



Technical-Economical Investigation and Comparison of Cooling and Heating Systems in Faculty of Engineering of Arak University

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Shahrjerdy M.¹ MSc,
Safikhani H.*¹ PhD

How to cite this article

Shahrjerdy M, Safikhani H. Technical-Economical Investigation and Comparison of Cooling and Heating Systems in Faculty of Engineering of Arak University. Modares Mechanical Engineering. 2019;19(12):2965-2978.

ABSTRACT

In this article, technical-economical investigation of heating and cooling loads in faculty of engineering of Arak University, Iran has been investigated. The traditional and modern conditioner systems such as CAV, VAV, fan coil systems (all three systems are tested with direct fired absorption chiller and screw chiller), VRF system, split system and evaporative cooling system (in total 9 different systems) are designed for this faculty and are compared technically-economically. In this article, the costs of water, electricity and gas, purchase of systems and equipment, maintenance and repair of equipment of the examined systems are calculated and are compared with each other and then this work is done in different cooling loads, so that the results are not limited to the technical faculty of Arak university and can be used for all existing systems throughout the country. In the end, it is shown, that the evaporative cooling system has the lowest current and initial cost among the other systems. However, since this systems do not have the ability to determination of the amount of humidity and ideal temperature for the desired space cannot be considered as an ideal and standard system. Also it is shown, that the current and initial costs of compression chiller are less than of absorption chiller and VAV systems have the better performance than CAV and fan coil systems, and the VRF system, after the evaporative cooling system, has the lowest current and initial cost among the examined systems, especially the split system. Due to the intelligent and optimal control of this system, it can be selected as an ideal system.

Keywords Traditional and Modern Cooling and Heating Systems; Technical-Economical Investigation; Energy Consumption Optimization; Variable Discharge

CITATION LINKS

[1] Techno-economic evaluation of solar-assisted heating and cooling systems with sorption module integrated ... [2] Tailored domestic retrofit decision making towards integrated performance targets in ... [3] Aa plus energy renovation ... [4] Building renovation with interior insulation on solid masonry walls in Denmark—a study of the ... [5] A dynamic energy performance-driven approach for assessment of buildings energy ... [6] Technological and economic modeling and optimization of heat pump with horizontal ... [7] Technical and economic comparison of direct flame and screw compression ... [8] Technical and economic comparison of condensation and absorption ... [9] Simulation and technical- economic analysis of solar water heater for residential ... [10] The effectiveness of intelligent control systems for compact and radio cooling systems for reduce ... [11] Energy and economic performance of solar cooling systems ... [12] Estimating the energy consumption and power demand of small power equipment in ... [13] Insulation panels for active control of heat transfer in walls operated as space heating or ... [14] Recent trends in solar thermal sorption cooling system ... [15] Incorporating variable refrigerant flow (VRF) heat pump systems in whole building energy simulation—detailed case study ... [16] Experimental investigation of multifunctional VRF system in heating and shoulder ... [17] Variable refrigerant flow ... [18] Towards energy efficient office buildings in Denmark, the maersk building case ... [19] Improving the energy performance of residential buildings: a literature ... [20] Quantification of economic benefits of renovation of apartment buildings as a basis for cost optimal ... [21] Sustainability assessment of renovation packages for increased energy efficiency for ... [22] Improving benefit-cost analysis to overcome financing difficulties in promoting energy-efficient renovation of existing residential ... [23] Building stock characteristics and energy performance of residential buildings in ... [24] Case study on residential building renovation and its impact on the ... [25] Optimum building energy retrofits under technical and economic ... [26] Holistic energy retrofitting of multi-storey building to ...

¹Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Arak University, Arak, Iran

*Correspondence

Address: Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Arak University, Arak, Iran. Postal code: 3815688349
Phone: +98 (86) 32625726
Fax: +98 (86) 32625005
h-safikhani@araku.ac.ir

Article History

Received: February 27, 2019

Accepted: May 26, 2019

ePublished: December 21, 2019

بررسی و مقایسه فنی- اقتصادی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اراک

محمد شهرجردی MSc

گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران

حامد صفی‌خانی PhD

گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران

چکیده

در این مقاله به بررسی فنی- اقتصادی بارهای حرارتی و برودتی در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اراک پرداخته شده است. سیستم‌های سنتی، مدرن و پرکاربرد تهویه مطبوع مانند سیستم‌های VAV، CAV، فن‌کوئل (بررسی هر سه سیستم ذکر شده با چیلر جذبی شعله‌مستقیم و چیلر تراکمی اسکرو)، سیستم VRF، کولر گازی و کولر آبی (مجموعاً ۹ سیستم مختلف) برای دانشکده طراحی و به صورت فنی- اقتصادی با یکدیگر مقایسه می‌شود. در این بررسی هزینه‌های مصارف آب، برق و گاز، خرید سیستم‌ها و تجهیزات مربوطه، نصب تجهیزات، تعمیرات و نگهداری سیستم‌های مورد بررسی، محاسبه و با یکدیگر مقایسه می‌شوند و سپس این کار در بارهای برودتی مختلف نیز انجام می‌شود تا نتایج به دست آمده مختص دانشکده فنی دانشگاه اراک نباشد و قابل استفاده برای تمامی سیستم‌های موجود در کل ایران باشد. در پایان نشان داده شده است که کولر آبی کمترین هزینه جاری و اولیه را در میان سیستم‌های دیگر دارا می‌باشند؛ ولی از آنجایی که این سیستم قابلیت تعیین مقدار رطوبت و دمای ایده‌آل برای فضا مورد نظر را ندارند، نمی‌توان آن را به عنوان یک سیستم ایده‌آل و استاندارد در نظر گرفت. همچنین نشان داده شده است که هزینه‌های اولیه و جاری در چیلرهای تراکمی کمتر از چیلرهای جذبی است و سیستم‌های VAV نسبت به سیستم‌های CAV و فن‌کوئل عملکرد بهتری دارند و سیستم VRF بعد از سیستم کولر آبی دارای کمترین هزینه جاری و اولیه بین سیستم‌های مورد بررسی به خصوص سیستم کولر گازی است و می‌توان این سیستم را به علت کنترل هوشمند و بهینه به عنوان یک سیستم ایده‌آل انتخاب نمود.

کلیدواژه‌ها: سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی سنتی و مدرن، بررسی فنی و اقتصادی، بهینه‌سازی مصرف انرژی، دبی متغیر

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۵

*نویسنده مسئول: h-safikhani@araku.ac.ir

۱- مقدمه

کشور ایران از لحاظ ذخایر نفت، گاز و انرژی خورشیدی در سطح جهان از وضعیت خوبی برخوردار است. ایران از لحاظ ذخایر گاز، رتبه اول در سطح جهان می‌باشد، به طوری که ذخایر اثبات شده گاز در ایران تا سال ۲۰۱۴ حدوداً ۳۴ تریلیون متر مکعب با ۵۰ میدان گازی یا به عبارتی دیگر ۱۸٪ کل ذخایر جهان در اختیار جمعیتی حدوداً ۱٪ جمعیت جهان می‌باشد. از سوی دیگر کشور ایران از لحاظ مصرف انرژی در سطح جهانی وضعیت خوبی ندارد. به طوری که می‌توان گفت سرانه مصرف برق و گاز در ایران ۳ برابر میانگین جهانی می‌باشد. همچنین سرانه مصرف آب در ایران ۷۰٪ بیشتر از میانگین جهانی می‌باشد. با روند مصرف فعلی تا سال ۱۴۰۴ انرژی تولیدی کفاف نیاز مصرف انرژی را نخواهد کرد و مجبور به واردات انرژی خواهیم شد. بنابراین لزوم بهینه‌سازی مصرف انرژی در تمامی تجهیزات انرژی به ویژه تجهیزات گرمایشی و سرمایشی امری جدی می‌باشد. تاکنون فعالیت‌های بسیاری در این حوزه انجام شده است که در ادامه به برخی از آنان اشاره خواهد شد. بلکمن و همکاران^[1] به تجزیه و تحلیل فنی و اقتصادی برای ارزیابی سیستم‌های خنک‌کننده و گرمایش فتوولتائیک خورشیدی در مجتمع‌های مسکونی پرداختند. تجزیه و تحلیل‌ها بر اساس صرفه‌جویی در

مصرف انرژی، هزینه‌های مربوطه برای تولید گرما و خنک‌کاری، شرایط آب و هوایی در اسپانیا و مادرید، جذب و ذخیره انرژی خورشیدی در طول روز و استفاده آن در شب می‌باشد. در پایان نشان داده شده است که استفاده از صفحه‌های خورشیدی در شرایط مختلف ۱۶ تا ۶۴٪ در هزینه‌های مربوطه صرفه‌جویی شده است. همچنین استفاده از این صفحه‌ها باعث کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی شده و میزان تولید گازهای CO₂ را به میزان ۵۶ تا ۹۴٪ کاهش داده است.

یانگ و همکاران^[2] ساختمان مختلف (از لحاظ معماری و جهت موقعیت جغرافیایی ساختمان) به مساحت ۲۰۰ متر مربع در کشور چین در سال ۱۹۸۱-۱۹۹۵ را مورد بررسی قرار دادند. در این مقاله ساختمان‌ها را از لحاظ معماری ساخت، تحقیق در مورد دیواره‌های بیرونی ساختمان، استفاده از عایق‌بندی‌های مناسب در دیواره‌ها و سقف‌های ساختمان و موقعیت ساختمان با توجه به موقعیت قرارگیری خورشید در آسمان در فصل‌های مختلف سال مورد بررسی قرار داده است.

یک طرح اجرا شده در شهر اوراهوس^[3] با سرمایه‌گذاری در حدود ۴۵۰ میلیون دلار به منظور بهبود انرژی و افزایش بهره‌وری از انرژی در ساختمان‌های عمومی موجود با استفاده از یک سیستم منظم و مدرن یافته انجام گرفته است. در طی این پروژه اقداماتی نظیر استفاده از پنجره‌های سه‌لایه، ایزولاسیون سقف‌ها، سنسورهای نوری، سنسورهای CO₂، جایگزینی تجهیزات الکتریکی قدیمی با تجهیزات کارآمدتر انجام گرفته است. با استفاده از مدل‌سازی‌های صورت گرفته با استفاده از نرم‌افزار Sketchup و نرم‌افزارهای دیگر نشان می‌دهد، میزان مصرف انرژی به میزان ۲۵٪ که معادل با ۳ میلیون متر مربع و میزان تولید گاز CO₂ تا ۴۰٪ کاهش پیدا کرده است.

دگارد و همکاران^[4] نشان دادند، تأثیر نوسازی و بازسازی ساختمان‌ها چه میزان در مصرف انرژی تأثیرگذار است. در طی این مقاله با استفاده از نرم‌افزارهای مدل‌سازی نشان داده شده است که با اضافه شدن ۱۰۰ میلی‌متر به دیواره‌های بیرونی ساختمان‌های آجری می‌توان تا ۴۸٪ در مصرف انرژی صرفه‌جویی نمود. همچنین استفاده از پنجره‌های سه‌جداره و عایق دیواره‌ها و سقف‌ها می‌توان تا ۶۸٪ در مصرف انرژی صرفه‌جویی نمود.

جرییدی و همکاران^[5] نشان دادند، نوسازی تجهیزات انرژی چه تأثیری بر میزان مصرف انرژی و تولید CO₂ خواهد داشت. در این پروژه ۴ ساختمان با کارایی متفاوت با مساحت ۶۶۳۰ متر مربع که از یکجای و تجهیزات مدرن استفاده شده است، در شهر دانمارک مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مقاله نشان داده شده است که بیشترین انرژی ذخیره شده وقتی اتفاق می‌افتد که از تجهیزات تهویه مطبوع کارآمد و تحت کنترل تقاضا، استفاده شود.

صنایع و نیرومند^[6] نشان دادند، استفاده از پمپ‌های گرمایی زمینی به عنوان یک روش مؤثر در کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، کاهش انتشار آلاینده‌ها، امکان بهره‌برداری از یک منبع انرژی بی‌نهایت، ارزان، پایدار و نیازنداشت به تجهیزات جاگیر و پر سر و صدا می‌باشد. پارامترهای طراحی که بر عملکرد و هزینه پمپ‌های گرمایی تأثیر دارند شامل ظرفیت پمپ‌های گرمایی (بار گرمایش و سرمایش)، مشخصات خاک (ضریب انتقال گرما)، کل زمان کارکرد سیستم، آرایش مبدل زمینی می‌باشند. با افزایش ضریب انتقال گرمای خاک، هزینه سالانه به مقدار چشم‌گیری کاهش می‌یابد. با ۳ برابر شدن این ضریب هزینه کلی سالانه ۶۴٪ کاهش می‌یابد. شن و ماسه درشت، ضعیف‌ترین قابلیت انتقال گرما و رس و ماسه ریزدانه

برق و گاز هر سیستم، بیشترین مقدار به عنوان مبنا در نظر گرفته و سایرین نسبت به آن سنجیده شده است. علاوه بر موارد ذکر شده مقالات متعددی موارد مشابه را با سیستم‌های مختلف گرمایش- سرمایش و عمدتاً سیستم‌های سنتی انجام داده‌اند [9-26].

