Archive of SID

ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. 2020;20(3):529-535

Multi-Objective Optimization of Comfort-Cost for Cooling and Heating Systems at the Faculty of Engineering of Arak University

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Authors
Safikhani H.*[1] *PhD,*
Loloee M.[1] *MSc*

How to cite this article
Safikhani H, Loloee M. Multi-Objective Optimization of Comfort-Cost for Cooling and Heating Systems at the Faculty of Engineering of Arak University. Modares Mechanical Engineering. 2020;20(3):529-535.

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

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

Article History
Received: May 11, 2019
Accepted: June 15, 2019
ePublished: March 01, 2020

ABSTRACT

In this paper, multi-objective optimization of the cooling and heating systems at the faculty of engineering of Arak University is investigated to increasing comfort and reducing the cost of energy. In the first step, the faculty building with 4 floors, 11800 square meters of infrastructure and 122 classrooms and rooms is modeled and the comfort and cost of the faculty are calculated. In the next step, a database of 2,000 faculties with different design variables was created and analyzed. Between the formed databases, buildings with the best objective functions are selected and presented in a Pareto front. Design variables are the 11 geometrical and non-geometrical factors affecting the comfort and cost of the faculty. The objective functions are the comfort, cost, and energy consumption. The results indicate that both absorption and compression systems have the ability to achieve acceptable levels of comfort, but the amount of energy consumed in the absorption chiller is higher than the energy consumption of the compression system, which indicates the necessity of using absorption systems in conditions of waste heat. Also, the results indicate that the absorption system, despite the higher energy consumption than the compression system, has lower energy consumption costs due to the difference between electricity and gas tariffs in Iran country and should be corrected.

Keywords Comfort; Cost; Air Conditioning; Multi-Objective Optimization; Absorption and Compression Chillers; Energy Saving

CITATION LINKS

[1] A multiple objective optimisation model for building energy efficiency investment decision [2] Multi-objective optimization for building retrofit strategies: A model and an application [3] Review Strategies for Improving the Design and Construction of Settlements in Tehran [4] A multi-objective approach for optimal prioritization of energy efficiency measures in buildings: Model, software and case studies [5] Multiobjective optimization of building design using TRNSYS simulations, genetic algorithm, and Artificial Neural Network [6] Integrated optimization of energy costs and occupants' productivity in commercial buildings [7] Multi-objectives optimization of Energy Efficiency Measures in existing buildings Paola Pennaa [8] Multi-objective optimization of the building energy performance: A simulation-based approach by means of particle swarm optimization (PSO) [9] The effect of window on the reduction of heating and cooling loads of buildings using simulation in design builder software [10] Multi-objective optimization for decision-making of energy and comfort management in building automation and control [11] Intelligent optimized control system for energy and comfort management in efficient and sustainable buildings [12] A computational multi-objective optimization method to improve energy efficiency and thermal comfort in dwellings [13] Multi-objective optimisation model: A housing block retrofit in Seville [14] Application of multi-objective genetic algorithm to optimize energy efficiency and thermal comfort in building design [15] Simulation-based model predictive control by the multi-objective optimization of building energy performance and thermal comfort [16] Optimization and control algorithms implemented in existing BEMS using a web based energy management and control system [17] Passive design optimization of newly-built residential buildings in Shanghai for improving indoor thermal comfort while reducing building energy demand [18] Location-aware multi-objective optimization for energy cost management in semi-public buildings using thermal discomfort information [19] Multi-objective optimisation of bio-based thermal insulation materials in building envelopes considering condensation risk [20] A Pareto-based multi-objective optimization algorithm to design energy-efficient shading devices

Copyright© 2019, 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.

www.SID.ir

Archive of SID

بهینه‌سازی چند هدفی آسایش- هزینه در سیستم‌های سرمایش و گرمایش دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اراک

حامد صفی‌خانی* PhD
گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران
معصومه لؤلؤئی MSc
گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران

