESS نامیده شده است که برگرفته از اختصارات سه فناوری فوق الذکر است. به‌عنوان مطالعه موردی، امکان‌سنجی پیاده‌سازی این سیستم در یک ساختمان مسکونی در شهر تهران ازنظر مصرف انرژی و توجیه‌پذیری اقتصادی مورد بررسی قرارگرفته است. نتایج مصرف انرژی، هزینه و دوره برگشت سرمایه برای این پروژه برای شهر تهران بررسی شده و به منظور ارزیابی تاثیر تعرفه های انرژی بر توجیه پذیری اقتصادی، سیستم پیشنهادی بر روی همان ساختمان مورد مطالعه در شرایط آب و هوایی و تعرفه های انرژی شهر لس آنجلس در ایالت کالیفرنیای آمریکا مدلسازی شد. نتایج نشان می دهد که در هر دو سناریو، به کارگیری سیستم پیشنهادی منجر به کاهش قابل توجه انرژی مبدا می گردد که این کاهش برای تهران ۳۶/۸۷ درصد و برای لس آنجلس ۴۰/۲۸ درصد است. اما به دلیل تفاوت در تعرفه های انرژی، دوره بازگشت سرمایه این سیستم در تهران حدود ۳۹ سال و در لس آنجلس حدود ۳/۲ سال می باشد. در نتیجه به‌کارگیری این سیستم در شرایط شهر تهران توجیه ناپذیر و در آمریکا، توجیه پذیر است.

کلیدواژه‌ها: تولید همزمان برق و حرارت، ذخیره انرژی حرارتی یخ، گرمایش خورشیدی، تهویه مطبوع، ترمواکونومیک

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۵
*نویسنده مسئول: Ashkan.abdali@gmail.com

۱- مقدمه
۱-۱- اهمیت پژوهش‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان
مصرف بی رویهٔ انرژی در قرن گذشته و رشد تقاضای انرژی جهان در سال‌های اخیر اثرات جبران‌ناپذیری از قبیل گرمایش زمین، آلودگی منابع آبی، انقراض گونه‌های جانوری و گیاهی و غیره بر محیط‌زیست وارد کرده است. این در حالی است که با توجه به مطالعه اخیر مجله نیچر درصورتی‌که تا سال ۲۱۰۰ میلادی برنامه محدود کردن افزایش دمای کره زمین تا ۱/۵°C مدنظر باشد، می‌بایست انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۶۰ میلادی در جو زمین متوقف شود[1]. مسائل مذکور و مشکلات دیگری از قبیل افزایش روزافزون مصرف انرژی و عدم امنیت حامل‌های انرژی باعث شده است تا بحث توسعه پایدار موردتوجه بسیاری از کشورها قرار گیرد و مسیر توسعه خود را بر اساس معیارهای پایداری هموار سازند. در این میان، صرفه‌جویی انرژی و جایگزینی استفاده از منابع فسیلی با منابع انرژی تجدید پذیر از مهم‌ترین راهکارها برای جلوگیری یا کاهش اثرات مذکور، برقراری تعادل اکولوژیک و حرکت به سمت توسعه پایدار جهان به شمار می‌رود.
یکی از اصلی‌ترین بخش‌های مصرف‌کننده انرژی در جهان، بخش ساختمان است. به‌گونه‌ای که بخش ساختمان و فعالیت‌های انسان در ساختمان ۳۱٪ از تقاضای انرژی نهایی کل و حدود یک‌سوم آلایندگی‌های گاز کربن دی‌اکسید را در جهان در برمی‌گیرد[2].
در ایران نیز، با استناد به نمودار جریان انرژی کشور ایران در سال ۱۳۹۷، کل مصرف نهایی انرژی کشور ۱۴۴۵/۷ میلیون بشکه معادل نفت خام می‌باشد که ۴۹۸/۳ میلیون بشکه معادل نفت خام یا به‌عبارت‌دیگر ۳۵٪ از کل مصرف انرژی کشور به بخش خانگی و تجاری اختصاص دارد[3]. شکل ۱ نمودار جریان کل انرژی مصرفی ایران در سال ۱۳۹۷ شمسی[3] را نشان می‌دهد.
۱-۲- پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه سیستم تولید هم‌زمان برق و حرارت (CHP)
مقالات مروری زیادی به بررسی مزایای این سیستم‌ها از جنبه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و بهره‌وری انرژی پرداخته‌اند[4-6]. جیا و همکاران[7] یک سیستم جدید مبتنی بر CCHP و سیکل رانکین ارگانیک و کلکتور خورشیدی را با سیستم CCHP معمولی از منظر ترمواکونومیک مقایسه و تحلیل نمودند. چو و همکاران[8] ترکیب سیستم CHP با پمپ حرارتی هوا خنک به‌منظور تأمین گرمایش یک ساختمان کوچک را بررسی و شبیه‌سازی کردند. در پژوهش‌های داخل کشور نیز خسرو پور عربی و همکاران تأثیر به‌کارگیری چیلر جذبی در کنار CHP و بهینه‌سازی اجزای آن را موردبررسی قراردادند[9].
۱-۳- پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه ذخیره انرژی حرارتی یخ
در حوزه سرمایش، یکی از راهکارهای نوین در کاهش بار وارد بر چیلر در ساعات اوج مصرف و نیز کاهش ظرفیت چیلرها، استفاده از سیستم های ذخیره‌ساز انرژی حرارتی یخ (ITES) می‌باشد. مزیت اصلی سیستم های ذخیره یخ این است که می‌توانند مصرف انرژی را از ساعات اوج بار به خارج از ساعات اوج بار منتقل کنند. همچنین در تعرفه‌های برق که بر اساس ساعت مصرف تنظیم می‌شوند، این سیستم‌ها می‌توانند یک رویکرد مهم در کاهش هزینه‌ها باشند. سپهری و نلسون[10] با پیاده‌سازی یک سیستم ذخیره یخ در سه شهر غربی ایالات متحده، تاثیر دمای هوا و شدت تابش خورشید را بر عملکرد سیستم، بهره وری انرژی و ردپای کربن



شکل ۱) نمودار جریان انرژی کشور در سال ۱۳۹۷[3]

ارزیابی کردند. همچنین سنایی و همکاران[11] یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای سیستم ذخیره یخ ارائه دادند که در آن بهره‌وری اگزرژی و هزینه‌های مالی به‌عنوان دو تابع هدف در نظر گرفته شدند. سونگ و همکاران[12] با بررسی راهکارهای مختلف در آرایش چیلرها و مخازن و استراتژی‌های کنترلی، روشی برای محاسبه ظرفیت بهینه سیستم ذخیره یخ و فاکتورهای مؤثر بر آن ارائه کردند. لین و همکاران[13] یک الگوریتم بهینه برای طراحی اجزای سیکل چیلر و ذخیره‌ساز یخ ارائه دادند که که به کارگیری سیستم ذخیره یخ را به همراه یک چیلر مستقل و دو چیلر کمکی با سیستم لوله کشی اولیه/ثانویه امکان سنجی می کند.

همچنین، نتیجه‌گیری‌های مشابهی در پژوهش‌های جداگانه توسط لو و همکاران[14] و کاندندو و همکاران[15]، به‌منظور طراحی بهینه سیستم ذخیره‌ساز یخ در کنار چیلر حاصل شده است.

هاین و همکاران[16] یک سیستم تهویه مطبوع مرکزی مجهز به سیستم ذخیره انرژی حرارتی یخ را با کمک نرم افزار Openstudio شبیه سازی کردند که نتیجه آن، حدود ۳۲ تا ۳۶ درصد صرفه‌جویی در بار سرمایشی ساختمان مورد مطالعه بود. آنها همچنین آنالیز هزینه سیستم را بر اساس چند نوع تعرفه برق متفاوت انجام دادند.

یکی از نمونه‌های موردی استفاده از سیستم ذخیره انرژی حرارتی یخ در ساختمان‌های بلندمرتبه، مربوط به ساختمان بلندمرتبه اداری در شهر سان‌فرانسیسکو می‌باشد[17]. این ساختمان ۲۴ طبقه با مجموع متراژ بیش از ۲۴۰۰۰ مترمربع دارای بار سرمایشی ۴۶۰ تن تبرید در زمان اوج تقاضای بار است. این ساختمان مجهز به یک سیستم ذخیره یخ به ظرفیت ۱۹۲۰ تن-ساعت می‌باشد. چیلر مورداستفاده در ساختمان، دارای دو کمپرسور ۷۰ تن تبریدی که ۲۴ ساعته فعال هستند. به‌طوری که در هنگام شب، برودت موردنیاز برای تولید یخ را فراهم می‌کنند و در طول روز، در کنار سیستم ذوب یخ‌های تهیه شده، به تأمین بخشی از بار برودتی که فراتر از ظرفیت سیستم انرژی حرارتی یخ است اختصاص می یابند.