۲- محاسبه بار حرارتی و برودتی و سیستم‌های مورد بررسی

در این بررسی بارهای حرارتی و برودتی دانشکده فنی و مهندسی اراک با استفاده از نرم‌افزار کریر محاسبه شده است. دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اراک دارای کاربری‌های مختلف از قبیل کلاس‌های آموزشی، آزمایشگاه‌های مختلف، کارگاه‌ها، فضاهای اداری، کتابخانه، اتاق‌های کامپیوتر، اتاق تأسیسات الکتریکی، اتاق تأسیسات مکانیکی، بوفه، سالن آمفی‌تئاتر، آبدارخانه، انبار و راهروها می‌باشد. کلیه فضاهای دانشکده فنی و مهندسی شامل ۱۳۸ فضا با ۱۳ ناحیه با مساحت ۱۱۴۴۱ متر می‌باشد که برای نرم‌افزار کریر تعریف شده است. هر یک از این ناحیه‌ها کاربری متفاوتی دارند که شماره ناحیه‌ها همراه با نوع کاربری و تعداد فضاهای مرتبط با هر یک از ناحیه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. در شکل ۱ نمایی از دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اراک نشان داده شده است.

جدول ۱) ناحیه‌های مختلف دانشکده فنی و مهندسی به همراه نوع کاربری و تعداد فضاهای مرتبط با هر کدام

شماره ناحیه	نوع کاربری ناحیه‌ها	تعداد فضاهای مرتبط
۱	راهروها	۱۵
۲	کتابخانه	۲
۳	سالن آمفی‌تئاتر	۲۹
۴	کلاس‌های درس	۲۴
۵	آزمایشگاه‌ها	۱
۶	اتاق‌های کامپیوتر	۲
۷	اتاق تأسیسات الکتریکی	۱
۸	اتاق تأسیسات مکانیکی	۱
۹	بوفه	۱
۱۰	انبار	۳
۱۱	اتاق‌های اداری	۶
۱۲	آبدارخانه	۴۶
۱۳	کارگاه‌ها	۷



شکل ۱) نمایی از دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اراک

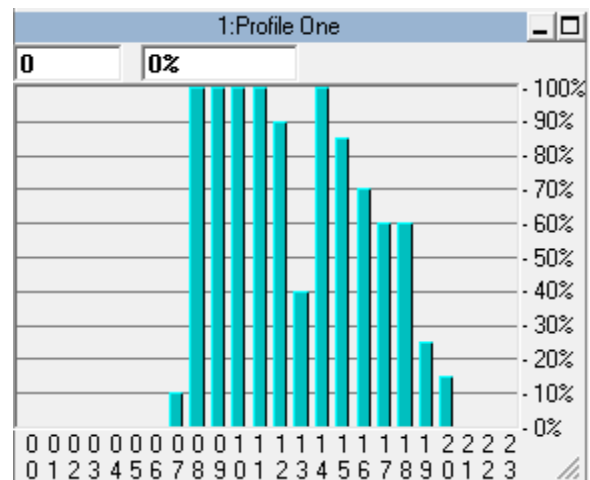
با توجه به روزهای تعطیلی در تقویم سال ۹۷-۹۶ و در نظر گرفتن روزهای تعطیلی دانشکده فنی و مهندسی در فصل تابستان در کل ۶۱ روز تعطیلی برای نرم‌افزار تعریف شده است. از آنجایی که افراد حاضر در یک فضا، در ساعات خاصی در آن فضا حضور دارند و نیز وسایل حرارت‌زا مثل وسایل روشنایی در تمام ساعات شبانه‌روز به طور پیوسته در حال استفاده نیستند. بنابراین با تعیین برنامه‌ای که

بهترین قابلیت هدایت گرمایی را دارا می‌باشند. وجود رطوبت در خاک قابلیت انتقال گرما را به میزان چشم‌گیری افزایش می‌دهد. هرچه سیستم پمپ گرمایی زمینی برای زمان‌های طولانی‌تر طراحی شده باشد، هزینه کلی سالیانه آن کمتر است، به طوری که به ۲ برابر شدن زمان کارکرد سیستم، هزینه‌ها ۳۳٪ کاهش پیدا می‌کند.

عابدی و همکاران [7] به بررسی فنی و اقتصادی چیلرهای جذبی شعله‌مستقیم و تراکمی اسکرو پرداختند. در این مقاله نشان داده شد در ظرفیت‌های ۵۰ تا ۲۰۰ تن تبریدی در چیلرهای جذبی به طور میانگین هزینه اولیه ۵۰٪ بیشتر از چیلرهای تراکمی و در ظرفیت‌های بین ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ تن تبریدی هزینه اولیه در چیلرهای تراکمی به طور میانگین ۸٪ بیشتر از چیلرهای جذبی می‌باشد. در چیلرهای جذبی هزینه ماهانه مصرف آب به طور میانگین ۲ برابر چیلرهای تراکمی می‌باشد که با شرایط بحران آب موجود در صورت استفاده از چیلرهای تراکمی هوایی این مشکل برطرف خواهد شد. در چیلرهای تراکمی هزینه ماهانه مصرف برق به طور میانگین ۵/۶ برابر چیلرهای جذبی می‌باشد. هزینه‌های جاری چیلرهای جذبی به طور میانگین ۲/۵ برابر چیلرهای تراکمی است. هزینه ماهانه تعمیر و نگهداری در ظرفیت‌های ۵۰ تا ۲۰۰ تن تبریدی در چیلرهای جذبی به طور میانگین ۵۰٪ بیشتر از چیلرهای تراکمی و در ظرفیت‌های ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ تن تبریدی این هزینه در چیلرهای تراکمی ۵٪ بیشتر از چیلرهای جذبی می‌باشد. در صورت استفاده از چیلرهای سانتریفیوژ یا چیلر با ظرفیت بیشتر و تعداد کمتر هزینه ماهانه تعمیر و نگهداری چیلرهای تراکمی کمتر از چیلرهای جذبی خواهد شد.

عابدی و خسروی [8] به بررسی فنی و اقتصادی چیلرهای جذبی و تراکمی (چیلر جذبی شعله‌مستقیم، چیلر پیچی، چیلر تراکمی دور متغیر سانتریفیوژ و چیلر تراکمی دور ثابت سانتریفیوژ) پرداختند. در این مقاله مزایای چیلرهای تراکمی سانتریفیوژ دور متغیر نسبت به سایر چیلرها در تناژهای بالای ۵۰۰ تن تبرید، یک ساختمان مسکونی با بار برودتی ۱۰۰۰ تن تبرید در تهران مورد مطالعه قرار گرفته است. برای محاسبه بار از نرم‌افزار کریر و روز اول مرداد به عنوان گرم‌ترین روز سال استفاده شده است. میزان بار برودتی، زمان پیک و بار ۲۴ ساعت ساختمان را از نتایج کریر استخراج شده و برای کاهش اثر مقدار عددی بار در محاسبات انرژی، بار هر ساعت را نسبت به بار زمان پیک بی‌بعد کرده و به صورت درصد بیان شده است. سپس بر اساس بار زمان پیک و نوع چیلر، سیستم تهویه مطبوع مربوطه طراحی گشته و تجهیزات متناسب با آن انتخاب گردید. بخشی از تجهیزات مانند فن‌کوئل‌ها و لوله‌کشی بین فن‌کوئل‌ها در ۴ نوع سیستم یکسان بوده، لذا این تجهیزات از مقایسه حذف شده و تنها تجهیزات غیرمشترک در نظر گرفته شده است. مدت زمان کارکرد هر سیستم به صورت یک دوره ۱ ماهه، هر روز ۲۴ ساعت کار در نظر گرفته شده. لذا با توجه به (Integrated Part Load Value) IPLV هر ماشین در طول یک روز می‌توان مقدار انرژی مصرفی هر ماشین برای تولید این میزان انرژی برودتی را به دست آورد. مجموع مصارف برقی هر سیستم شامل مصارف پمپ‌ها، چیلر و فن برج خنک‌کن در نظر گرفته شده است. مجموع مصارف آبی هر سیستم نیز شامل آب جبرانی که در سیستم به هر دلیلی از دست رفته است. در استاندارد (Air Conditioning, Heating and Refrigeration Institute) ARI (COP) برای چیلرهای مختلف مقدار ضریب عملکرد (COP) برحسب میزان پاره بار مشخص گردیده است. با استفاده از ضریب عملکرد چیلرها، مقدار IPLV برای هر یک از چیلرهای مورد نظر محاسبه شده است. در نهایت بر اساس مجموع مقادیر مصارف آب،

درصد حضور هر یک از عوامل مختلف حرارت‌زا را در هر فضا و در ساعات گوناگون مشخص می‌کند، می‌توان در میزان بارهای حرارتی و مؤثر هر فضا، مقدار واقعی آن را در نظر گرفت. شکل ۲، برنامه زمان‌بندی حضور افراد را در ساعات‌های مختلف روز نشان می‌دهد.



شکل ۲) برنامه زمان‌بندی حضور افراد در روزهای غیرتعطیل برای یک نمونه از فضاهای دانشکده

در این بررسی سیستم‌های مختلف سرمایشی و گرمایشی مانند سیستم‌های دبی حجمی ثابت (Constant Air Volume; CAV)، دبی حجمی متغیر (Variable Air Volume; VAV) و فن‌کوئل (بررسی هر ۳ سیستم ذکرشده با چیلر جذبی شعله‌مستقیم و چیلر تراکمی اسکرو انجام شد)، دبی مبرد متغیر (Variable Refrigerant Flow; VRF)، کولر گازی و کولر آبی (مجموعاً ۹ سیستم مختلف) برای ساختمان مورد نظر طراحی کرده و این سیستم‌ها را از لحاظ ساختار فنی، طریقه کارکرد و هزینه‌های مختلف مانند هزینه اولیه، جاری، نصب، تعمیرات، مصرف انرژی و غیره بررسی کرده و با یکدیگر در بارهای مختلف، از جمله بار مورد نیاز ساختمان مقایسه می‌گردد.

۳- مقایسه هزینه‌های سیستم‌های مورد بررسی با یکدیگر در بار برودتی دانشکده فنی و مهندسی و بارهای برودتی مختلف

۳-۱- مقایسه هزینه سالانه مصرف برق سیستم‌ها

با توجه به نمودارهای ۱ و ۲ در بار برودتی دانشکده فنی و مهندسی و در بارهای برودتی مختلف نکاتی که می‌توان در مورد هزینه سالانه مصرف برق سیستم‌های مورد بررسی نتیجه گرفت، شامل موارد زیر می‌باشد:

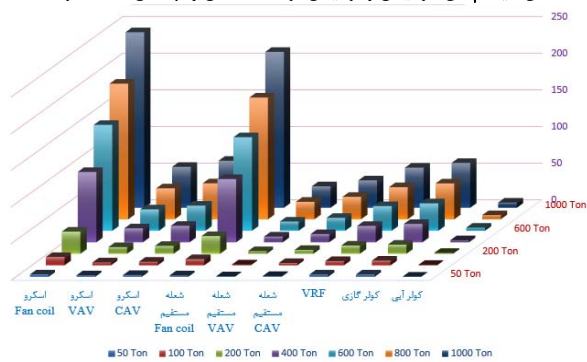
۱- از آنجایی که سیستم‌های کولر آبی تنها با یک الکتروموتور و یک پمپ با توان مصرفی خیلی پایین نسبت به سایر سیستم‌های تهویه مطبوع کار می‌کنند، بنابراین سیستم کولر آبی کمترین هزینه مصرف برق را در بین سیستم‌های دیگر دارد.