چکیده
در این مقاله، بهینه‌سازی چند هدفی سیستم‌های سرمایش و گرمایش دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اراک برای افزایش میزان آسایش و کاهش هزینه انرژی انجام می‌شود. در گام اول، ساختمان دانشکده که دارای چهار طبقه و ۱۱۸۰۰ مترمربع زیربنا و دارای ۱۲۲ کلاس و اتاق است، مدل‌سازی شده و مقدار آسایش و هزینه ساختمان فعلی دانشکده محاسبه می‌شود. در مرحله بعد پایگاه داده‌ای متشکل از ۲۰۰۰ دانشکده با متغیرهای طراحی مختلف، ساخته و تحلیل شد. در بین پایگاه داده‌های تشکیل‌شده، ساختمان‌های با بهترین توابع هدف انتخاب و در قالب نمودار پارتو ارایه شد. متغیرهای طراحی، عوامل موثر در میزان آسایش و هزینه دانشکده شامل تغییر در نسبت پنجره‌ها به دیوار، تنظیم دمای سرمایش و گرمایش آسایش، جنس و نوع پنجره‌ها، تعداد افراد، جهت‌گیری ساختمان، ضریب عملکرد بویلر و چیلر (مجموعاً ۱۱ متغیر طراحی) هستند. همچنین توابع هدف شامل میزان آسایش، هزینه و مقدار مصرف انرژی هستند. نتایج بیانگر آن است که هر دو سیستم جذبی و تراکمی، توانایی رسیدن به میزان آسایش قابل قبول را دارد اما میزان مصرف انرژی در چیلر جذبی بیشتر از میزان مصرف انرژی در سیستم تراکمی است که لزوم استفاده از سیستم‌های جذبی در شرایط دارابودن حرارت، هدررفت را بیان می‌نماید. همچنین نتایج بیانگر آن است که سیستم جذبی علی‌رغم مصرف انرژی بیشتر نسبت به سیستم تراکمی، دارای هزینه انرژی مصرفی کمتری است که به دلیل اختلاف بین تعرفه‌های برق و گاز در کشورمان است و بایستی اصلاح شود.

کلیدواژه‌ها: آسایش، هزینه، تهویه مطبوع، بهینه‌سازی چند هدفی، چیلرهای جذبی و تراکمی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۲۵
*نویسنده مسئول: h-safikhani@araku.ac.ir

۱- مقدمه

کشور ایران از جمله کشورهایی است که از منابع فراوان انرژی برخوردار است و همواره به‌عنوان یکی از صادرکننده‌های اصلی نفت و گاز محسوب می‌شود. مصرف بی‌حد و مرز انرژی و آمارهای تکان‌دهنده‌ای که همگی حکایت از تلفات انرژی در ساختمان‌ها دارد، هر وجدان آگاه و دلسوزی را بر آن می‌دارد تا برای یافتن راهکارهایی به‌منظور حفظ بنیان‌های اقتصادی جامعه و صیانت از منابع تجدیدناپذیر انرژی به‌عنوان یک میراث ملی و بشری تلاش نماید.

در سال‌های اخیر پژوهش‌های زیادی در زمینه‌های مشابه انجام شده است. *محلاتسی* و همکاران[1]، یک مدل بهینه‌سازی چند هدفی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان ارایه دادند و برای کلی‌تربودن پژوهش، یک ساختمان فرضی با هدف به حداقل‌رساندن میزان مصرف انرژی و دوره بازگشت سرمایه در نظر گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که سرمایه اولیه، به‌طور مستقیم بر ذخیره انرژی و دوره بازپرداخت تاثیر می‌گذارد.

اسدی و همکاران[2]، با هدف به‌روزکردن ساختمان‌ها به‌منظور کمک به تصمیم‌گیران حین ساخت و مقاوم‌سازی ساختمان‌ها، یک مدل بهینه‌سازی چند هدفی برای به حداقل‌رساندن استفاده از انرژی در ساختمان با درنظرگرفتن کمترین هزینه ارایه کردند که رضایت و نیاز اشخاص را فراهم نماید. از الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفی برای محاسبه استفاده شده است و به‌منظور کوتاه‌کردن زمان محاسبات از روش ساده کد حرارتی ساختمان استفاده شد.