۱-۴- پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه استفاده از انرژی حرارتی خورشید در ساختمان

سیستم های مبتنی بر گرمایش خورشیدی سال هاست در پژوهش ها و کاربردهای گوناگون به کار می روند. صفحه های جمع آورنده حرارت خورشیدی عمدتا ازنظر شکل ظاهری به گردآورنده‌های تخت و منحنی تقسیم می‌شوند. گردآورنده‌های صفحه تخت می‌توانند دارای روکش شیشه ای یا بدون شیشه باشند. کالینز[18] از گردآورنده‌های تخت بدون شیشه به‌عنوان راهکاری برای پیش گرم کردن هوای تهویه استفاده کرد. به عقیده ستینو و همکاران[19] گردآورنده‌های تخت دارای شیشه عمدتا برای کاربردهای گرمایش آب مصرفی گزینه مناسبی هستند. علاوه بر شکل ظاهری،

گردآورنده‌های خورشیدی را می‌توان ازنظر سیال مورداستفاده بررسی کرد. پژوهش‌های زیادی در خصوص تأثیر سیال عامل مورداستفاده در عملکرد سیستم های گرمایش خورشیدی انجام‌شده است که مروری بر آن‌ها در مقاله‌ای توسط الشمانی و همکاران[20] صورت گرفته است.

۲- روش اجرای تحقیق

۲-۱- معرفی ساختمان موردمطالعه

۲-۱-۱- مشخصات عمومی

به‌منظور ارزیابی قابلیت پیاده‌سازی و کاربرد سیستم پیشنهادی در یک ساختمان با مشخصات حقیقی، یک ساختمان در شهر تهران مورد مدل‌سازی قرار گرفت. بدیهی است که محاسبات و تعیین ظرفیت اجزای سیستم تهویه مطبوعی پیشنهادی، به بار حرارتی و برودتی که از مشخصه‌های این ساختمان می‌باشد، بستگی دارد. ساختمان موردمطالعه در این پروژه، یک آپارتمان مسکونی با تعداد طبقات مجموعاً ۱۶ طبقه شامل ٤ طبقه پارکینگ، یک طبقه همکف و ۱۱ طبقه مسکونی در شمال شهر تهران می‌باشد. سازه این ساختمان از نوع اسکلت فولادی است. در شکل ۲ نمای بیرونی ساختمان مدل‌سازی شده در محیط نرم‌افزار دیزاین بیلدر نمایش داده شده است.

۲-۱-۲- مشخصات مصالح و پوسته ساختمان

دیوارهای خارجی این ساختمان که تأثیر مهمی بر بار حرارتی و برودتی آن دارد، از جنس بلوک سبک لیکا، نمای سنگ تراورتن، و سطح داخلی گچ کاری شده می‌باشد. ضریب انتقال حرارت دیوارهای خارجی این ساختمان ۰٫۵۸۱ $W/m^2.K$ است. ضخامت این دیوارها مجموعا حدود ۲۱ سانتیمتر است.

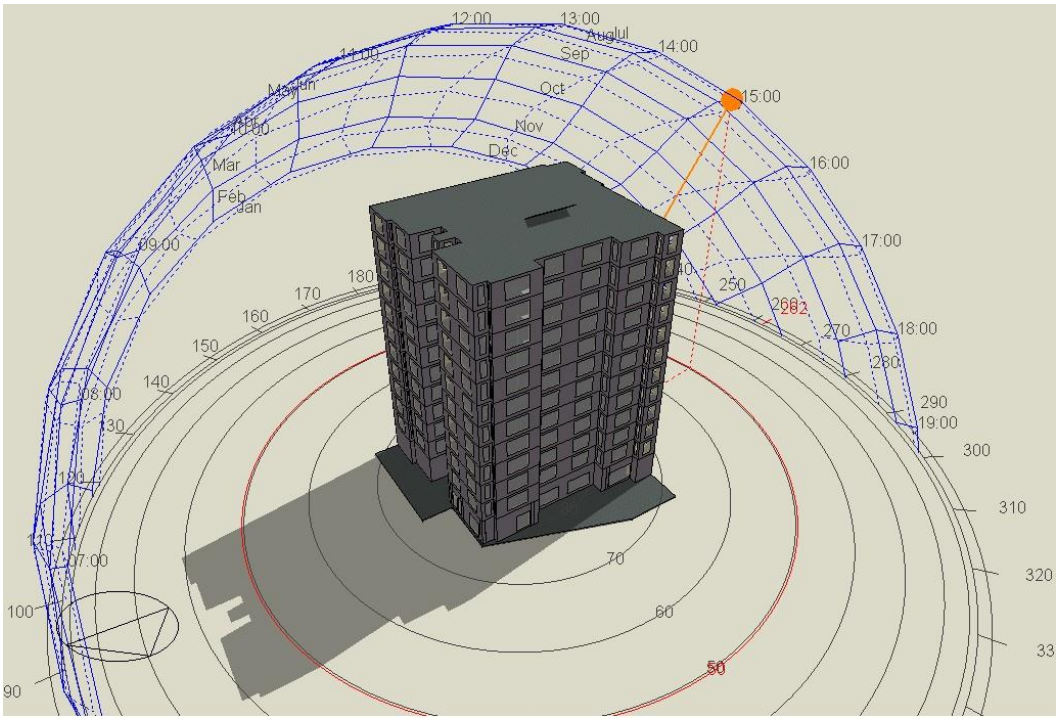
همچنین بام این ساختمان که از نوع عرشه فولادی متشکل از لایه‌های قیرگونی و نازک‌کاری موزاییک است، دارای ضریب انتقال حرارت ساختمان، ۰٫۷٤۹ $W/m^2.K$ می‌باشد. ضخامت سقف حدود ۳۱ سانتیمتر در نظر گرفته‌شده است.

پنجره‌های به‌کاررفته در این پروژه از نوع دو جداره معمولی با پروفیل آلومینیوم متشکل از دو لایه شیشه به ضخامت ٤ میلیمترو یک لایه هوای میانی به ضخامت ٦ میلیمتر می‌باشد. این پنجره ها به صورت تقریبا یکنواخت در هر چهار وجه شرق و غرب و شمال و جنوب ساختمان توزیع شده اند. ضریب انتقال حرارت این پنجره ها ۳٫۱٤٦ $W/m^2.K$ محاسبه شده است. به طور کلی نرخ نفوذ هوا از پوسته ساختمان معادل یک بار تعویض هوا در ساعت در نظر گرفته‌شده است.

۲-۱-۳- کاربری ساختمان و بارهای داخلی

کاربری این ساختمان از نوع مسکونی با تراکم جمعیت ۰٫۰۲ نفر به ازای هر مترمربع در نظر گرفته‌شده است. دمای تنظیم شده ترموستات های فضاهای داخلی در فصل تابستان ۲٤ درجه سانتیگراد و در فصل زمستان ۲۲ درجه سانتیگراد در نظر گرفته می‌شود.

لوازم الکتریکی مورداستفاده در ساختمان مطابق عرف ساختمان‌های مسکونی با چگالی توان ۱۳ وات بر مترمربع مدل‌سازی شده است. همچنین چگالی توان سیستم روشنایی ٤ وات بر مترمربع می‌باشد. ضمنا در این پروژه اجاق ها و تجهیزات



شکل ۲) نمای بیرونی ساختمان موردمطالعه

پخت‌وپز از نوع الکتریکی هستند و از گاز برای پخت‌وپز استفاده نمی‌شود. درنتیجه مصرف گاز صرفاً مختص نیازهای گرمایش می‌باشد.

۲-۲- آب و هوای شهرهای موردمطالعه

دو شهر تهران در ایران و لس آنجلس در ایالت کالیفرنیای ایالات متحده آمریکا در این پژوهش بر اساس شرایط آب و هوایی و همچنین تعرفه‌های انرژی موردمطالعه قرارگرفته‌اند.