۲- با توجه به نمودارهای ۱ و ۲ بعد از سیستم کولر آبی، سیستم VAV همراه با دستگاه هواساز و چیلر جذبی شعله‌مستقیم دارای کمترین هزینه مصرف برق در بین سیستم‌های تهویه مطبوع دیگر خصوصاً سیستم‌های CAV و فن‌کوئل که با چیلر شعله‌مستقیم کار می‌کنند، می‌باشد. علت این امر این است که در این سیستم‌ها، چیلر شعله‌مستقیم با مصرف گاز طبیعی کار می‌کند و مقدار توان مصرفی تجهیزات جانبی که در این چیلر قرار دارند و مقدار توان مصرفی برج

خنک‌کننده پایین است و همچنین این سیستم‌ها راندمان بالایی دارند، چرا که در این سیستم‌ها با کمترین حجم هوا می‌توان به شرایط دمایی طراحی دست یافت. با بسته‌شدن دمپر هوا در جعبه، فن در هواساز با سرعت کمتری کار کرده و مقدار بار کمتری در کویل‌ها جریان می‌یابد. در اصل یک سیستم VAV به بویلر، چیلر و هواساز اجازه می‌دهد تا بهینه‌تر کار کنند و در سیستم‌های VAV به دلیل استفاده از فن دور متغیر بر خلاف سیستم‌های CAV، فن همواره در حالت حداکثر کار نمی‌کند و انرژی انتقالی کمتری مصرف شده است. همچنین ظرفیت و ابعاد دستگاه‌های هواساز مرتبط با سیستم‌های VAV اغلب کمتر از سیستم‌های CAV می‌باشد. سیستم‌های VAV که با چیلرهای تراکمی مانند چیلر اسکرو کار می‌کنند، از آنجایی این چیلرها دارای کمپرسور می‌باشند و توان مصرفی کمپرسور بالا است، این نوع سیستم‌ها هزینه مصرف برق بیشتری نسبت به سیستم‌های VAV مشابه که با چیلرهای جذبی مانند چیلر شعله‌مستقیم کار می‌کنند را دارا می‌باشند.

۳- با توجه به نمودار ۱ در بار برودتی دانشکده فنی و مهندسی، بعد از سیستم VAV چیلر جذبی شعله‌مستقیم، سیستم‌هایی که با ماده مبرد کار می‌کنند، مانند سیستم VRF و بعد کولر گازی کمترین هزینه مصرف برق را در میان سیستم‌های تهویه مطبوع مورد بررسی دارا می‌باشند. علت این امر این است که سیستم‌های VRF قابلیت مدیریت پل‌های داخلی با جریان متغیر ماده مبرد به وسیله مرکز کنترل الکترونیکی هوشمند را دارا می‌باشند و ضریب عملکرد بالایی دارند. در کولرهای گازی با کمپرسور معمولی، سیستم فقط به صورت خاموش- روشن کار می‌کند تا بتواند انرژی و بار را در میزان دلخواه کنترل کند. عملکرد سیستم به این شکل، کنترل و تسلط کمتری بر فرآیند مورد نظر دارد. به علت استفاده از تکنولوژی کمپرسور اینورتر در سیستم‌های VRF، این واحد با استفاده از یک درایو فرکانس متغیر اقدام به تغییر سرعت در کمپرسور اسکرو می‌کند و این فرآیند از دیدگاه بهینه‌سازی انرژی، راندمان بسیار بالایی دارد؛ زیرا سرعت می‌تواند تا میزانی که تنها نیاز ما را بر طرف کند، کاهش یابد و کنترل بار سرمایه‌ش در هر یونیت با کنترل جریان مبرد آن تنظیم شده است. این حالت کنترل بسیار بهتری بر سیستم مورد نظر دارد و توسط عامل کار در سرعت‌های متفاوت، سیستم VRF قادر به صرفه‌جویی انرژی در حالت‌های بار جزئی می‌باشد و باعث ایجاد بالاترین بازدهی انرژی و مصرف برق کمتر نسبت به کولرهای گازی و سایر سیستم‌های متداول دیگر شده است. در کل استفاده از کمپرسور، جهت ایجاد حالت‌های سرمایش و گرمایش مشمول هزینه برق می‌باشد که با توجه به هزینه برق در کشور ایران، هزینه سالانه مصرف برق سیستم‌های کولر گازی و بعد سیستم‌های VRF بالا می‌باشد.

۴- با توجه به نمودار ۱ در بار برودتی دانشکده فنی و مهندسی، بعد از سیستم کولر گازی، سیستم CAV با چیلر جذبی شعله‌مستقیم دارای کمترین هزینه سالانه مصرف برق می‌باشد. مواردی نظیر اتلاف زیاد انرژی در حالت‌های سرمایش و گرمایش، توان مصرفی بالا فن دستگاه هواساز و مصرف انرژی الکتریکی در ترمینال‌ها جهت بازگرمایش هوا، باعث افزایش هزینه سالانه مصرف برق در سیستم‌های CAV شده است. سیستم‌های بازگرمایش ترمینالی در بین تمامی سیستم‌ها، کارایی انرژی کمتری دارند. سیستم‌های CAV که با چیلرهای تراکمی مانند چیلر اسکرو کار می‌کنند، به دلیل توان مصرفی بالا کمپرسور، هزینه مصرف برق بیشتری نسبت به سیستم‌های CAV مشابه که با چیلرهای جذبی مانند چیلر



نمودار ۲) مقایسه هزینه سالانه مصرف برق سیستم‌های مورد بررسی در بارهای برودتی مختلف (برحسب میلیون تومان)

۳-۲- مقایسه هزینه سالانه مصرف آب سیستم‌ها

با توجه به نمودارهای ۳ و ۴ در بار برودتی دانشکده فنی و مهندسی و در بارهای برودتی مختلف نکاتی که می‌توان در مورد هزینه سالانه مصرف آب سیستم‌های مورد بررسی نتیجه گرفت، شامل موارد زیر می‌باشد.

۱- از آنجایی که در سیستم‌های کولر گازی و VRF، آب مصرف نمی‌شود، هزینه سالانه مصرف آب این سیستم‌ها در بار برودتی دانشکده فنی و مهندسی و در بارهای برودتی مختلف صفر می‌باشد. ۲- سیستم‌های CAV، VAV و فن‌کوئل که با چیلر جذبی شعله‌مستقیم یا چیلر تراکمی اسکرو کار می‌کنند، مصرف آب در قسمت برج‌های خنک‌کننده به منظور جبران آب اتلافی صورت می‌گیرد. اتلاف آب در برج خنک‌کننده زیاد و به ۳ شکل صورت می‌گیرد که شامل موارد زیر می‌باشد.

۱-۲- تبخیر آب: تبخیر آب در برج خنک‌کننده تابع دمای ورود و خروج آب از برج خنک‌کننده، میزان دبی آب در گردش و دمای مرطوب محیط می‌باشد. در محاسبه آب جبرانی برج خنک‌کن، تبخیر آب تقریباً برابر ۱٪ دبی آب در گردش می‌باشد. تبخیر مهم‌ترین و بیشترین مقدار در محاسبه آب جبرانی برج خنک‌کن را تشکیل می‌دهد. هرچه تبخیر بالاتر باشد ظرفیت و راندمان دستگاه بالاتر است و آب بیشتری را خنک می‌کند.

۲-۲- پاشش قطرات به بیرون: در برج خنک‌کننده به دلیل دوران فن و به تبع آن حرکت هوا، مقداری از قطرات ریز و سبک آب به همراه هوا از داخل برج به بیرون پرتاب می‌شوند. به همین دلیل در برج‌های خنک‌کننده، قطره‌گیر در نظر گرفته شده است تا از پرتاب قطرات جلوگیری کند. مقداری از قطرات آب هم به دلیل وزش باد محیط از نواحی مختلف برج خنک‌کننده به بیرون پرتاب می‌گردد. در برج خنک‌کننده به این قطرات پرتاب‌شده، دریفت (Drift) یا پرتاب آب می‌گویند. میزان پرتاب آب در برج خنک‌کننده فقط تابع کیفیت و طراحی ساخت دستگاه می‌باشد و هرچه این مقدار کمتر باشد، مطلوب‌تر است. مقدار پرتاب آب، کمترین بخش را در محاسبه آب جبرانی برج خنک‌کن تشکیل می‌دهد و به طور تقریبی حداکثر برابر ۰/۱٪ دبی آب در گردش در برج خنک‌کننده می‌باشد.

۲-۳- زیر آب برج خنک‌کننده: آب در گردش در برج خنک‌کن دائماً در حال تبخیر است، به همین دلیل غلظت املاح و رسوبات در آب دائماً در حال افزایش است که رسوب آن باعث کاهش راندمان برج خنک‌کننده و فرسایش قطعات کل سیستم شده است. جهت کاهش غلظت املاح و رسوبات هر از چند گاهی باید مقداری از آب سیستم را خارج نمود. در محاسبه آب جبرانی برج خنک‌کن این میزان برابر ۰/۵٪ دبی کل آب در حال گردش می‌باشد.

شعله‌مستقیم کار می‌کنند را دارا می‌باشند.

۵- با توجه به نمودارهای ۱ و ۲ در سیستم‌های فن‌کوئل به دلیل حجم بالای سیستم لوله‌کشی و مسیرهای زیاد رفت و برگشت آب سرد یا آب گرم، افت فشار بالایی در لوله‌ها، اتصالات، شیرها و کلکتورهای تنظیم جریان خواهیم داشت. همچنین از آنجایی که در ظرفیت‌های بالای سرمایش و گرمایش تعداد فن‌کوئل‌هایی که در داخل ساختمان نصب می‌شوند زیاد است، افت فشار بسیار بالایی در داخل این فن‌کوئل‌ها ایجاد شده است. بنابراین تعداد پمپ‌ها جهت رفت و برگشت آب سرد یا آب گرم در سیستم‌های فن‌کوئل، نسبت به سیستم‌هایی که در ظرفیت سرمایش یا گرمایش برابر از دستگاه هواساز استفاده می‌کنند، بیشتر شده است. بنابراین هزینه سالانه مصرف برق برای پمپاژ آب سرد یا گرم در سیستم فن‌کوئل بسیار بالاتر از سیستم‌های مشابه هواساز آن می‌باشد. سیستم‌های فن‌کوئل که با چیلرهای تراکمی اسکرو کار می‌کنند به دلیل توان مصرفی بالا کمپرسور، هزینه مصرف برق بیشتری نسبت به سیستم‌های فن‌کوئل مشابه که با چیلرهای جذبی چیلر شعله‌مستقیم کار می‌کنند، دارا می‌باشند.

۶- با توجه به نمودار ۲ در بارهای برودتی مختلف بعد از سیستم VAV با چیلر جذبی شعله‌مستقیم، سیستم CAV با چیلر جذبی شعله‌مستقیم کمترین هزینه مصرف برق در بین سیستم‌های تهویه مطبوع دیگر را دارا می‌باشد. کلیه ترمینال‌های CAV که در بارهای برودتی مختلف استفاده شده است، بر خلاف ترمینال‌های CAV دانشکده فنی و مهندسی، بدون المان بازگرمایش می‌باشند که این ترمینال‌ها انرژی الکتریکی کمتری نسبت به ترمینال‌های دانشکده مصرف می‌کنند. بعد از سیستم CAV شعله‌مستقیم، سیستم VAV با چیلر تراکمی اسکرو تا بار ۸۰۰ تن برودتی کمترین مصرف برق را دارا می‌باشد.

۷- با توجه به نمودار ۲ در بارهای برودتی مختلف سیستم CAV با چیلر تراکمی اسکرو تا بار ۲۰۰ تن برودتی نسبت به سیستم VRF و تا بار ۸۰۰ تن برودتی نسبت به سیستم کولر گازی مصرف برق کمتری را دارا می‌باشد.

۸- با توجه به نمودار ۲ سیستم‌های فن‌کوئل در بارهای برودتی پایین عملکرد نسبتاً خوبی دارند، برای مثال هزینه مصرف برق سیستم فن‌کوئل با چیلر جذبی شعله‌مستقیم، بعد از سیستم CAV با چیلر جذبی شعله‌مستقیم، در بار برودتی ۵۰ تن دارای کمترین مقدار می‌باشد که نسبت به سیستم کولر گازی، سیستم VRF و سیستم‌هایی که با چیلر تراکمی اسکرو کار می‌کنند، هزینه مصرف برق کمتری را دارا می‌باشد.

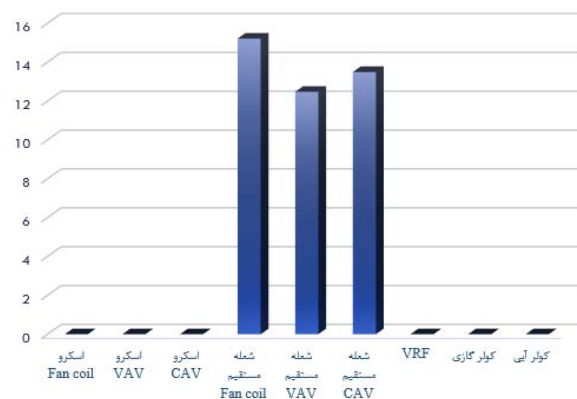


نمودار ۱) مقایسه هزینه سالانه مصرف برق سیستم‌های مورد بررسی در دانشکده فنی و مهندسی (برحسب میلیون تومان)

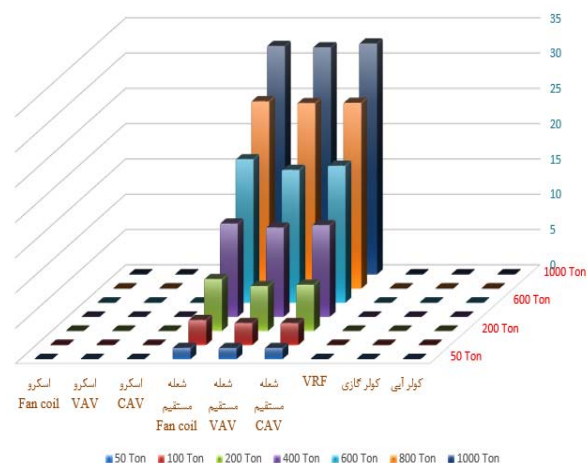
۱- در تمام بارهای برودتی هزینه سالانه مصرف گاز سیستم‌های کولر آبی، کولر گازی، VRF و تمام سیستم‌هایی که با چیلر تراکمی کار می‌کنند، صفر می‌باشد و تنها سیستم‌هایی که با چیلر جذبی در ارتباط هستند، گاز مصرف می‌کنند.