غفاری و همکاران[3]، به بررسی نقاط ضعف ساخت و سازهای موجود در شهر تهران پرداخته و با شناخت نقاط ضعف در مرحله طراحی و ساخت ساختمان، راهکارهایی به‌منظور کاهش مصرف انرژی در ساختمان ارایه کردند. بدین منظور، ۲۵ نوع مختلف ساختمان طراحی و توسط نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی، مدل‌سازی شد و میزان مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی آنها محاسبه شد. نتایج تحقیق آنها نشان داد که می‌توان با طراحی معماری، مصرف انرژی سالانه را در شهر تهران تا ٤٤% کاهش داد.

کارملوس و همکاران[4]، با توجه به اینکه ساختمان‌ها ۴۰% کل انرژی جهان را استفاده می‌کنند، درصدد کاهش مصرف انرژی برآمدند. دامنه کار، ارزیابی اقدامات بهره‌وری انرژی در بخش تجاری و توسعه یک روش و ابزار نرم‌افزاری برای اولویت‌بندی معیارهای بهره‌وری انرژی بود. نتایج نشان داد که مصرف انرژی و هزینه سرمایه‌گذاری نسبت معکوس دارند.

مانیر و *حقیقت*[5]، ابتدا با استفاده از یک نوع شبکه عصبی مصنوعی، رفتار ساختمان را توصیف نموده و سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفی آن را بهینه سازی نمودند. این روش در مطالعه حاضر برای بهینه‌سازی آسایش حرارتی و مصرف انرژی در یک خانه مسکونی استفاده شده است و متغیرهای طراحی نقطه تنظیم دمای گرمایش و سرمایش، رطوبت نسبی، تاخیر در شروع و پایان روشن‌کردن دستگاه‌های تهویه مطبوع، مساحت پنجره‌ها، ضخامت دیواره‌ها و نرخ هوای ورودی هستند. نتایج بهینه‌سازی کاهش از لحاظ مصرف انرژی و بهبود در آسایش حرارتی را نشان داد.

مفیدی و *اکبری*[6]، در مطالعه خود بیان کردند که عوامل متعددی وجود دارند که تاثیرات مثبت یا منفی بر رضایت کلی ساکنین دارند. از جمله می‌توان به سطح آسایش حرارتی، راحتی بصری و راحتی شنیداری اشاره نمود. ورودی‌های مساله شامل قیمت انرژی، میزان حضور افراد و فعالیت حاضرین هستند. هدف اصلی آن ارایه یک روش چند هدفی برای مدیریت انرژی و آسایش در ساختمان‌های تجاری بود. مشاهده شد که پتانسیل بهبود بهره‌وری در طول فصل گرم در مقایسه با فصل سرما بالاتر است.

www.SID.ir

Archive of SID

پنا و همکاران[7]، رابطه بین ویژگی‌های اولیه ساختمان‌های مسکونی و تعریف راه‌حل‌های بهینه‌سازی تکمیلی را از لحاظ حداکثر عملکرد اقتصادی یا کمینه‌کردن مصرف انرژی به رفتار ساختمان‌های صفر انرژی برای کمترین نارضایتی حرارتی قابل دستیابی بررسی کردند. بهینه‌سازی چند هدفی با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک همراه با ابزار شبیه‌سازی دینامیکی انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر کارآیی انرژی موجود در ساختمان‌ها فقط از نظر اقتصادی مناسب هستند ولی نارضایتی حرارتی را به دنبال دارند.