۲-۲-۱- شرایط اقلیمی تهران

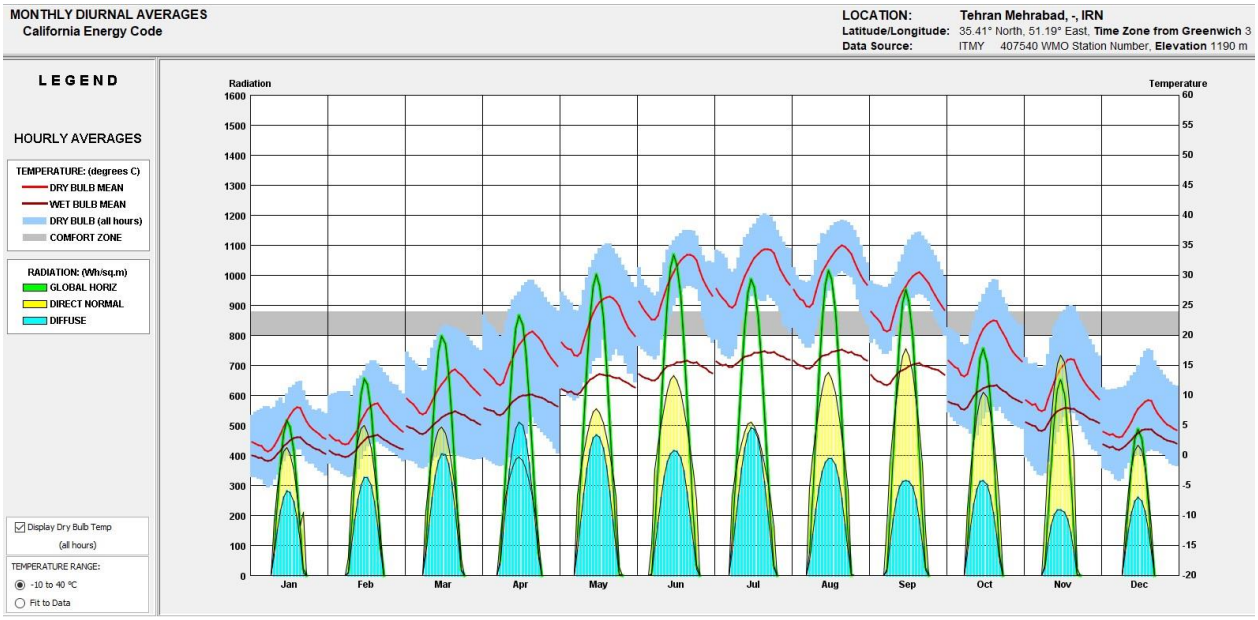
نمودار های دمای هوا وشدت تابش خورشیدی برای شهر تهران در شکل ۳ و شکل ٤ نمایش داده شده است. تهران در پهنه بندی اقلیمی ASHRAE در منطقه اقلیمی B۳ قرار می‌گیرد[21].

۲-۲-۲- شرایط اقلیمی شهر لس آنجلس

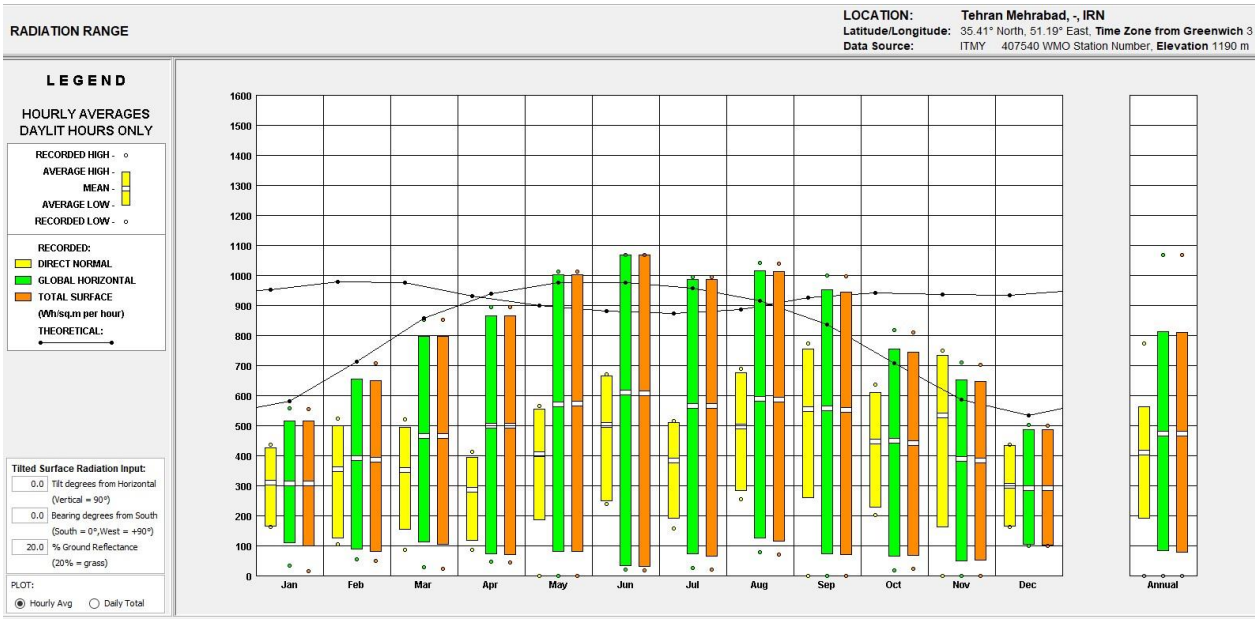
نمودار های دمای هوا و شدت تابش خورشیدی برای شهر لس آنجلس در شکل ۵ و شکل ٦ نمایش داده شده است. این شهر نیز در پهنه بندی اقلیمی ASHRAE در منطقه اقلیمی B۳ قرار می‌گیرد[21].

۲-۳- معرفی سیستم و اجزای آن

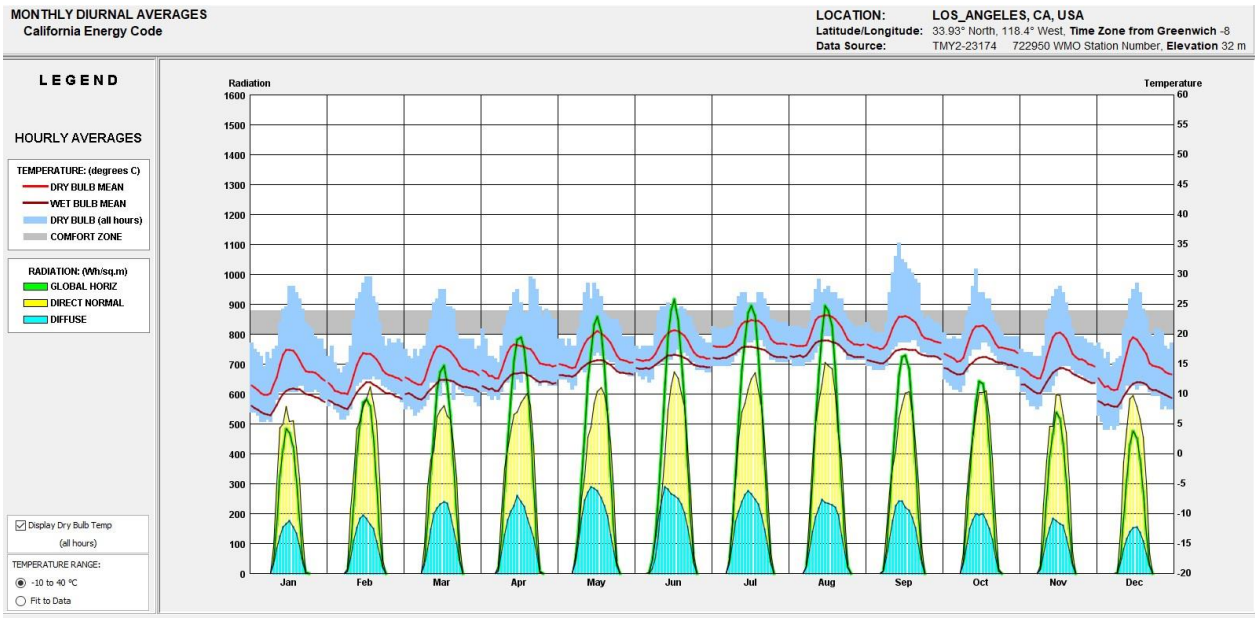
سیستم تهویه مطبوع پیشنهادی در این تحقیق، یک سیستم متشکل از سه تکنولوژی گرمایش خورشیدی، تولید هم‌زمان برق و حرارت، و ذخیره انرژی حرارتی یخ است. در این سیستم یکپارچه، یک ژنراتور CHP در نظر گرفته‌شده که ضمن تولید برقی که به شبکه فروخته می‌شود، در فصل زمستان، حرارت موردنیاز سیستم گرمایش را تأمین می‌کند و در فصل تابستان، حرارت موردنیاز یکی