۲- از آنجایی که سیستم‌های VAV راندمان بالاتری نسبت به سیستم‌های CAV و فن‌کوئل دارند، در صورتی که از این سیستم‌ها در یک ساختمان استفاده شود، ظرفیت بار سرمایش و گرمایش طراحی کمتر از وقتی است که از سیستم‌های CAV یا فن‌کوئل استفاده شده است؛ چرا که در این سیستم‌ها با کمترین حجم هوا می‌توان به شرایط دمای طراحی دست یافت. در اصل یک سیستم VAV به بویلر، چیلر و هواساز اجازه می‌دهد تا بهینه‌تر کار کنند و انرژی انتقالی کمتری مصرف شده است. همچنین ظرفیت و ابعاد دستگاه‌های هواساز مرتبط با سیستم‌های VAV اغلب کمتر از سیستم‌های CAV می‌باشد؛ به همین دلیل ظرفیت عملکرد چیلر در حالتی که از سیستم VAV استفاده شده است، کمتر از ۲ سیستم ذکر شده می‌باشد و مقدار گاز کمتری استفاده می‌کند.

۳- در سیستم‌هایی که با فن‌کوئل کار می‌کنند، به دلیل حجم لوله‌کشی بالا و مسیرهای زیاد رفت و برگشت آب سرد یا گرم، مقدار زیادی از انرژی در سیستم لوله‌کشی هدر می‌رود و راندمان و عملکرد سیستم پایین می‌آید و دستگاه چیلر یا بویلر باید با ظرفیت و توان بیشتری نسبت به ۲ سیستم CAV و VAV کار کنند تا نیاز سرمایش یا گرمایش ساختمان را فراهم نماید؛ در نتیجه مصرف گاز سیستم فن‌کوئل نسبت به ۲ سیستم دیگر بیشتر می‌باشد.

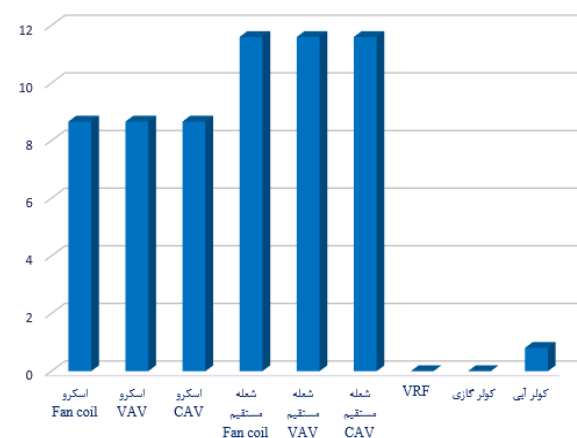


نمودار ۵) مقایسه هزینه سالانه مصرف گاز سیستم‌های مورد بررسی در دانشکده فنی و مهندسی (برحسب میلیون تومان)

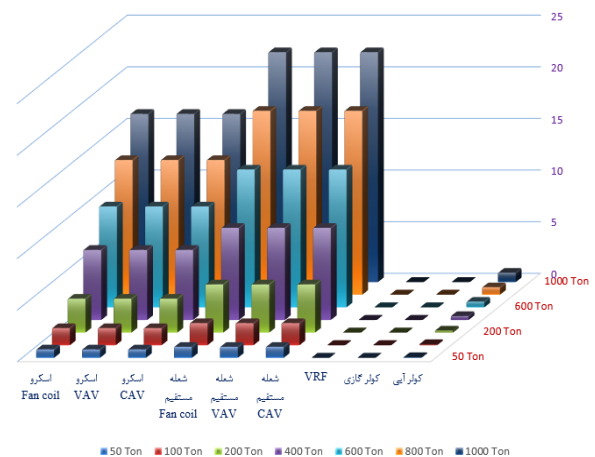


نمودار ۶) مقایسه هزینه سالانه مصرف گاز سیستم‌های مورد بررسی در بارهای برودتی مختلف (برحسب میلیون تومان)

۳- در چیلرهای جذبی نسبت به چیلرهای تراکمی در ظرفیت‌های برابر، دبی آبی که برج خنک‌کننده برای پایین آوردن دمای سیستم باید تأمین کند، بیشتر می‌باشد. به همین دلیل ظرفیت برج خنک‌کننده در چیلرهای جذبی بیشتر از چیلرهای تراکمی می‌باشد و به تبع آن مصرف آب، برای جبران آب اتلافی در برج خنک‌کننده چیلرهای جذبی بیشتر از برج خنک‌کننده چیلر تراکمی در ظرفیت‌های برابر چیلرهای جذبی و تراکمی می‌باشد. بنابراین در تمام بارهای برودتی مصرف آب برج خنک‌کننده چیلر جذبی شعله‌مستقیم بیشتر از برج خنک‌کننده چیلر تراکمی اسکرو می‌باشد. ۴- کولرهای آبی بسته به مقدار ظرفیتشان در طول شبانه‌روز بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ لیتر آب به منظور جبران آب تبخیرشده، مصرف می‌کنند. با محاسبه میزان آب جبرانی کولرهای آبی، با توجه به ساعات کاری ساختمان، ظرفیت و تعداد کولرهای آبی می‌توان نتیجه گرفت که هزینه مصرف آب در کل سیستم کولرهای آبی نسبت به سیستم‌های حاوی برج خنک‌کننده، بسیار کمتر می‌باشد.



نمودار ۳) مقایسه هزینه سالانه مصرف آب سیستم‌های مورد بررسی در دانشکده فنی و مهندسی (برحسب میلیون تومان)



نمودار ۴) مقایسه هزینه سالانه مصرف آب سیستم‌های مورد بررسی در بارهای برودتی مختلف (برحسب میلیون تومان)

۳-۳- مقایسه هزینه سالانه مصرف گاز سیستم‌ها

با توجه به نمودارهای ۵ و ۶، در بار برودتی دانشکده فنی و مهندسی و در بارهای برودتی مختلف نکاتی که می‌توان در مورد هزینه سالانه مصرف گاز سیستم‌های مورد بررسی نتیجه گرفت، شامل موارد زیر می‌باشد.

با توجه به نمودارهای ۷ و ۸، در بار بردتی دانشکده فنی و مهندسی و در بارهای برودتی مختلف نکاتی که می‌توان در مورد هزینه سالانه تعمیرات و نگهداری سیستم‌های مورد بررسی نتیجه گرفت، شامل موارد زیر می‌باشد.

۱- هزینه اندک تعمیرات و نگهداری کولر آبی، به واسطه وجود فقط ۲ قطعه مکانیکی در دستگاه (فن موتور و پمپ آب) میسر گردیده است و به مرور زمان در صورت نیاز به تعمیرات، این قطعات با هزینه اندک توسط مالک به آسانی قابل تعویض و تعمیر می‌باشند.

۲- بعد از سیستم کولر آبی، سیستم‌هایی که با ماده مبرد کار می‌کنند، مانند سیستم VRF و بعد کولرهای گازی، کمترین هزینه تعمیرات و نگهداری سالانه را در میان سیستم‌های تهویه مطبوع مورد بررسی دارا می‌باشند. این سیستم‌ها فاقد تجهیزات موتورخانه‌ای و کانال‌کشی هوا می‌باشند و هزینه تعمیر و خرید قطعات و تجهیزات به کار رفته در این سیستم‌ها نسبت به سیستم‌هایی که با دستگاه هواساز یا چیلر کار می‌کنند، کمتر و قابل دسترس‌تر می‌باشند.

۳- از آنجایی که سیستم‌های VRF حاوی مرکز کنترل الکترونیکی هوشمند (WIFI Controller) می‌باشند و مقدار سرمایه‌گذاری و گرمایش را با توجه به نیاز ساختمان با جریان متغیر ماده مبرد تأمین می‌کنند، راندمان و عملکرد این سیستم‌ها بالاتر و استهلاک اجزای تشکیل‌دهنده این سیستم‌ها نسبت به دیگر سیستم‌های تهویه مطبوع مانند کولرهای گازی کمتر می‌باشد.

۴- در ظرفیت‌های سرمایه‌گذاری و گرمایش برابر، تعداد و فضای اشغالی پنل‌های بیرونی سیستم‌های VRF نسبت به کولرهای گازی خیلی کمتر می‌باشد که این امر هزینه تعمیرات و نگهداری سیستم‌های VRF نسبت به کولرهای گازی را کاهش می‌دهد و انجام تعمیرات و مراقبت از سیستم را برای مالک آسان‌تر می‌کند؛ به عبارت دیگر تعمیرات و نگهداری به صورت مرکزی انجام می‌گیرد.

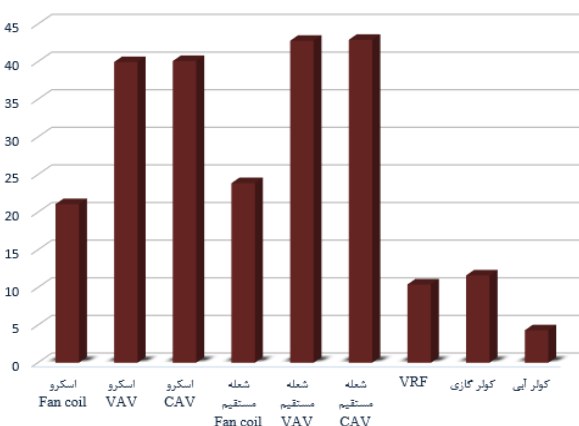
۵- سیستم‌های تمام‌هوایی از اجزا و قسمت‌های مختلفی تشکیل شده‌اند که شامل موتورخانه (چیلر، بویلر، پمپ و برج خنک‌کننده)، دستگاه هواساز، کانال‌های هوا، سیستم لوله‌کشی و ترمینال‌های CAV یا VAV و غیره می‌باشند. تعمیرات و نگهداری در این سیستم‌ها به صورت مرکزی و اجزای اصلی تشکیل‌دهنده این سیستم‌ها مانند چیلر، بویلر، دستگاه هواساز و غیره وارداتی بوده و هزینه تعمیرات و خرید این تجهیزات بسیار بالا و دسترسی به تکنسین و تجهیزات مربوطه مشکل می‌باشد.

۶- ساختمان و عملکرد چیلرهای جذبی به مراتب پیچیده‌تر از چیلرهای تراکمی می‌باشد؛ به همین دلیل هزینه تعمیرات، نگهداری و خرید تجهیزات چیلرهای جذبی بیشتر از چیلرهای تراکمی می‌باشد.

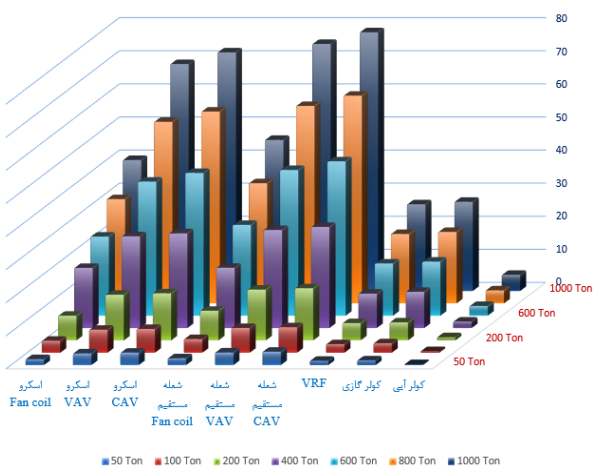
۷- تجهیزات کنترلی که در سیستم‌های VAV به کار رفته است، گران‌قیمت و نگهداری و مراقبت از این سیستم‌ها به مراتب بیشتر از سیستم‌های ساده CAV می‌باشد و در صورت به‌وجودآمدن مشکلی در این ترمینال‌ها هزینه تعمیراتشان بیشتر از سیستم‌های CAV خواهد بود.

۸- در سیستم‌های تمام‌آبی مانند سیستم‌های فن‌کوئل در مقایسه با سیستم‌های تمام‌هوایی، تجهیزات گران‌قیمت مانند دستگاه هواساز و کانال‌های هوا وجود ندارد؛ به همین دلیل هزینه تعمیرات و نگهداری سیستم‌های تمام‌آبی نسبت به سیستم‌های تمام‌هوایی کمتر می‌باشد.