دلگرم و همکاران[9]، یک مدل تک‌اتاقه در نظر گرفتند و تاثیر پارامترهای معماری ساختمان شامل جهت‌گیری ساختمان، ارتفاع سایه، اندازه پنجره و خواص مصالح دیوار در مصرف انرژی ساختمان در چهار منطقه مهم آب و هوایی ایران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مساله بهینه‌سازی چند هدفی نشان می‌دهد که برای مدل ساده انتخابی، مصرف برق سالانه حدود ۲۰ تا ۳۳% کاهش می‌یابد؛ در حالی که سیستم گرمایش و روشنایی سالانه، در مقایسه با مدل پایه برای چهار منطقه مختلف آب و هوایی ایران، به‌ترتیب ۲ تا ۵% و ۰/۵ تا ۲/۶% افزایش می‌یابد.

گرجی و همکاران[9]، با توجه به اینکه ۳۰% هدررفت انرژی در ساختمان‌ها از پنجره‌ها است، اثر پنجره بر کاهش میزان بار حرارتی ساختمان را با استفاده از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر (Design Builder) انجام دادند. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که بار سرمایشی ساختمان، با به‌کارگیری پنجره‌های دوجداره و سه‌جداره به‌جای پنجره‌های یک‌لایه، کاهش می‌یابد.

یانگ و *وانگ*[10]، در بررسی‌های خود در مورد انرژی و آسایش در ساختمان‌ها و با توجه به اینکه هوشمندسازی ساختمان‌های تجاری نیازهای ساکنان را بهتر برطرف می‌کنند، به بهینه‌سازی ساختمان‌های هوشمند پرداختند. در آن، مصرف انرژی و سطح رفاه کلی به‌عنوان دو هدف کنترل در طراحی سیستم در نظر گرفته می‌شوند. دو روش بهینه‌سازی چند هدفی شامل بهینه‌سازی انبوه ذرات و تراکم وزنی برای تولید نماهای پارتو که از راه‌حل‌های بهینه پارتو تشکیل شده‌اند، استفاده می‌شوند. نتایج آنها نشان داد که فعالیت افراد بر میزان آسایش و مصرف انرژی تاثیر بسیار زیادی دارد و راه‌حل‌های جایگزین پیشنهادشده برای تصمیم‌گیری آگاهانه برای مدیریت انرژی و راحتی در محیط ساختمان‌های پیچیده مفید هستند. علاوه‌بر موارد ذکرشده، در سال‌های اخیر تعداد دیگری پژوهش نیز در زمینه بررسی آسایش و هزینه مصرفی در داخل ساختمان‌ها انجام شده است[11-20].

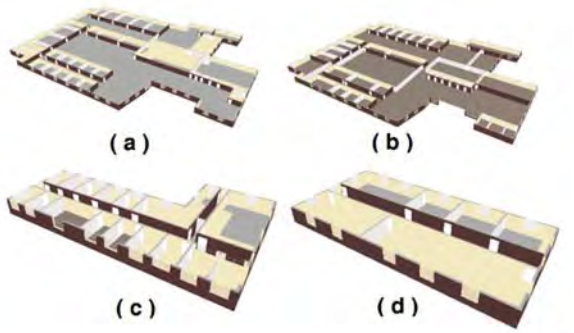
در این مقاله، بهینه‌سازی چند هدفی سیستم‌های سرمایش و گرمایش دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اراک برای افزایش میزان آسایش و کاهش هزینه انرژی انجام می‌شود. الگوریتم انجام‌شده می‌تواند به‌عنوان یک الگو در تمامی ساختمان‌های عظیم کشور با هدف کاهش مصرف انرژی و در عین حال ثابت نگه‌داشتن میزان آسایش افراد، مورد استفاده قرار گیرد.