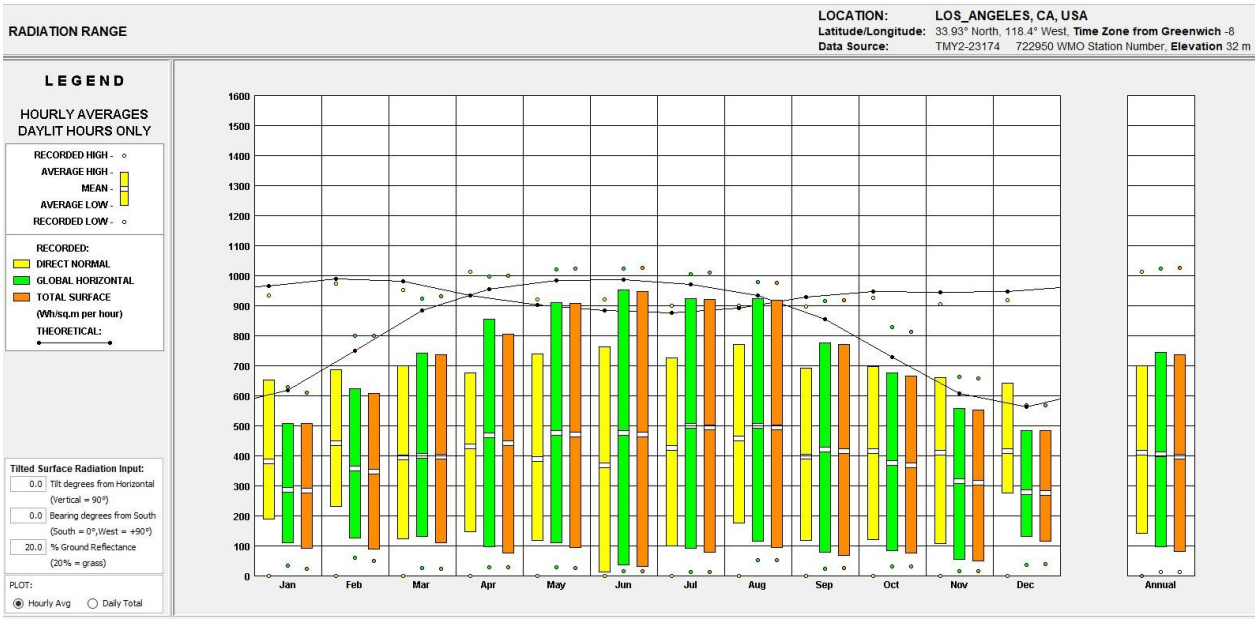
شکل ۳) نمودار ساعتی دمای شهر تهران در طول سال



شکل ۴) نمودار شدت تابش خورشیدی شهر تهران در طول سال



شکل ۵) نمودار ساعتی دمای شهر لس آنجلس در طول سال



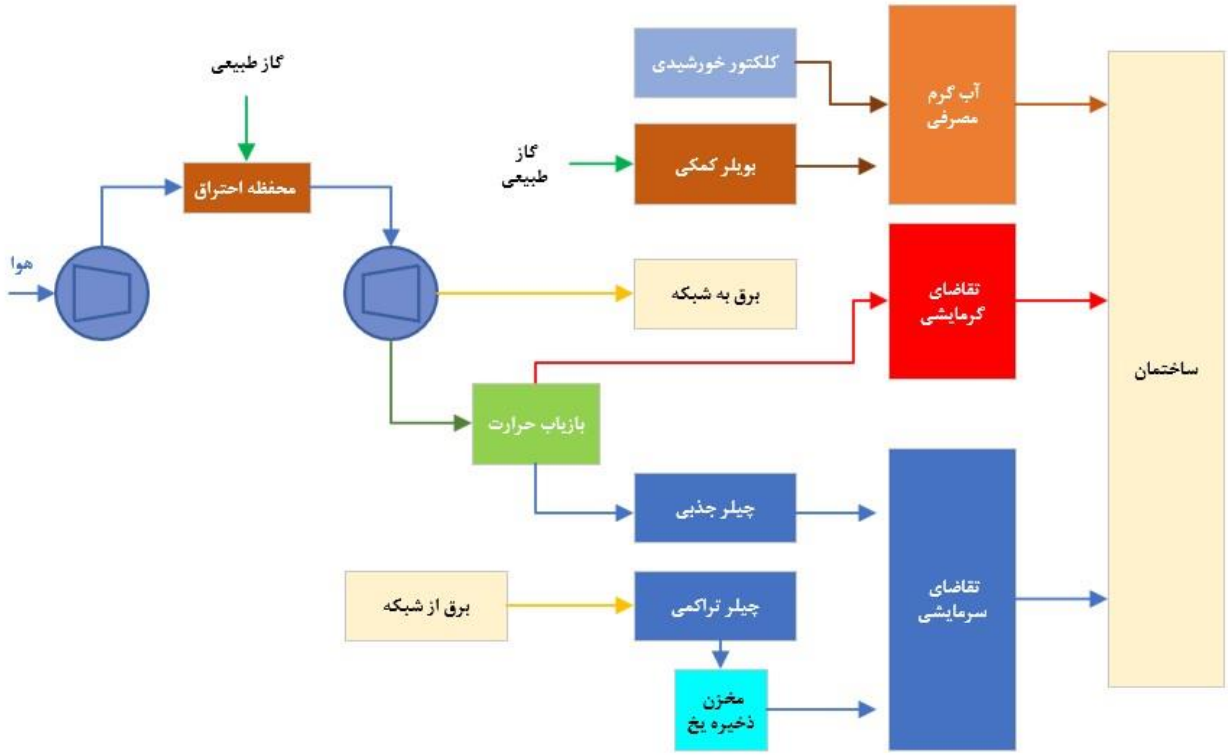
شکل ۶) نمودار شدت تابش خورشیدی شهر لس آنجلس در طول سال

سرمایش متشکل از دو چیلر(یکی جذبی و یکی تراکمی) و یک مخزن ذخیره یخ می‌باشد که چیلر تراکمی وظیفه شارژ مخزن یخ در طول شب را به عده دارد و چیلر جذبی که پیش تر اشاره شد حرارت خود را از ژنراتور CHP می‌گیرد، در طول روز برای تأمین بار برودتی به مخزن ذخیره یخ کمک می‌کند. یک مجموعه کلکتور خورشیدی نیز در طول سال حرارت موردنیاز برای تأمین آب گرم مصرفی را تولید می‌کند و یک بویلر گازسوز کمکی برای پشتیبانی از این سیستم در زمانی که بار گرمایش خورشیدی کافی نباشد در نظر گرفته‌شده است. با توجه به اجزا و ماهیت این سیستم، نام اختصاری CCHP-ITES-S برای آن انتخاب شده است. در شکل ۷ دیاگرام کلی سیستم CCHP-ITESS نمایش داده شده است. از چیلرهای پروژه که از نوع جذبی می‌باشد تأمین می‌کند. سیستم

۲-۳-۱- سیستم تولید هم‌زمان برق و حرارت

یک سیستم تولید هم‌زمان برق و حرارت CHP در فصل زمستان با اتصال به فن کویل ها، بارگرمایشی پروژه را تأمین می‌کند. درصورتی‌که بار تأمین شده توسط این سیستم کافی نباشد، یک بویلر کمکی وارد مدار شده و باقی مانده بار را تأمین می‌کند. در فصل تابستان نیز این سیستم حرارت موردنیاز چیلر جذبی را تأمین می‌کند.

به‌منظور تعیین ظرفیت حرارتی ژنراتور CHP، ابتدا باید میزان مصرف سوخت آن تعیین شود. مقدار سوخت مصرفی سیستم ژنراتور تابعی از بازدهی الکتریکی سیستم است که از معادله ۱ تعیین می‌شود[8].