۹- در سیستم‌های تمام‌آبی نیز تجهیزات گران‌قیمت مانند چیلر، بویلر، برج خنک‌کننده، فن‌کوئل و پمپ وجود دارد که در صورت



نمودار (۷) مقایسه هزینه تعمیرات و نگهداری سالانه سیستم‌های مورد بررسی در دانشکده فنی و مهندسی (برحسب میلیون تومان)



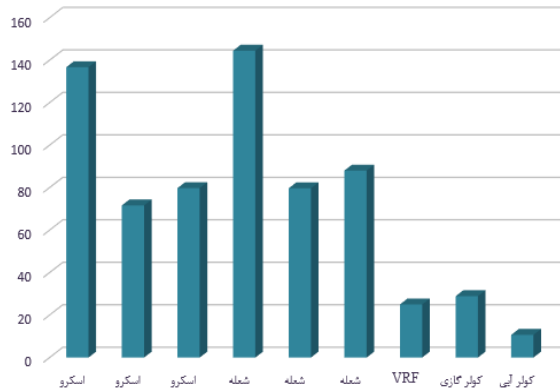
نمودار (۸) مقایسه هزینه سالانه مصرف گاز سیستم‌های مورد بررسی در بارهای برودتی مختلف (برحسب میلیون تومان)

۳-۵- مقایسه هزینه جاری سالانه

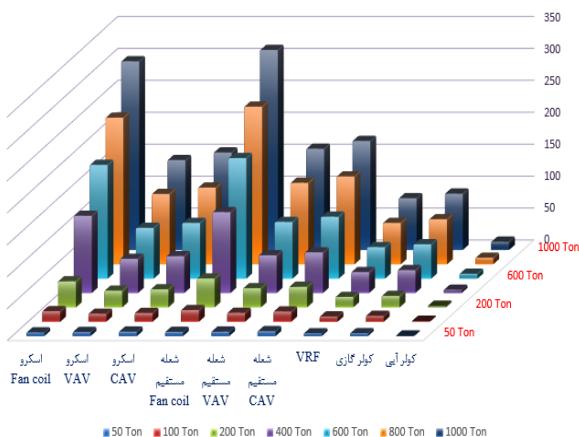
هزینه جاری سالانه، شامل مجموع هزینه‌های مصرف آب، برق، گاز، تعمیرات و نگهداری در سال می‌باشد. با توجه به نمودارهای ۹ و ۱۰، در بار بردتی دانشکده فنی و مهندسی و در بارهای برودتی مختلف نکاتی که می‌توان در مورد هزینه‌های جاری سالانه سیستم‌های مورد بررسی نتیجه گرفت، شامل موارد زیر می‌باشد.

۱- از آنجایی که در سیستم کولر آبی هزینه مصارف آب و برق و هزینه تعمیرات و نگهداری به واسطه وجود تنها ۲ قطعه مکانیکی در

این ۲ سیستم در هزینه‌های جاری نسبت به هم تغییر کند. همان‌طور که در نمودار ۱۰ مشاهده شده است در بارهای برودتی مختلف هزینه‌های جاری سیستم CAV با چیلر تراکمی اسکرو نسبت به سیستم VAV با چیلر جذبی شعله‌مستقیم کمتر می‌باشد و علت این امر، کم‌بودن هزینه‌های جاری چیلر تراکمی اسکرو نسبت به چیلر جذبی شعله‌مستقیم می‌باشد.



نمودار ۹: مقایسه هزینه جاری سالانه سیستم‌های مورد بررسی در دانشکده فنی و مهندسی (برحسب میلیون تومان)



نمودار ۱۰: مقایسه هزینه جاری سیستم‌های مورد بررسی در بارهای برودتی مختلف (برحسب میلیون تومان)

۵- سیستم‌های فن‌کوئل در بارهای برودتی پایین، عملکرد نسبتاً خوبی دارند. برای مثال هزینه‌های جاری سیستم فن‌کوئل با چیلر جذبی شعله‌مستقیم یا چیلر تراکمی اسکرو، در بار برودتی ۵۰ تن نسبت به سیستم‌های CAV یا VAV که با چیلرهای یکسانی کار می‌کنند، کمتر می‌باشد.

۶- در سیستم‌های فن‌کوئل در بارهای برودتی زیاد به دلیل افت فشار زیاد در قسمت لوله‌کشی، اتصالات، کلکتورهای تنظیم جریان و فن‌کوئل‌ها، تعداد پمپ‌ها جهت رفت و برگشت آب سرد یا آب گرم نسبت به سیستم‌های تمام‌هوایی بیشتر شده است. بنابراین هزینه سالانه مصرف برق برای پمپاژ آب سرد یا گرم در سیستم فن‌کوئل بسیار بالاتر از سیستم‌های مشابه هواساز آن می‌باشد. در کل در بارهای برودتی زیاد، سیستم‌های فن‌کوئل هزینه مصرف برق بیشتری نسبت به سیستم‌های دیگر دارا می‌باشند. در سیستم‌های فن‌کوئل در مقایسه با سیستم‌های تمام‌هوایی، تجهیزات گران‌قیمت مانند دستگاه هواساز و کانال‌های هوا وجود ندارد؛ به همین دلیل

دستگاه (فن موتور و پمپ آب) نسبت به سایر سیستم‌های مورد بررسی کمتر می‌باشد و همچنین از آنجایی که این سیستم گاز مصرف نمی‌کند، بنابراین سیستم کولر آبی کمترین هزینه جاری را در میان سیستم‌های مورد بررسی دارا می‌باشد.

۲- هزینه مصارف آب و گاز در سیستم‌هایی که با ماده مبرد کار می‌کنند، مانند سیستم VRF و کولرهای گازی وجود ندارد. بعد از سیستم کولر آبی، سیستم VRF و بعد کولرهای گازی، کمترین هزینه تعمیرات و نگهداری سالانه را در میان سیستم‌های تهویه مطبوع مورد بررسی دارا می‌باشند. این سیستم‌ها فاقد تجهیزات موتورخانه‌ای و کانال‌کشی هوا می‌باشند و هزینه تعمیر و خرید قطعات و تجهیزات به کار رفته در این سیستم‌ها نسبت به سیستم‌هایی که با دستگاه هواساز یا چیلر کار می‌کنند، کمتر و قابل دسترس‌تر می‌باشند. هزینه مصرف برق در سیستم‌های کولر گازی و VRF نسبت به سیستم‌های دیگر مقداری بالا می‌باشد. ولی در مجموع بعد از سیستم کولر آبی، سیستم VRF و بعد سیستم کولر گازی کمترین هزینه جاری در میان سیستم‌های مورد بررسی را دارا می‌باشند.

۳- سیستم‌های تمام‌هوایی از اجزا و قسمت‌های مختلفی تشکیل شده‌اند که شامل موتورخانه (چیلر، بویلر، پمپ و برج خنک‌کننده)، دستگاه هواساز، کانال‌های هوا، سیستم لوله‌کشی و ترمینال‌های CAV یا VAV و غیره می‌باشند. تعمیرات و نگهداری در این سیستم‌ها به صورت مرکزی و اجزای اصلی تشکیل‌دهنده این سیستم‌ها مانند چیلر، بویلر، دستگاه هواساز و غیره وارداتی بوده و هزینه تعمیرات و خرید این تجهیزات بسیار بالا و دسترس به تکنسین و تجهیزات مربوطه مشکل می‌باشد. همچنین ساختمان و عملکرد چیلرهای جذبی به مراتب پیچیده‌تر از چیلرهای تراکمی می‌باشد؛ به همین دلیل هزینه تعمیرات، نگهداری و خرید تجهیزات چیلرهای جذبی بیشتر از چیلرهای تراکمی می‌باشد. مجموع هزینه‌های مصارف برق، گاز و آب در چیلر جذبی شعله‌مستقیم بیشتر از هزینه مصارف برق و آب در چیلر تراکمی اسکرو می‌باشد. بنابراین با توجه به آنچه در این قسمت گفته شد، هزینه جاری سالانه سیستم‌های CAV یا VAV مرتبط با چیلر تراکمی اسکرو نسبت به وقتی که با چیلر جذبی شعله‌مستقیم مرتبط هستند، کمتر می‌باشد.

۴- از آنجایی که سیستم‌های VAV راندمان بالاتری نسبت به سیستم‌های CAV دارند و یک سیستم VAV به بویلر، چیلر و هواساز اجازه می‌دهد تا بهینه‌تر کار کنند و انرژی انتقالی کمتری مصرف شده است. همچنین ظرفیت و ابعاد دستگاه‌های هواساز مرتبط با سیستم‌های VAV اغلب کمتر از سیستم‌های CAV می‌باشد؛ ولی تجهیزات کنترلی که در سیستم‌های VAV به کار رفته است، گران‌قیمت و نگهداری و مراقبت از این سیستم‌ها به مراتب بیشتر از سیستم‌های ساده CAV می‌باشد و در صورت به‌وجود آمدن مشکلی در این ترمینال‌ها هزینه تعمیراتشان بیشتر از سیستم‌های CAV خواهد بود. بنابراین در حالت کلی در بار برودتی دانشکده فنی و مهندسی هزینه جاری سالانه سیستم‌های CAV و VAV، به ترتیب از مقدار کمتر به بیشتر به صورت سیستم VAV با چیلر تراکمی اسکرو، سیستم VAV با چیلر جذبی شعله‌مستقیم، سیستم CAV با چیلر تراکمی اسکرو و سیستم CAV با چیلر جذبی شعله‌مستقیم می‌باشد.

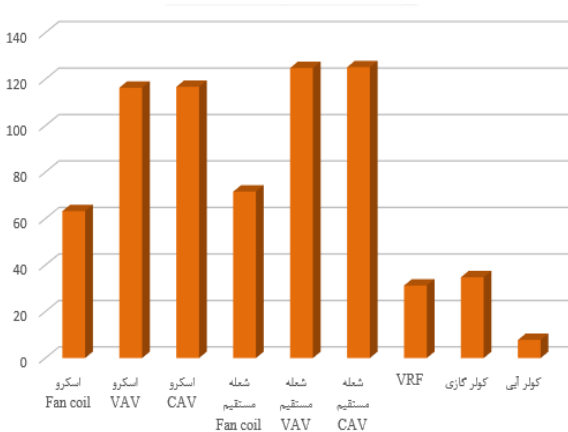
با توجه به نمودارهای ۹ و ۱۰، هزینه‌های جاری سیستم CAV با چیلر تراکمی اسکرو و سیستم VAV با چیلر جذبی شعله‌مستقیم بسیار به هم نزدیک می‌باشند و با توجه به شرایط مسئله ممکن است برتری

۳متر بلندتر از نوع تراکمی است و برای نصب آن باید فضای موتورخانه به اندازه کافی جا داشته باشد. همچنین چیلرهای جذبی حدوداً ۲ برابر چیلرهای تراکمی در ظرفیت‌های برابر وزن دارد که باید محل استقرار آن از زیرسازی‌های بسیار محکم‌تر و پرهزینه‌تر استفاده شود. چیلرهای جذبی به علت بزرگتر و سنگین‌تر بودن معمولاً در چند مرحله و با تجهیزات جدا از هم از کارخانه تا محل نصب، حمل می‌شوند و سیال مبرد و جاذب آن نیز در محل نصب و پس از مونتاژ کردن تجهیزات، درون چیلر پر شده است. ولی چیلرهای تراکمی به صورت یک‌پارچه و با حمل و نصب آسان‌تر نسبت به نوع جذبی، به محل مورد نظر حمل و سپس نصب می‌شود. همچنین ظرفیت و هزینه نصب برج خنک‌کننده و پمپ‌های مربوطه در چیلرهای جذبی نسبت به چیلرهای تراکمی در توان‌های برابر، بیشتر می‌باشد. به طور کلی ساختمان و عملکرد چیلرهای جذبی به مراتب پیچیده‌تر از چیلرهای تراکمی می‌باشد؛ به همین دلیل هزینه نصب چیلرهای جذبی بیشتر از چیلرهای تراکمی می‌باشد.

۶- ظرفیت و ابعاد دستگاه‌های هواساز مرتبط با سیستم‌های VAV اغلب کمتر از سیستم‌های CAV می‌باشد؛ ولی تجهیزات کنترلی که در سیستم‌های VAV به کار رفته است، بیشتر و هزینه نصب تجهیزات این سیستم‌ها به مراتب بیشتر از سیستم‌های ساده CAV می‌باشد.