شکل ۷) دیاگرام کلی سیستم CCHP ITESS

$$F_{PGU} = \frac{E_{PGU}}{\eta_{PGU}} \quad (۱)$$

که در این رابطه η_{PGU} بازدهی موتور سیستم است. ظرفیت حرارت تولیدی سیستم ژنراتور نیز از طریق معادله ۲ به‌دست می‌آید.

$$Q_{PGU} = F_{PGU} \times (1 - \eta_{PGU}) \times \varsigma \times \eta_{HRS} \quad (۲)$$

که در رابطه فوق Q_{PGU} حرارت تولیدی سیستم، η_{HRS} بازدهی حرارتی مبدل بازیافت حرارت و ς ضریب اتلاف حرارت بین دودکش ژنراتور و مبدل بازیافت حرارت است.

۲-۳-۲- سیستم سرمایش

سیستم سرمایش این پروژه متشکل از سه جزء اصلی است که عبارتند از چیلر تراکمی، چیلر جذبی متصل به سیستم تولید هم‌زمان برق و حرارت (CCHP)، و سامانه مخزن ذخیره‌سازی انرژی حرارتی یخ.

برای تعیین ظرفیت تجهیزات مورداستفاده در این بخش نمودار ساعتی بار برودتی ساختمان در هر اقلیم موردنیاز می‌باشد که این بار برودتی پس از شبیه‌سازی ساختمان در نرم‌افزار دیزاین بیلدر به دست می‌آید. این پروفیل ساعتی در واقع نشان‌دهنده نیاز به سرمایش در گرم ترین روز سال در آب و هوای شهر محل مدل‌سازی است.

فرآیند طراحی در این سیستم به شرح زیر است. ابتدا بارهای برودتی ساعتی گرم ترین روز سال استخراج می‌شود. سپس برنامه زمان‌بندی عملکرد سیستم تعیین می‌گردد. در مرحله بعدی حداقل ظرفیت تولید یخ از معادله ۳ استخراج می‌گردد[22].

$$Q = \frac{TH}{0.7 \times t_{ice} + t_{cooling}} \quad (۳)$$

در معادله فوق، Q ظرفیت موردنیاز چیلر بر حسب kW، TH مجموع بار برودتی در گرم ترین روز سال بر حسب kWh، t_{ice} تعداد ساعاتی در شبانه روز که در مخزان یخ توسط چیلرها تولید (شارژ) می‌شود، و $t_{cooling}$ تعداد ساعاتی در شبانه روز است که سیستم ذخیره یخ باید سرمایش ساختمان را تأمین (دیسشارژ) کند. همچنین عدد ۰/۷ نشان‌دهنده ظرفیت نسبی چیلر در زمان تولید یخ است.

انرژی ذخیره‌شده در مخزن یخ بر حسب kWh از معادله ۴ بدست می‌آید.

$$E_{storage} = \frac{Q}{t_{ice}} \quad (۴)$$

حجم مخزن ذخیره یخ از معادله ۵ حاصل می‌شود[23].

$$V_{storage} = \frac{E_{storage}}{\rho_{th,max}} \quad (۵)$$

در این معادله $V_{storage}$ حجم مخزن بر حسب متر مکعب و $\rho_{th,max}$ چگالی حرارتی بر حسب MJ/m^3 است که مقدار آن برای نوع مخازن ذوب داخلی و آرایش یخ روی کویل ها (Ice-on-coil) مقدار آن معادل ۱۷۲/۹۸ MJ/m^3 است[23].

با توجه به ساختار و مشخصات چیلرهای تراکمی، این چیلرها برای شارژ و تولید یخ مناسب تر هستند. در این پروژه در کنار این چیلر تراکمی آب خنک، یک عدد چیلر جذبی نیز به کار گرفته‌شده است که آن بخش از بار برودتی که مخزن ذخیره یخ قادر به تأمین آن نیست را تأمین می‌کند. ژنراتور این چیلر جذبی حرارت موردنیاز خود را از سیستم CHP دریافت می‌کند.

۲-۳-۳- سیستم آب گرم خورشیدی

حرارت موردنیاز برای تأمین آب گرم مصرفی این ساختمان از طریق یک مجموعه کلکتور آب گرم خورشیدی واقع در بام ساختمان تأمین می‌شود. در روزهایی از سال که شرایط تابش خورشید برای تأمین این حرارت کافی نباشد، یک بویلر کمکی حرارت موردنیاز را تأمین می‌کند. مقدار حرارت جذب‌شده توسط خورشید در این سیستم با الگوریتم های نرم‌افزار دیزاین بیلدر محاسبه می‌گردد.

۲-۴- محاسبه انرژی مبدا

مطابق جدیدترین تعاریف سازمان حفاظت از محیط زیست ایالات متحده آمریکا[24]، صورت هایی از انرژی که در ساختمان به‌صورت الکتریسیته یا گاز یا سایر حامل های انرژی مصرف می‌شوند، انرژی سایت نام دارند. انرژی سایت به دو صورت می‌تواند به ساختمان ارائه شود. انرژی اولیه حالت خامی از انرژی است که برای تولید برق یا حرارت و... سوزانده می شود، مانند گاز طبیعی یا نفت. انرژی ثانویه محصول انرژی تولید شده از سوزاندن منابع انرژی اولیه است، مانند الکتریسیته خریداری شده از شبکه و یا حرارت دریافت شده از شبکه موتورخانه های بزرگ شهرکی. یک واحد انرژی اولیه و یک واحد انرژی ثانویه که در محل ساختمان مصرف می‌شوند به‌طور مستقیم قابل مقایسه با یکدیگر نیستند زیرا یکی از این دو نشان‌دهنده انرژی خام و دیگری نشان‌دهنده انرژی تبدیل شده می‌باشد. بنابراین، ازآنجاکه حرارت و برق مصرفی ساختمان‌ها همواره در مسیر تولید و توزیع با اتلافاتی مواجه خواهد بود، می‌توان از مفهومی به نام انرژی مبدا استفاده نمود که نمایانگر مقادیر نیاز انرژی خام ساختمان با در نظرگیری اتلافات مربوطه است. در این پروژه به منظور برآورد تقریبی انرژی مبدا، از ضرایب تعیین شده توسط سازمان Energy Star استفاده می شود[24]. این ضرایب که تابع محاسبات و اندازه‌گیری میانگین اتلافات تولید و توزیع حامل های انرژی هستند، البته برای کشور آمریکا تعیین شده اند و برای کشور ایران، چنین ضرایبی تا کنون رسما ارائه نشده اند ولی در این تحقیق به منظور دستیابی به یک معیار مناسب برای سنجش انرژی مبدا، برای ایران نیز مورد استفاده قرار می گیرند. در شکل ۱۲، مقادیر ضرایب تبدیل انرژی سایت به انرژی مبدا برای انواع حامل های انرژی درج شده است.

با توجه به شکل فوق، پس از استخراج مصرف گاز و الکترسیته خالص پروژه، می‌توان مقادیر انرژی مبدا را با معادله ٦ محاسبه نمود.

$$E_{source} = (E_{e,consumption} - E_{e,generation}) \times R_e + E_g \times R_g \quad (٦)$$

که در معادله فوق $E_{e,consumption}$ برق مصرفی پروژه برحسب کیلووات ساعت، $E_{e,generation}$ برق تولیدی سیستم تولید همزمان برق و حرارت در محل پروژه که به شبکه فروخته می شود بر حسب کیلووات ساعت، R_e ضریب تبدیل الکتریسیته به انرژی مبدا مطابق جدول ۱، R_g ضریب تبدیل انرژی گاز طبیعی به انرژی مبدا مطابق جدول ۱ و E_g انرژی گاز طبیعی مصرف شده در محل ساختمان برحسب کیلووات ساعت می‌باشد.

۲-۵- محاسبه هزینه سرمایه گذاری اولیه

هزینه اولیه خرید تجهیزات، بسته به شرکت های سازنده و کیفیت محصولات، شامل گستره وسیعی می‌شود. در این تحقیق، توابع قیمت هایی که در جدول ۲ آمده اند بر اساس مقالات و پژوهش‌های پیشین که در زمینه تحلیل ترموکونومیک این تجهیزات کار کرده اند تهیه شده است. لازم به ذکر است هزینه های محاسبه شده با این توابع شامل هزینه های خرید تجهیزات و نصب و راه اندازی می باشند.

به‌منظور تبدیل هزینه‌های اولیه به نرخ هزینه سرمایه گذاری با واحد US$/s، می‌توان از معادله ۷ استفاده کرد.

$$Z_k = \frac{Z_k \times CRF \times \varphi}{N \times 3600} \quad (٧)$$

در رابطه فوق، Z_k مجموع هزینه‌های اولیه تجهیزات است که از جدول ۱ به‌دست می‌آید، CRF فاکتور بازیافت سرمایه (Capital Recovery Factor)، φ ضریب هزینه تعمیرات و نگهداری و N تعداد ساعات عملکرد تجهیزات در طول یک سال است. فاکتور بازیافت سرمایه تابعی از نرخ تورم (i) و طول عمر تجهیزات (n) است که از معادله ۸ محاسبه می‌شود.

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^i - 1} \quad (٨)$$

جدول ۱ ضرایب تبدیل انرژی سایت به انرژی مبدا [24]

نوع انرژی	ضریب تبدیل
الکتریسیته (خرید از شبکه)	۲/۸۰
الکتریسیته (برق خورشیدی یا بادی در محل سایت)	۱/۰۰
گاز طبیعی	۱/۰۵
سوخت نفتی (شماره ۱و۲و۳و۴و۵و۶ ، دیزل، کروسین)	۱/۰۱
پروپان و پروپان مایع	۱/۰۱
بخار	۱/۲۰
آب گرم شهرکی	۱/۲۰
آب سرد شهرکی	۰/۹۱
چوب	۱/۰۰
ذغال سنگ	۱/۰۰
سایر	۱/۰۰

جدول ۲) هزینه اولیه تجهیزات

تابع هزینه اولیه	تجهیزات	مرجع
$Z_{Chiller} = 150.2 \times \dot{Q}_{Chiller}$	چیلر تراکمی	[24]
$Z_{ABSChiller} = 454.34 \times \dot{Q}_{ABSorptionChiller}$	چیلر جذبی	[25]
$Z_{ST} = 8.67 \times 10^{[2.9211\, exp(0.1416 \times log V_{ST})]}$	مخزن ذخیره یخ	[26]
$Z_{Pump} = 705.48 \times W_{Pump}^{0.71} \times (+\frac{0.2}{1-\eta_{Pump}})$	پمپ ها	[26]
$Z_{PGU} = 1376.64 \times \dot{W}_{PGU}$	ژنراتور CHP	[8]
$Z_b = 134 \times \dot{Q}_b$	بویلر گازسوز	[25]
$Z_{SC} = 235 \times A_{SC}$	کلکتور خورشیدی	[25]

۲-۶- محاسبه دوره بازگشت سرمایه

در این تحقیق به منظور محاسبه دوره بازگشت سرمایه ساده (Simple payback period) سیستم پیشنهادی در مقایسه با سیستم سنتی سرمایش و گرمایش مرکزی رایج از معادله ۹ استفاده می شود[8].

$$PB = \frac{Cost_{initial}}{Cost_{saving}} \quad (۹)$$

در معادله فوق Costinitial برابر با اختلاف هزینه اولیه سیستم CCHP-ITESS با سیستم سنتی و Costsaving برابر با صرفه جویی حاصل از کاهش هزینه های برق و گاز مصرفی در سیستم CCHP-ITESS در مقایسه با هزینه برق و گاز سیستم سنتی است.

۲-۷- وضعیت تعرفه انرژی در شهرهای موردمطالعه

ساختمان و سیستم موردمطالعه در این پروژه در دو شهر تهران و لس آنجلس مدل‌سازی شده اند. با توجه به اسناد موجود تعرفه برق تهران[27] روش زیر برای تعیین هزینه برق مورداستفاده قرارگرفته است. هزینه هر کیلووات ساعت برق ۱۳۱۰ ریال در نظر گرفته می‌شود.سپس در ساختمان‌های مجهز به کنتور دو یا سه زمانه، برای تشویق مشترکین به جابجایی مصرف از ساعات اوج بار، علاوه بر عدد محاسبه شده، به ازای هر کیلووات ساعت مصرف برق در ساعات اوج ۵۲۴ ریال به هزینه اضافه شده و به ازای هر ساعت مصرف در ساعات غیر اوج بار ۱۰۴/۸ ریال از هزینه محاسبه شده کم می‌شود. همچنین تعرفه گاز تهران به‌طور متوسط ۱۲۴۲ ریال به ازای هر متر مکعب گاز مصرفی در نظر گرفته‌شده است.

قیمت خرید تضمینی برق تولید شده توسط سیستم CHP بر اساس تعرفه دفتر برنامه‌ریزی و اقتصاد کلان برق و انرژی وزارت نیرو[28]، ۴۰۸۰ ریال به ازای هر کیلووات ساعت برق وارد شده به شبکه در نظر گرفته می‌شود. این مقادیر بر اساس دلار ۲۰ هزارتومانی در محاسبات مورداستفاده قرار خواهند گرفت.

در ایالت کالیفرنیا که شهر لس آنجلس در آن قرار دارد تعرفه برق توسط شرکت های مختلف تامین کننده متفاوت است. در این تحقیق تعرفه شرکت برق ادیسون کالیفرنیای جنوبی (South California Edison) ملاک عمل در نظر گرفته می‌شود[29]. در این تعرفه هر کیلووات ساعت برق مصرفی در ساعات اوج (۴ تا ۹ بعد از ظهر) ۴۰ سنت و هر کیلووات ساعت برق مصرفی در سایر ساعات شبانه روز ۲۵ سنت در نظر گرفته می‌شود. تعرفه گاز برای لس آنجلس ۴ سنت به ازای هر کیلووات ساعت مصرف گاز در نظر گرفته‌شده است[26]. همچنین نرخ خرید برق تولید شده توسط ژنراتور CHP، ۴۴ سنت در نظر گرفته‌شده است.

۳- تجزیه و تحلیل داده‌ها

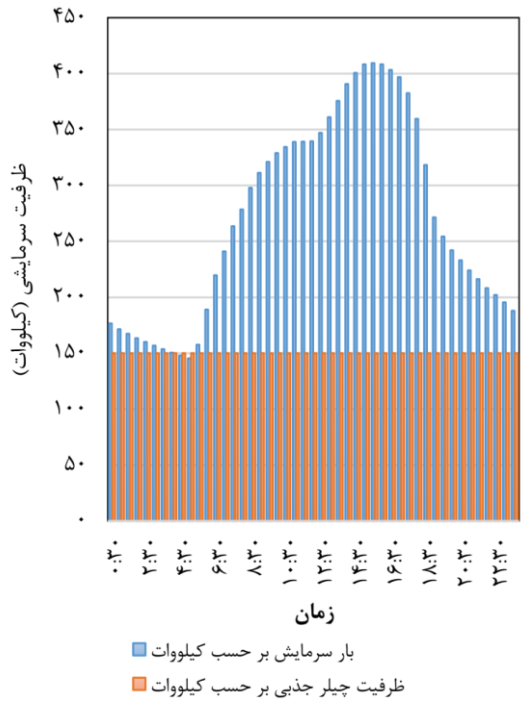
۳-۱- بررسی نتایج شبیه‌سازی مصرف انرژی در شهر تهران

در اولین گام از فرایند مدل‌سازی ساختمان مورد نظر در نرم‌افزار دیزاین بیلدر، بار سرمایش در گرم ترین روز سال با توجه به شرایط آب و هوایی تهران محاسبه می‌شود و پروفیل ساعتی آن رسم می‌گردد.

با توجه به مقادیر بار برودتی و بر اساس معادله ۳ و معادله ۵ به این نتیجه می رسیم که مجموع ظرفیت موردنیاز سیستم تبرید برای تولید یخ در شب و برای تأمین سرمایش کمکی در روز، ۲۹۵ کیلووات است. بنابراین یک چیلر تراکمی به ظرفیت ۱۵۰ کیلووات و یک چیلر جذبی به ظرفیت ۱۵۰ کیلووات انتخاب می کنیم. چیلر تراکمی همچنین برای شارژ مخزن ذخیره یخ و تولید یخ از ساعت ۲۳/۳۰ تا ۷/۳۰ مورداستفاده قرار می‌گیرد. مقدار یخ تولید شده باید به‌گونه‌ای باشد که از ساعت ۷/۳۰ تا ۲۳/۳۰ آن قسمت از بار سرمایشی که فراتر از ظرفیت چیلر جذبی می‌باشد را تأمین کند. حجم مخزن یخ بر اساس شکل ۱۰ برابر با ۳۴ متر مکعب می‌باشد.