۷- در سیستم‌های فن‌کوئل در مقایسه با سیستم‌های تمام‌هوایی، تجهیزات گران‌قیمت مانند دستگاه هواساز و کانال‌های هوا وجود ندارد؛ به همین دلیل هزینه نصب سیستم‌های فن‌کوئل نسبت به سیستم‌های تمام‌هوایی کمتر می‌باشد. ولی هنوز در این سیستم‌ها تجهیزاتی مانند چیلر، بویلر، برج خنک‌کننده، فن‌کوئل، پمپ، لوله، اتصالات و کلکتورهای تنظیم دبی وجود دارد که هزینه نصب تجهیزات این سیستم را به مقدار زیادی بالا می‌برد. به طور کلی هزینه نصب فن‌کوئل از ترمینال‌های CAV بیشتر و از ترمینال‌های VAV کمتر می‌باشد.

با توجه به آنچه گفته شد و با توجه به نمودارهای ۱۲ و ۱۳ هزینه نصب سیستم‌های تهویه مطبوع مورد بررسی، به ترتیب از مقدار کمتر به بیشتر به صورت سیستم کولر آبی، سیستم VRF، سیستم کولر گازی، سیستم فن‌کوئل با چیلر تراکمی اسکرو، سیستم فن‌کوئل با چیلر جذبی شعله‌مستقیم، سیستم CAV با چیلر تراکمی اسکرو، سیستم CAV با چیلر تراکمی اسکرو، سیستم VAV با چیلر جذبی شعله‌مستقیم و سیستم CAV با چیلر جذبی شعله‌مستقیم می‌باشد.



نمودار (۱۱) مقایسه هزینه نصب تجهیزات سیستم‌های مورد بررسی در دانشکده فنی و مهندسی (برحسب میلیون تومان)

هزینه تعمیرات و نگهداری سیستم‌های تمام‌آبی نسبت به سیستم‌های تمام‌هوایی کمتر می‌باشد. در سیستم‌های تمام‌آبی تجهیزات گران‌قیمت مانند چیلر، بویلر، برج خنک‌کننده، فن‌کوئل و پمپ وجود دارد که در صورت به‌وجود آمدن مشکل برای هر یک از این تجهیزات، به خصوص چیلر و بویلر هزینه تعمیرات بالایی را به همراه خواهد داشت. به طور کلی هزینه خرید و تعمیرات فن‌کوئل از ترمینال‌های CAV بیشتر و از ترمینال‌های VAV کمتر می‌باشد. در پایان به دلیل کم‌بودن هزینه‌های جاری چیلر تراکمی اسکرو نسبت به چیلر جذبی شعله‌مستقیم، سیستم فن‌کوئل با چیلر تراکمی اسکرو هزینه جاری کمتری نسبت به سیستم فن‌کوئل با چیلر جذبی شعله‌مستقیم دارد.

۳-۶- مقایسه هزینه نصب تجهیزات

با توجه به نمودارهای ۱۱ و ۱۲، در باربردنی دانشکده فنی و مهندسی و در بارهای بردنی مختلف نکاتی که می‌توان در مورد هزینه‌های نصب تجهیزات سیستم‌های مورد بررسی نتیجه گرفت، شامل موارد زیر می‌باشد.

۱- هزینه نصب سیستم کولر آبی به دلیل سادگی تجهیزات و عملکرد سیستم و اشغال فضای کم نسبت به دیگر سیستم‌های تهویه مطبوع بسیار کمتر می‌باشد.

۲- بعد از سیستم کولر آبی، سیستم‌هایی که با ماده مبرد کار می‌کنند، مانند سیستم VRF و بعد کولرهای گازی، کمترین هزینه نصب تجهیزات را در میان سیستم‌های تهویه مطبوع مورد بررسی دارا می‌باشند. هزینه نصب تجهیزات در سیستم‌های VRF نسبت به کولرهای گازی کمتر می‌باشد، به دلیل اینکه یونیت‌های بیرونی به صورت مرکزی نصب شده و از این یونیت‌های مرکزی برای تغذیه یونیت‌های داخلی تمام فضاها استفاده می‌شوند؛ ولی در سیستم‌های کولر گازی برای تغذیه هر یونیت داخلی در فضا نیاز به نصب یک یونیت بیرونی می‌باشد. همچنین در ظرفیت‌های سرمایش و گرمایش برابر، فضای اشغالی پنل‌های بیرونی سیستم‌های VRF نسبت به کولرهای گازی خیلی کمتر می‌باشد، بنابراین با توجه به آنچه گفته شد، هزینه نصب سیستم‌های VRF نسبت به کولرهای گازی کمتر می‌باشد.

۳- سیستم‌های VRF و کولر گازی بر خلاف سیستم‌های تمام‌آبی و تمام‌هوایی فاقد تجهیزات موتورخانه‌ای گران‌قیمت مثل بویلر، چیلر، برج خنک‌کننده و غیره می‌باشند و همچنین این سیستم‌ها برخلاف سیستم‌های تمام‌هوایی فاقد دستگاه هواساز و کانال‌کشی هوا هستند که این دلایل باعث شده است، هزینه نصب سیستم‌های VRF و کولر گازی نسبت به سیستم‌های تمام‌هوایی و تمام‌آبی بسیار کمتر شود.

۴- سیستم‌های تمام‌هوایی از اجزا و قسمت‌های مختلفی تشکیل شده‌اند که شامل موتورخانه (چیلر، بویلر، پمپ و برج خنک‌کننده)، دستگاه هواساز، کانال‌های هوا، سیستم لوله‌کشی و ترمینال‌های CAV یا VAV و غیره می‌باشند. نصب تجهیزات در این سیستم‌ها به صورت مرکزی بوده و سیستم‌های تهویه مطبوع تمام‌هوایی با توجه به پیچیدگی و تجهیزات زیاد و گوناگون استفاده شده دارای هزینه نصب بالایی نسبت به سایر سیستم‌های تهویه مطبوع دیگر می‌باشند.

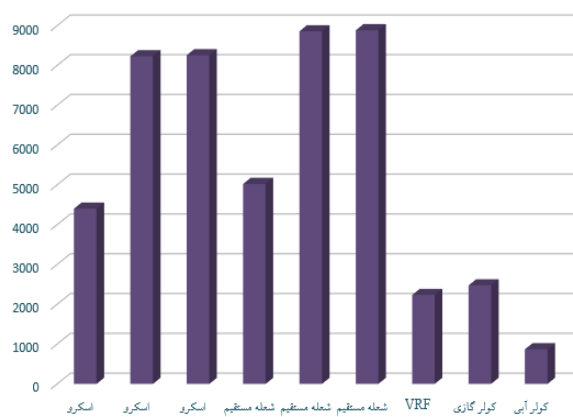
۵- چیلرهای جذبی در توان برابر با چیلرهای تراکمی، حدود ۴۰ تا ۶۰٪ به مساحت بیشتری جهت نصب نیاز دارند و علت آن بزرگ‌تر بودن تجهیزات چیلر جذبی (در توان برابر) نسبت به چیلر تراکمی است. علاوه بر مساحت، ارتفاع چیلر جذبی نیز بین ۱/۸ تا

تجهیزات زیاد و گوناگون استفاده شده، دارای هزینه خرید و نصب بالایی نسبت به سایر سیستم‌های تهویه مطبوع دیگر می‌باشند.

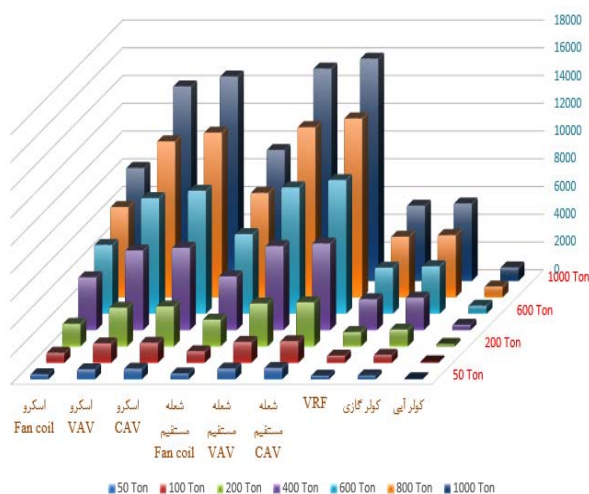
۵- چیلرهای جذبی در توان و ظرفیت برابر با چیلرهای تراکمی، هزینه خرید و نصب بیشتری را دارا می‌باشند. همچنین ظرفیت و هزینه خرید برج خنک‌کننده و پمپ‌های مربوطه در چیلرهای جذبی نسبت به چیلرهای تراکمی در توان‌های برابر، بیشتر می‌باشد.

۶- ظرفیت و ابعاد دستگاه‌های هواساز مرتبط با سیستم‌های VAV اغلب کمتر از سیستم‌های CAV می‌باشد؛ ولی تجهیزات کنترلی که در سیستم‌های VAV به کار رفته است، بیشتر و هزینه خرید و نصب تجهیزات این سیستم‌ها به مراتب بیشتر از سیستم‌های ساده CAV می‌باشد.

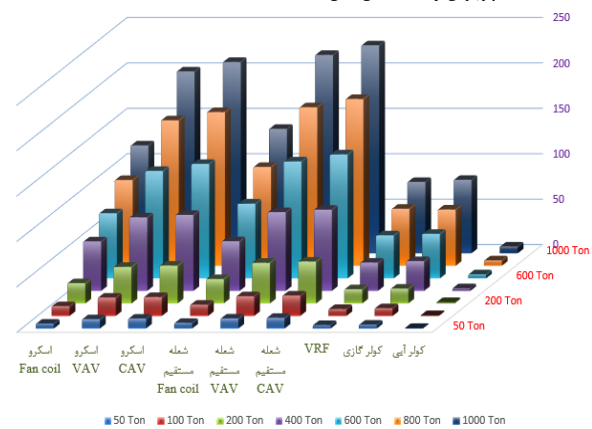
۷- در سیستم‌های فن‌کوئل در مقایسه با سیستم‌های تمام‌هوایی، تجهیزات گران‌قیمت مانند دستگاه هواساز و کانال‌های هوا وجود ندارد؛ به همین دلیل هزینه خرید و نصب سیستم‌های فن‌کوئل نسبت به سیستم‌های تمام‌هوایی کمتر می‌باشد. ولی هنوز در این سیستم‌ها تجهیزاتی مانند چیلر، بویلر، برج خنک‌کننده، فن‌کوئل، پمپ، لوله، اتصالات و کلکتورهای تنظیم دبی وجود دارد که هزینه خرید و نصب تجهیزات این سیستم را به مقدار زیادی بالا می‌برد. به طور کلی هزینه خرید و نصب فن‌کوئل از ترمینال‌های CAV بیشتر و از ترمینال‌های VAV کمتر می‌باشد.



نمودار ۱۳) مقایسه هزینه اولیه سیستم‌های مورد بررسی در دانشکده فنی و مهندسی (برحسب میلیون تومان)



نمودار ۱۴) مقایسه هزینه اولیه سیستم‌های مورد بررسی در بارهای برودتی مختلف (برحسب میلیون تومان)



نمودار ۱۵) مقایسه هزینه نصب سیستم‌های مورد بررسی در بارهای برودتی مختلف (برحسب میلیون تومان)

۷-۳ مقایسه هزینه اولیه

با توجه به نمودارهای ۱۳ و ۱۴، در بار برودتی دانشکده فنی و مهندسی و در بارهای برودتی مختلف نکاتی که می‌توان در مورد هزینه‌های اولیه سیستم‌های مورد بررسی نتیجه گرفت، شامل موارد زیر می‌باشد.

۱- هزینه اولیه سیستم‌های کولر آبی شامل هزینه خرید کولر آبی، کانال‌های توزیع هوا، دریچه‌های دیواری و هزینه نصب کولر آبی می‌باشد. به علت سادگی تجهیزات و عملکرد سیستم کولر آبی، هزینه اولیه این سیستم نسبت به سایر سیستم‌های تهویه مطبوع کمتر می‌باشد.

۲- بعد از سیستم کولر آبی، سیستم‌هایی که با ماده مبرد کار می‌کنند، مانند سیستم VRF و بعد کولرهای گازی، کمترین هزینه اولیه را در میان سیستم‌های تهویه مطبوع مورد بررسی دارا می‌باشند. هزینه اولیه در سیستم‌های VRF نسبت به کولرهای گازی کمتر می‌باشد، به دلیل اینکه یونیت‌های بیرونی به صورت مرکزی خریداری و نصب شده و از این یونیت‌های مرکزی برای تغذیه یونیت‌های داخلی تمام فضاها استفاده می‌شوند؛ ولی در سیستم‌های کولر گازی برای تغذیه هر یونیت داخلی در فضا نیاز به خرید و نصب یک یونیت بیرونی می‌باشد. در کل هزینه خرید و نصب یونیت‌های مرکزی سیستم VRF نسبت به هزینه خرید و نصب یونیت‌های بیرونی کولر گازی کمتر می‌باشد. همچنین در ظرفیت‌های سرمایش و گرمایش برابر، فضای اشغالی پنل‌های بیرونی سیستم‌های VRF نسبت به کولرهای گازی خیلی کمتر می‌باشد، بنابراین با توجه به آنچه گفته شد، هزینه خرید و نصب سیستم‌های VRF نسبت به کولرهای گازی کمتر می‌باشد.