از نتایج به دست آمده این نتیجه حاصل می‌شود که مقدار انرژی که باید در هنگام شارژ شبانه مخزن یخ در آن ذخیره شود تا در طول روز کمبود ظرفیت چیلر جذبی را جبران کند، ۱۶۵۳ کیلووات ساعت است. بار گرمایش این ساختمان نیز در فصل زمستان ۵۶۴ کیلووات می‌باشد. در شکل ۸ بخشی از بار که توسط چیلر جذبی با طرفیت ثابت تامین می شود نمایش داده شده است. مازاد بار حرارتی که برای تامین سرمایش ساختمان مورد نیاز است توسط انرژی حرارتی ذخیره‌شده در مخزن یخ تامین می شود.

پس از شبیه‌سازی سیستم پیشنهادی بر روی ساختمان مورد نظر در نرم‌افزار دیزاین بیلدر، نتایج سالانه مصرف انرژی در طول سال استخراج شد. مقایسه مصرف برق و گاز این سیستم با مصارف یک سیستم سنتی رایج (متشکل از چیلر تراکمی و بویلر گازسوز) نشان



شکل ۸) مقایسه ظرفیت ثابت چیلر جذبی نسبت به پروفایل رزوانه بار سرمایش

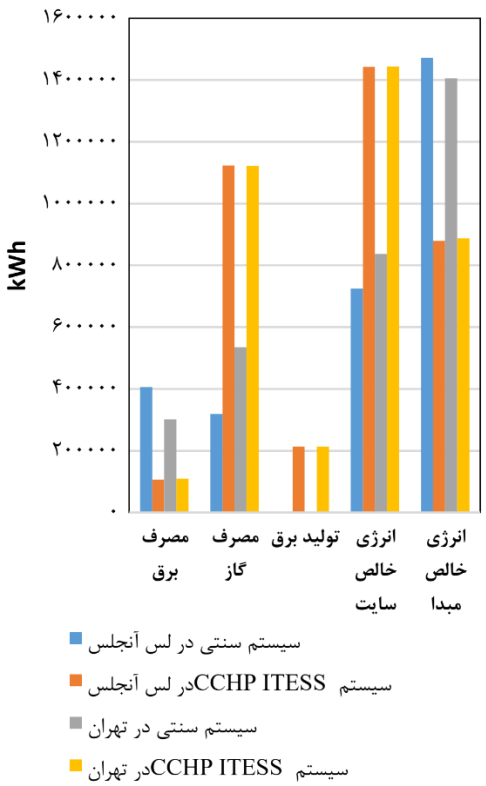
از کاهش ۶۳ درصدی مصرف برق و از طرف دیگر ۲ برابر شدن مصرف گاز می‌باشد که عمدتا ناشی از به‌کارگیری سیستم CHP است. همچنین مقدار برق تولید شده در طول سال توسط ژنراتور CHP برابر با ۲۱۲۹۰۶ کیلووات ساعت است.

۳-۲- مقایسه مصرف انرژی سایت و مبدا در شهرهای مورد مطالعه

به منظور ارزیابی میزان تقاضای انرژی ساختمان با سیستم پیشنهادی و مقایسه عملکرد این سیستم در مقایسه با سیستم سنتی در شرایط آب و هوایی دو شهر موردمطالعه، عملکرد این سیستم در هر دو شهر تهران و لس آنجلس مورد مدل‌سازی و تحلیل قرار گرفت. در این تحلیل، مقادیر انرژی برق مصرفی، برق تولیدی، گاز مصرفی، انرژی خالص سایت و انرژی خالص مبدا برای سیستم سنتی و جدید و همچنین برای هر دو شهر تهران و لس آنجلس مورد بررسی قرار گرفت. این مقایسه در نمودار شکل ۹ نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می شود در هر سه شهر با به‌کارگیری سیستم پیشنهادی CCHP-ITESS کاهش قابل‌توجهی در مصرف انرژی خالص مبدا رخ می‌دهد هرچند بسته به اینکه بین برق و گاز کدام حامل انرژی بیشتر مصرف می شود، انرژی خالص سایت می‌تواند در مقایسه با سیستم سنتی کمتر یا بیشتر باشد.

۳-۳- محاسبه پارامترهای اقتصادی و بازگشت سرمایه

با توجه به تعرفه‌های برق و گاز و نیز توابع هزینه اولیه پارامترهای اقتصادی این تحقیق برای شهر تهران به شرح زیر خواهند بود.



شکل ۹) مقایسه انرژی خالص سایت و مبدا در دو شهر تهران و لس‌آنجلس برای سیستم سنتی و جدید

با در نظر گیری نرخ تورم ۴۱ درصد[30]، ضریب تعمیرات و نگهداری ۱/۰۶، و طول عمر ۱۵ سال، مقدار CRF برای سیستم CCHP ITESS تعیین می‌شود که برابر با ۰/۴۱ خواهد بود. بنابراین نرخ هزینه سرمایه گذاری این سیستم برابر ۰/۰۰۰۱۳۵۶۲ $/s می‌شود.

لازم به ذکر است با توجه به قیمت های انرژی ایران و هزینه‌های اولیه، دوره بازگشت سرمایه این سیستم در تهران بیش از ۳۹ سال خواهد بود که نشان‌دهنده توجیه ناپذیری اقتصادی این سیستم در شرایط ایران است. در بخش‌های، همین سیستم در شهر لس آنجلس با در نظر گیری تعرفه‌های انرژی ایالت کالیفرنیا بررسی می‌شود تا تأثیر قیمت گذاری انرژی در توجیه‌پذیری سیستم‌ها ارزیابی شود.

۳-۴- شبیه‌سازی سیستم موردمطالعه با اقلیم و تعرفه انرژی شهر لس آنجلس

به‌منظور ارزیابی تأثیر سیاست گذاری تعرفه انرژی بر توجیه‌پذیری سیستم های موردمطالعه، مدل انرژی همان ساختمان موردمطالعه، در شرایط آب و هوایی و تعرفه‌های انرژی شهر لس آنجلس در ایالت کالیفرنیای آمریکا، مورد شبیه‌سازی و تحلیل قرار گرفت.

با توجه به شباهت شرایط اقلیمی تهران و لس آنجلس نتایج این شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مصارف انرژی در این دو شهر تا حد زیادی نزدیک به هم هستند. اما پارامترهای اقتصادی تفاوت های فاحشی باهم دارند که در بخش‌های بعدی موردبررسی قرار می گیرند.

۳-۵- مقایسه توجیه‌پذیری پیاده‌سازی سیستم در تهران و لس آنجلس

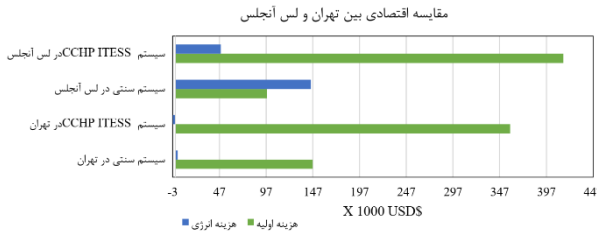
با توجه به تعرفه‌های برق و گاز و نیز توابع هزینه اولیه مذکور در بخش‌های پیشین پارامترهای اقتصادی این تحقیق برای شهر لس آنجلس به شرح زیر خواهند بود.

با در نظر گیری نرخ تورم ۲/۳ درصد، ضریب تعمیرات و نگهداری ۱/۰۶، و طول عمر ۱۵ سال، مقدار CRF برای سیستم CCHP ITESS تعیین می‌شود که برابر با ۰/۰۷۹ خواهد بود. بنابراین نرخ هزینه سرمایه گذاری این سیستم برابر ۰/۰۰۰۰۷۴ $/s می‌شود.

دوره بازگشت سرمایه این سیستم با توجه به شرایط فوق در مقایسه با سیستم سنتی در شهر لس آنجلس ۳/۲۹ سال است که به مراتب پایین تر از این مقدار در تهران است. مقایسه هزینه‌های این سیستم در دو شهر تهران و لس آنجلس و همچنین مقایسه دوره بازگشت سرمایه سیستم پیشنهادی در این دو شهر در نمودار های شکل ۱۰ نمایش داده شده است.

۳-۶- اعتبارسنجی نتایج

به منظور بررسی اعتبار نتایج، از مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج چو و همکاران[8] استفاده‌شده است. ایشان به بررسی عملکرد یک سیستم تهویه مطبوع مشابه متشکل از تولید همزمان برق و حرارت و برودت روی یک ساختمان نمونه در چند شهر از اقلیم



شکل ۱۰) مقایسه هزینه‌های انرژی و هزینه‌های اولیه سیستم مدل‌سازی شده در تهران و لس آنجلس

های مختلف ایالات متحده آمریکا پرداختند و سپس مصرف انرژی نهایی و همچنین انرژی اولیه را بین سیستم سنتی و سیستم پیشنهادی ارزیابی و مقایسه کردند.