۳- سیستم‌های VRF و کولر گازی بر خلاف سیستم‌های تمام‌آبی و تمام‌هوایی فاقد تجهیزات موتورخانه‌ای گران‌قیمت مثل بویلر، چیلر، برج خنک‌کننده و غیره می‌باشند و همچنین این سیستم‌ها برخلاف سیستم‌های تمام‌هوایی فاقد دستگاه هواساز و کانال‌کشی هوا هستند که این دلایل باعث شده است هزینه خرید و نصب سیستم‌های VRF و کولر گازی نسبت به سیستم‌های تمام‌هوایی و تمام‌آبی بسیار کمتر شود.

۴- همان‌طور که قبلاً گفته شد، سیستم‌های تمام‌هوایی از اجزا و قسمت‌های مختلفی تشکیل شده‌اند که شامل موتورخانه (چیلر، بویلر، پمپ و برج خنک‌کننده)، دستگاه هواساز، کانال‌های هوا، سیستم لوله‌کشی و ترمینال‌های CAV یا VAV و غیره می‌باشند. سیستم‌های تهویه مطبوع تمام‌هوایی با توجه به پیچیدگی و

۱- با توجه به آنچه گفته شد، هزینه‌های جاری و اولیه سیستم کولر آبی نسبت به سایر سیستم‌های تهویه مطبوع مورد بررسی بسیار کمتر می‌باشد. همچنین عمر مفید این سیستم، نسبت به بقیه سیستم‌ها، کمترین مقدار را دارا می‌باشد که باعث شده مقدار کل هزینه‌های آن در یک سال بالا برود؛ ولی هنوز نسبت به سایر سیستم‌های تهویه دارای کمترین مقدار هزینه‌ها در سال می‌باشد.

۲- بعد از سیستم کولر آبی، سیستم‌هایی که با ماده مبرد کار می‌کنند مانند سیستم VRF و بعد سیستم کولر گازی دارای کمترین مقدار هزینه‌های جاری و اولیه در سال می‌باشد. میانگین عمر مفید سیستم‌های VRF، ۱۵ سال که نسبت به سیستم‌های کولر آبی و کولر گازی بیشتر و نسبت به سیستم‌های تمام‌هوایی و تمام‌آبی کمتر می‌باشد. از آنجایی که هزینه‌های اولیه و هزینه‌های جاری سالانه سیستم VRF به مقدار قابل توجهی کمتر از سیستم‌های کولر گازی، سیستم‌های تمام‌هوایی و سیستم‌های تمام‌آبی می‌باشد، این سیستم بعد از سیستم کولر آبی دارای کمترین مقدار هزینه در سال می‌باشد.

۳- میانگین عمر مفید سیستم کولر گازی ۱۲ سال که نسبت به سیستم کولر آبی بیشتر و نسبت به سیستم‌های VRF، سیستم‌های تمام‌هوایی و سیستم‌های تمام‌آبی کمتر می‌باشد. از آنجایی که هزینه‌های اولیه و هزینه‌های جاری سالانه سیستم کولر گازی به مقدار قابل توجهی کمتر از سیستم‌های تمام‌هوایی و تمام‌آبی می‌باشد، این سیستم بعد از سیستم VRF دارای کمترین مقدار هزینه در سال می‌باشد.

۴- سیستم‌های تهویه مطبوع تمام‌هوایی با توجه به پیچیدگی و تجهیزات زیاد و گوناگون استفاده‌شده مانند چیلر، بویلر، پمپ، برج خنک‌کننده، دستگاه هواساز، کانال‌های هوا، سیستم لوله‌کشی، ترمینال‌های CAV یا VAV و غیره دارای هزینه خرید و نصب بالایی نسبت به سایر سیستم‌های تهویه مطبوع دیگر می‌باشند. ظرفیت و ابعاد دستگاه‌های هواساز مرتبط با سیستم‌های VAV اغلب کمتر از سیستم‌های CAV می‌باشد؛ ولی تجهیزات کنترلی که در سیستم‌های VAV به کار رفته است، بیشتر و هزینه نصب و خرید تجهیزات این سیستم‌ها به مراتب بیشتر از سیستم‌های ساده CAV می‌باشد. چیلرهای جذبی در توان و ظرفیت برابر با چیلرهای تراکمی، هزینه خرید و نصب بیشتری را دارا می‌باشند. همچنین ظرفیت و هزینه خرید برج خنک‌کننده و پمپ‌های مربوطه در چیلرهای جذبی نسبت به چیلرهای تراکمی در توان‌های برابر، بیشتر می‌باشد. از آنجایی که عمر مفید چیلرهای جذبی ۲۰ تا ۲۵ سال و عمر مفید چیلرهای تراکمی ۳۰ تا ۳۵ سال می‌باشد. به طور کلی سیستم‌هایی که با چیلر تراکمی در ارتباط هستند، میانگین عمر مفیدشان نسبت به سیستم‌هایی که با چیلرهای جذبی در ارتباط هستند، بیشتر می‌باشد.

۵- هزینه‌های اولیه سیستم‌های تمام‌آبی، در مقایسه با سیستم‌های تمام‌هوایی، به دلیل نبودن تجهیزات گران‌قیمت مانند دستگاه هواساز و کانال‌های هوا بسیار کمتر می‌باشد؛ به همین دلیل هزینه خرید و نصب سیستم‌های فن‌کوئل نسبت به سیستم‌های تمام‌هوایی کمتر می‌باشد. ولی هنوز در این سیستم‌ها تجهیزات مانند چیلر، بویلر، برج خنک‌کننده، فن‌کوئل، پمپ، لوله، اتصالات و کلکتورهای تنظیم دبی وجود دارد که هزینه خرید و نصب تجهیزات این سیستم را به مقدار قابل توجهی از سیستم‌های کولر آبی، کولر گازی و سیستم‌های VRF بالاتر می‌برد. به طور کلی هزینه خرید و نصب فن‌کوئل از ترمینال‌های CAV بیشتر و از ترمینال‌های VAV کمتر می‌باشد. هزینه‌های جاری سیستم‌های فن‌کوئل نسبت به

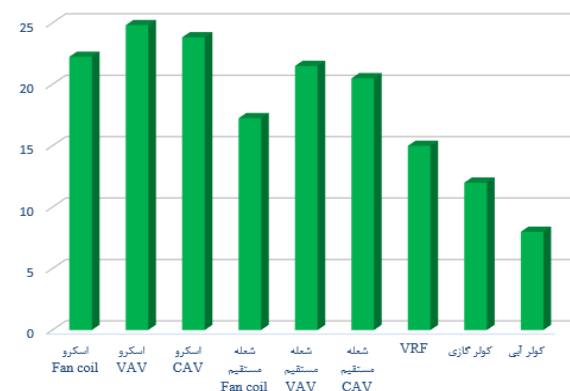
با توجه به آنچه گفته شد و با توجه به نمودار ۱۳ و ۱۶ هزینه اولیه سیستم‌های تهویه مطبوع مورد بررسی، به ترتیب از مقدار کمتر به بیشتر به صورت سیستم کولر آبی، سیستم VRF، سیستم کولر گازی، سیستم فن‌کوئل با چیلر تراکمی اسکرو، سیستم فن‌کوئل با چیلر جذبی شعله‌مستقیم، سیستم VAV با چیلر تراکمی اسکرو، سیستم CAV با چیلر تراکمی اسکرو، سیستم VAV با چیلر جذبی شعله‌مستقیم و سیستم CAV با چیلر جذبی شعله‌مستقیم می‌باشد.

۳-۸- مقایسه عمر مفید تجهیزات

از آنجا که در سیستم کولر آبی سیال آب در حال گردش در سیستم می‌باشد، املاح موجود در آب باعث گرفتگی و از کار افتادن پمپ شده است. عمر مفید سیستم کولر آبی، به طور میانگین ۷ تا ۹ سال می‌باشد که نسبت به سایر سیستم‌های تهویه مطبوع، کمتر می‌باشد. عمر مفید کولرهای گازی به طور میانگین ۱۱ تا ۱۳ سال می‌باشد. در سیستم‌های VRF، عمر مفید یونیت‌های بیرونی ۱۸ سال و یونیت‌های داخل ساختمان ۱۲ سال می‌باشد که می‌توان به طور میانگین عمر مفید این سیستم را ۱۵ سال در نظر گرفت.

به طور کلی عمر مفید فن‌کوئل‌ها ۱۲ سال، ترمینال‌های CAV ۱۴ سال، ترمینال‌های VAV ۱۷ سال، دستگاه هواساز ۱۸ سال، چیلر جذبی شعله‌مستقیم ۲۰ تا ۲۵ سال و چیلر تراکمی اسکرو ۳۰ تا ۳۵ سال می‌باشد.

با توجه به نمودار ۱۵، میانگین عمر سیستم‌های تهویه مطبوع مورد بررسی به ترتیب از مقدار کمتر به بیشتر به صورت سیستم کولر آبی، سیستم کولر گازی، سیستم VRF، سیستم فن‌کوئل با چیلر جذبی شعله‌مستقیم، سیستم CAV با چیلر جذبی شعله‌مستقیم، سیستم VAV با چیلر تراکمی اسکرو، سیستم CAV با چیلر تراکمی اسکرو و سیستم VAV با چیلر تراکمی اسکرو می‌باشد.



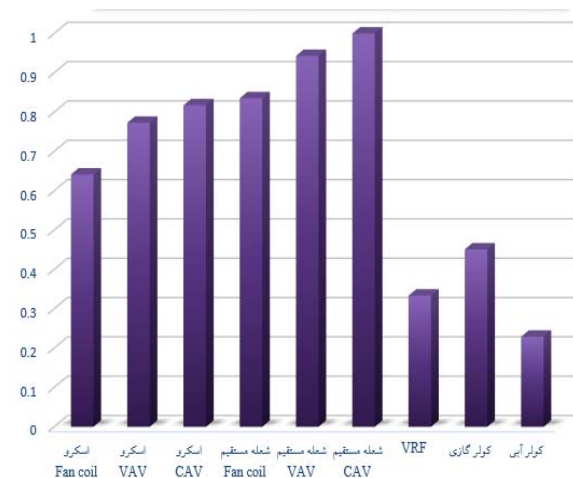
نمودار ۱۵) مقایسه عمر مفید سیستم‌های مورد بررسی (برحسب سال)

۳-۹- مقایسه مجموع هزینه‌های جاری و اولیه در یک سال

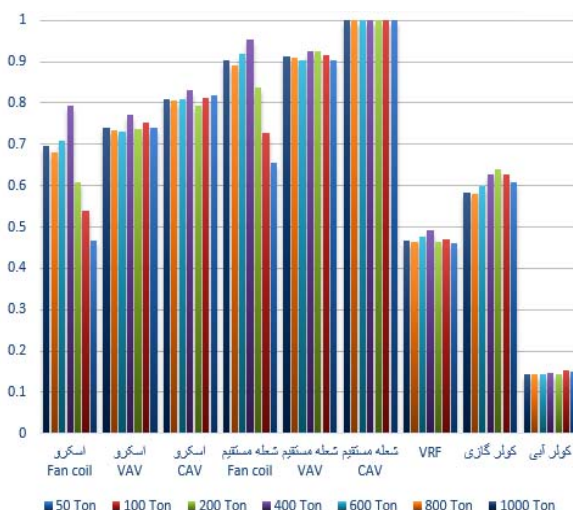
در این بخش کلیه هزینه‌های اولیه سیستم‌های مورد بررسی بر مقدار عمر مفیدشان تقسیم شده و با هزینه‌های جاری مربوطه جمع می‌شوند.

در این بررسی سیستمی مطلوب است که هزینه جاری و اولیه کمتر و عمر مفید بیشتری داشته باشد. با توجه به نمودارهای ۱۶ و ۱۷، در بار برودتی دانشکده فنی و مهندسی و در بارهای برودتی مختلف نکاتی که می‌توان در مورد مجموع هزینه‌های جاری و اولیه سیستم‌های مورد بررسی در یک سال نتیجه گرفت، شامل موارد زیر می‌باشد.

و اولیه سیستم CAV با چیلر جذبی شعله‌مستقیم در سال، تقسیم شود، مقدار کل هزینه‌های سیستم‌ها در سال نسبت به مقدار کل هزینه‌های سیستم CAV با چیلر جذبی شعله‌مستقیم در سال، بی‌بعد شده است. نمودار ۱۸ مقادیر هزینه‌های بی‌بعدشده، سیستم‌های مورد بررسی را در بار دانشکده فنی و مهندسی و نمودار ۱۹ مقادیر هزینه‌های بی‌بعدشده سیستم‌های مورد بررسی را در بارهای بروندی مختلف نشان می‌دهد. این ۲ نمودار همان معنا و مفهوم نمودارهای ۱۶ و ۱۷ در بخش ۳-۹ را می‌دهند. به طوری که مقادیر بی‌بعدشده مجموع هزینه‌های جاری و اولیه سیستم‌های مورد بررسی در یک سال، از مقدار کمتر به بیشتر به ترتیب به صورت سیستم کولر آبی، سیستم VRF، سیستم کولر گازی، سیستم فن‌کوئل با چیلر تراکمی اسکرو، سیستم CAV با چیلر تراکمی اسکرو، سیستم فن‌کوئل با چیلر جذبی شعله‌مستقیم، سیستم VAV با چیلر تراکمی اسکرو، سیستم CAV با چیلر جذبی شعله‌مستقیم و سیستم CAV با چیلر جذبی شعله‌مستقیم می‌باشد.



نمودار ۱۸) مقادیر نسبت مجموع هزینه‌های جاری و اولیه سیستم‌ها در یک سال به پرهزینه‌ترین سیستم برای دانشکده فنی و مهندسی



نمودار ۱۹) مقایسه مقادیر نسبت مجموع هزینه‌های جاری و اولیه سیستم‌ها در یک سال به پرهزینه‌ترین سیستم در بارهای بروندی مختلف

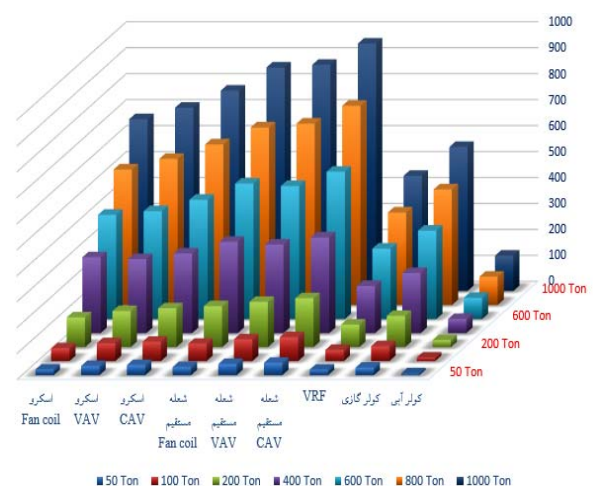
۴- بحث و نتیجه‌گیری

سیستم کولر آبی در بین کلیه سیستم‌های مورد بررسی دارای کمترین مقدار هزینه اولیه و جاری می‌باشد و همچنین کل هزینه‌های این

سیستم‌های کولر آبی، کولر گازی، سیستم VRF و سیستم تمام‌هوایی به مقدار قابل توجهی بیشتر می‌باشد. به طور کلی میانگین عمر مفید سیستم فن‌کوئل با چیلر تراکمی نسبت به سیستم فن‌کوئل با چیلرهای جذبی شعله‌مستقیم، بیشتر می‌باشد. با توجه به آنچه گفته شد و با توجه به نمودارهای ۱۶ و ۱۷، مجموع هزینه‌های جاری و اولیه سیستم‌های مورد بررسی در یک سال، از مقدار کمتر به بیشتر به ترتیب به صورت سیستم کولر آبی، سیستم VRF، سیستم کولر گازی، سیستم فن‌کوئل با چیلر تراکمی اسکرو، سیستم VAV با چیلر تراکمی اسکرو، سیستم CAV با چیلر تراکمی اسکرو، سیستم فن‌کوئل با چیلر جذبی شعله‌مستقیم، سیستم VAV با چیلر جذبی شعله‌مستقیم و سیستم CAV با چیلر جذبی شعله‌مستقیم می‌باشد.



نمودار ۱۶) مقایسه مجموع هزینه‌های جاری و اولیه سیستم‌های مورد بررسی در یک سال برای دانشکده فنی و مهندسی (برحسب سال/میلیون تومان)



نمودار ۱۷) مقایسه مجموع هزینه‌های جاری و اولیه سیستم‌های مورد بررسی در بارهای بروندی مختلف (برحسب سال/میلیون تومان)

۳-۱۰-۳ مقایسه مقادیر نسبت مجموع هزینه‌های جاری و اولیه سیستم‌ها در یک سال به پرهزینه‌ترین سیستم

با توجه به بخش ۳-۹، سیستم CAV با چیلر جذبی شعله‌مستقیم، بیشترین مقدار مجموع هزینه‌های جاری و اولیه در سال را نسبت به سیستم‌های دیگر در بار دانشکده فنی و مهندسی و بارهای بروندی مختلف دارا می‌باشد. اگر مقدار مجموع هزینه‌های جاری و اولیه کلیه سیستم‌های مورد بررسی در سال بر مقدار مجموع هزینه‌های جاری

- 2011 May 24- June 25; National Energy Committee of the Islamic Republic of Iran, Tehran, Iran. [Persian]
- 8- Abedi A, Khosroyan K. Technical and economic comparison of condensation and absorption chillers. The First Conference of Chiller and Cooling Tower of Iran; 2010 June 29; Hamandishan Energy Kimia, Tehran, Iran. [Persian]
- 9- Gazaneh O, Beheshtiniya MA. Simulation and technical-economic analysis of solar water heater for residential users. *Journal of Modeling in Engineering*. 2015;13(43):107-119. [Persian]
- 10- Bathayi T, Taheri SM. The effectiveness of intelligent control systems for compact and radio cooling systems for reduce energy consumption. 26th International Power Conference; 2011 Oct 31; Tavanir Company, Tehran, Iran. 2011. [Persian]
- 11- Eicker U, Pietruschka D, Hag M, Schmitt A. Energy and economic performance of solar cooling systems worldwide. *Energy Procedia*. 2014;57:2581-2589.
- 12- Menezes AC, Cripps A, Buswell RA, Wright J, Bouchlaghem D. Estimating the energy consumption and power demand of small power equipment in office buildings. *Energy and Buildings*. 2014;75:199-209.
- 13- Simko M, Krajčík M, Sikula O, Simko P, Kalús D. Insulation panels for active control of heat transfer in walls operated as space heating or as a thermal barrier: Numerical simulations and experiments. *Energy and Buildings*. 2018;158:135-146.
- 14- Bataineh KM, Alrifai S. Recent trends in solar thermal sorption cooling system technology. *Advances in Mechanical Engineering*. 2015;7(5):1-20.
- 15- Sanchez CK, Richman R. Incorporating variable refrigerant flow (VRF) heat pump systems in whole building energy simulation-detailed case study using measured data. *Journal of Building Engineering*. 2017;12:314-324.
- 16- Kwon L, Lee H, Hwang Y, Radermacher R, Kim B. Experimental investigation of multifunctional VRF system in heating and shoulder seasons. *Applied Thermal Engineering*. 2014;66(1-2):355-364.
- 17- Aynur TN. Variable refrigerant flow systems. *Energy and Buildings*. 2010;42(7):1106-1112.
- 18- Jradi M, Veje C, Jorgensen BN. Towards energy efficient office buildings in Denmark, the maersk building case study. In: Kitanovski A, Poredoš A, editors. *Proceedings of the 29th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems*; 2016 Jun 19-23; Portorož, Slovenia. Ljubljana: University of Ljubljana; 2016.
- 19- De Boeck L, Verbeke S, Audenaert A, De Mesmaeker L. Improving the energy performance of residential buildings: a literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015;52:960-975.
- 20- Pikas E, Kurnitski J, Lias R, Thalfeldt M. Quantification of economic benefits of renovation of apartment buildings as a basis for cost optimal 2030 energy efficiency strategies. *Energy and Buildings*. 2015;86:151-160.
- 21- Brown NW, Malmqvist T, Bai W, Molinari M. Sustainability assessment of renovation packages for increased energy efficiency for multi-family buildings in Sweden. *Building and Environment*. 2013;61:140-148.
- 22- Wang X, Lu M, Mao W, Ouyang J, Zhou B, Yang Y. Improving benefit-cost analysis to overcome financing difficulties in promoting energy-efficient renovation of existing residential buildings in China. *Applied Energy*. 2015;141:119-130.

سیستم در سال نسبت به سیستم‌های دیگر کمتر است. سیستم VRF بعد از سیستم کولر آبی در بین سیستم‌های مورد بررسی دیگر در این مقاله دارای کمترین مقدار هزینه اولیه و جاری می‌باشد و میانگین عمر مفید سیستم‌های VRF، ۱۵ سال است که نسبت به سیستم‌های کولر آبی و کولر گازی بیشتر و نسبت به سیستم‌های تمام‌هوایی و تمام‌آبی کمتر می‌باشد که در مجموع، کل هزینه‌های این سیستم در سال بعد از سیستم کولر آبی نسبت به سیستم‌های دیگر کمتر است. سیستم‌های VRF حاوی مرکز کنترل الکترونیکی هوشمند می‌باشند که به وسیله آن می‌توانند کنترل دقیقی بر دمای هوای فضاها را با جریان متغیر ماده مبرد، به صورت مستقل داشته باشند تا بهینه‌سازی انرژی در تمامی شرایط انجام شود. در پایان با توجه به آنچه در رابطه با ویژگی‌ها و هزینه‌های مختلف سیستم‌های مورد بررسی در این مقاله گفته شد، اگر بنا باشد از بین ۹ سیستم تهیه مطبوع مورد بررسی در این مقاله یک سیستم را به عنوان ایده‌آل که در شرایط مختلف عملکرد بهینه‌ای دارد، انتخاب شود، می‌توان سیستم VRF را برگزید.

تشکر و قدردانی: از کلیه عزیزانی که در انجام این پژوهش نویسندگان را یاری نمودند، سپاسگزاری می‌گردد.

تأییدیه اخلاقی: نویسندگان تأیید می‌کنند که تمامی نتایج ذکر شده در این مقاله صرفاً حاصل فعالیت‌های پژوهشی نویسندگان این مقاله می‌باشد.

تعارض منافع: نتایج این مقاله هیچ‌گونه تعارض منافع ندارد.

سهم نویسندگان: محمد شهرجردی (نویسنده اول)، پژوهشگر اصلی (۵۰٪)؛ حامد صفی‌خانی (نویسنده دوم)، پژوهشگر اصلی (۵۰٪)

منابع مالی: توسط دانشگاه اراک تأمین شده است.

منابع

- 1- Blackman CO, Balesa CH, Thorinb EV. Techno-economic evaluation of solar-assisted heating and cooling systems with sorption module integrated solar collectors. *Energy Procedia*. 2015;70:409-417.
- 2- Yang H, Liu L, Li X, Liu C, Jones P. Tailored domestic retrofit decision making towards integrated performance targets in Tianjin China. *Energy and Buildings*. 2017;140:480-500.
- 3- Unknown Author. Aa plus energy renovation project. Aarhus Municipality [Internet]. Unknown City: Unknown Publisher; Unknown Year [Cited 2018 Jan 6]. Available from: <https://www.aarhus.dk/da/omkommunen/organisation/teknik-og-miljoe/Center-for-Administration-og-Ejendomme/Om-Aa-plus.aspx>.
- 4- Odgaard T, Bjarlov SP, Rode C, Vesterloke M. Building renovation with interior insulation on solid masonry walls in Denmark-a study of the building segment and possible solutions. *Energy Procedia*. 2015;78:830-835.
- 5- Jradi M, Veje CT, Jorgensen BN. A dynamic energy performance-driven approach for assessment of buildings energy renovation-danish case studies. *Energy and Buildings*. 2018;158:62-76.
- 6- Sanaye S, Niroumand B. Technological and economic modeling and optimization of heat pump with horizontal ground transducer. First International Conference on Heating, Cooling and Air Conditioning; 2009 May 26; Road, Housing and Development Research Center, Tehran, Iran. [Persian]
- 7- Abedi A, Keshtiarast S, Bodaghi P. Technical and economic comparison of direct flame and screw compression chillers. 8th National Energy Conference;

- 25- Rysanek AM, Choudhary R. Optimum building energy retrofits under technical and economic uncertainty. *Energy and Buildings*. 2013;57:324-337.
- 26- Morelli M, Tommerup HM, Tafdrup MK, Svendsen S. Holistic energy retrofitting of multi-storey building to low energy level. In: *Proceedings of the 9th Nordic Symposium on Building Physics*; 2011 29 May- 2 June; Tampere, Finland. Tampere: Journal of NSB; 2011. p. 1323-1330.
- 23- Csoknyai T, Hrabovszky S, Georgiev Z, Jovanovic-Popovic M, Stankovic B, Villatoro O, Szendro G. Building stock characteristics and energy performance of residential buildings in eastern-european countries. *Energy and Buildings*. 2016;132:39-52.
- 24- Kauko H, Alonso MJ, Stavset O, Claussen IC. Case study on residential building renovation and its impact on the energy use and thermal comfort. *Energy Procedia*. 2014;58:160-165.