با مقایسه میان نتایج تحقیق حاضر با نتایج چو و همکاران[8] ملاحظه می‌شود که نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی مناسبی با نتایج تحقیق ایشان دارد. لازم به ذکر است در این مقایسه نتایج شهر لس آنجلس در تحقیق حاضر، با نتایج شهر آتالانتا در تحقیق چو و همکاران و به دلیل شباهت اقلیمی این دو شهر انجام‌شده است. همچنین ضرایب تبدیل انرژی ثانویه به اولیه برای برق ۲٫۸۰ و برای گاز ۱٫۰۵ در نظر گرفته شده است.

٤- نتیجه گیری

در این پژوهش، سیستم CCHP ITESS بر روی یک ساختمان بلندمرتبه مورد شبیه سازی و تحلیل قرار گرفت. این سیستم متشکل است از یک دستگاه چیلر جذبی، یک چیلر تراکمی، یک مخزن ذخیره انرژی حرارتی یخ که توسط چیلر تراکمی شارژ می شود، یک دستگاه تولید همزمان برق و حرارت CHP که در فصل تابستان حرارت خود را به ژنراتور چیلر جذبی می دهد و در فصل زمستان مستقیما حرارت مورد نیاز گرمایش را تامین می کند و در طول سال برق تولیدی خود را به شبکه می فروشد. همچنین یک سیستم کلکتور آب گرم خورشیدی به همراه یک بویلر کمکی آب گرم مورد نیاز ساختمان را تامین می کند. به کارگیری این سیستم در مقایسه با سیستم متداول چیلر و بویلر، در شهر تهران منجر به ۵۱۸۰۵۰ کیلووات ساعت و در شهر لس آنجلس منجر به ۵۹۲۶۸۰ کیلووات ساعت صرفه جویی در مصرف انرژی مبدا می شود. اما این کاهش مصرف انرژی و پیاده‌سازی این سیستم، تنها در شرایطی توجیه اقتصادی دارد که سیاست های قیمت گذاری انرژی، قیمت های واقعی و با حداقل یارانه بر روی حامل‌های انرژی تعیین کند. همانطور که دیده شد، این سیستم در تهران و با قیمت های انرژی کشور ایران بازگشت سرمایه حدودا ۳۹ ساله دارد. اما در کشور آمریکا و با قیمت های انرژی این کشور در مدت زمان نسبتا کوتاهی، یعنی حدود ۳ سال، هزینه انجام‌شده را باز می گرداند. بنابراین اساسا این سیستم در شرایط اقتصادی فعلی کشور، نمی تواند دارای توجیه باشد اما از نگاه جهانی و با فرض به‌کارگیری این سیستم در کشورهای توسعه‌یافته، می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر مصرف انرژی در صنعت ساختمان فراهم آورد.

تشکر و قدردانی: نویسندگان این مورد را بیان نکردند.

تاییدیه اخلاقی: محتویات علمی مقاله حاصل پژوهش نویسندگان است و صحت نتایج آن نیز بر عهده آن ها است.

تعارض منافع: مقاله حاضر هیچ گونه تعارض منافعی با اشخاص و سازمانهای دیگر ندارد.

سهم نویسندگان: نویسندگان این مورد را بیان نکردند.

منابع مالی: منابع مالی این تحقیق توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

منابع

1- Park CE, Jeong SJ, Joshi M, Osborn TJ, Ho CH, Piao S, Chen D, Liu J, Yang H, Park H, Kim BM. Keeping global warming within 1.5 C constrains emergence of aridification. Nature Climate Change. 2018 ;8(1):70-4.

2- IEA. The global exchange for energy efficiency policies, data and analysis [internet]. Available from: https://www.iea.org/topics/energyefficiency/buildings/. 2018.

3- Iran ministry of energy. Iran Energy Balance Sheet. 1397.

4- Wang J, Han Z, Guan Z. Hybrid solar-assisted combined cooling, heating, and power systems: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2020;133:110256.

5- Hassan AA, Elwardany AE, Ookawara S, Ahmed M, El-Sharkawy II. Integrated adsorption-based multigeneration systems: A critical review and future trends. International Journal of Refrigeration. 2020;116:129-45.

6- Mahian O, Mirzaie MR, Kasaeian A, Mousavi SH. Exergy analysis in combined heat and power systems: a review. Energy Conversion and Management. 2020;226:113467.

7- Jia J, Chen H, Liu H, Ai T, Li H. Thermodynamic performance analyses for CCHP system coupled with organic Rankine cycle and solar thermal utilization under a novel operation strategy. Energy Conversion and Management. 2021;239:114212.

8- Cho H, Sarwar R, Mago PJ, Luck R. Design and feasibility study of combined heat and power systems integrated with heat pump. Applied Thermal Engineering. 2016;93:155-65.

9- KhosropoorArabi M. Performance Analysis of Indirect Absorption Chiller based on CHP System Components. Chill Cool tower. 1392.

10- Sepehri A, Nelson B. Energy and emissions analysis of ice thermal energy storage in the western US. Energy and Buildings. 2019;202:109393.

11- Sanaye S, Shirazi A. Four E analysis and multi-objective optimization of an ice thermal energy storage for air-conditioning applications. International Journal of Refrigeration. 2013;36(3):828-41.

12- Song X, Zhu T, Liu L, Cao Z. Study on optimal ice storage capacity of ice thermal storage system and its influence factors. Energy Conversion and Management. 2018;164:288-300.

13- Lin WM, Tu CS, Tsai MT, Lo CC. Optimal energy reduction schedules for ice storage air-conditioning systems. Energies. 2015;8(9):10504-21.

14- Luo N, Hong T, Li H, Jia R, Weng W. Data analytics and optimization of an ice-based energy storage system for commercial buildings. Applied Energy. 2017;204:459-75.
15- Candanedo JA, Dehkordi VR, Stylianou M. Model-based predictive control of an ice storage device in a building cooling system. Applied Energy. 2013;111:1032-45.
16- Heine K, Tabares-Velasco PC, Deru M. Energy and cost assessment of packaged ice energy storage implementations using OpenStudio Measures. Energy and Buildings. 2021;248:111189.
17- Akbari H, Sezgen O. Case studies of thermal energy storage (TES) systems: Evaluation and verification of system performance.
18- Collins MR, Abulkhair H. An evaluation of heat transfer and effectiveness for unglazed transpired solar air heaters. Solar Energy. 2014;99:231-45.
19- Settino J, Sant T, Micallef C, Farrugia M, Staines CS, Licari J, Micallef A. Overview of solar technologies for electricity, heating and cooling production. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018;90:892-909.
20- Al-Shamani AN, Yazdi MH, Alghoul MA, Abed AM, Ruslan MH, Mat S, Sopian K. Nanofluids for improved efficiency in cooling solar collectors–a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014;38:348-67.
21- Standard AS. Standard 169-2013. Climatic data for building design standards. 2013.
22- Handbook AS. HVAC systems and equipment. chapter; 1996.
23- MacPhee D, Dincer I. Performance assessment of some ice TES systems. International Journal of Thermal Sciences. 2009;48(12):2288-99.
24- Energy Star. Source Energy: Technical Reference [Internet]. 2019. Available from: https://portfoliomanager.energystar.gov/pdf/reference/Source Energy.pdf?ccac-8037
25- New energy technologies, innovation and clean coal. 2020.
26- Sanaye S, Shirazi A. Thermo-economic optimization of an ice thermal energy storage system for air-conditioning applications. Energy and Buildings. 2013;60:100-9.
27- Iran Electicity Tariff [Internet]. 2018. Available from: https://www.theglobaleconomy.com/Iran/electricity_consumption/.
28- Office of Planning and Macroeconomics of Electricity and Energy of the Ministry of Energy. Iran CHP Power Feed-in Tariff [Internet]. 1398. Available from: http://pep.moe.gov.ir/.
29- SCE Electricity Tariff [Internet]. 2020. Available from: https://www.sce.com/residential/rates/Time-Of-Use-Residential-Rate-Plans#.
30- CBI. Central Bank of Iran: Inflation rate [Internet]. 2018. Available from: https://www.cbi.ir/page/6251.aspx