۲- مدل‌سازی وضعیت فعلی دانشکده

۲-۱- هندسه

ساختمان دانشکده به متراژ ۱۱۸۰۰متر مربع است که ٤ طبقه و ۱۲۲ اتاق با کاربری‌های مختلف دارد. مقایسه نمای واقعی و مدل‌سازی‌شده دانشکده با یکدیگر در شکل ۱ نشان داده می‌شود و شکل ۲ نیز نمای داخلی هر یک از طبقات دانشکده را نمایش می‌دهد. هندسه مدل‌سازی‌شده در مرحله بعد برای انجام بهینه‌سازی چند هدفی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شکل ۱) نمای واقعی و مدل‌سازی‌شده دانشکده



شکل ۲) نمای داخلی هر یک از طبقات

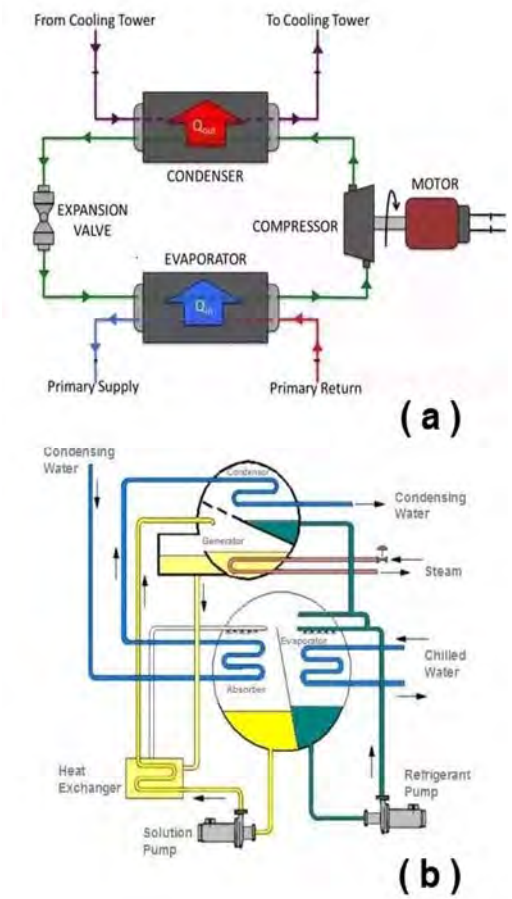
۲-۲- سیستم سرمایش و گرمایش

محاسبات بیانگر آن است که ظرفیت سرمایش و گرمایش ساختمان فعلی دانشکده به‌ترتیب برابر با ۵۲۰تن برودتی و ۱٤۱٦۰۰۰کیلوکالری است. در شرایط فعلی این مقادیر توسط چیلر جذبی و بویلر تامین می‌شود. برای مقایسه عملکردی، خروجی دو سیستم چیلر جذبی و تراکمی با یکدیگر مقایسه می‌شود. شکل ۳ به‌صورت شماتیک عملکرد دو سیستم جذبی و تراکمی را نمایش می‌دهد. شکل ٤ نیز جزییات سیستم سرمایش و گرمایش مدل‌سازی‌شده برای انجام

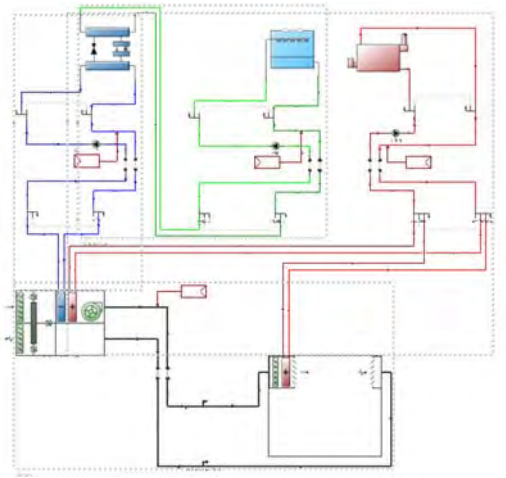
www.SID.ir

Archive of SID

فرآیند بهینه‌سازی را در نرم‌افزار دیزاین بیلدر با تمامی جزییات نمایش می‌دهد. توابع زمانی استفاده‌شده کاملاً منطبق بر ساعات اداری کشور ایران با درنظرگرفتن تعطیلات رسمی و تعطیلات مرسوم دانشگاه‌ها است.



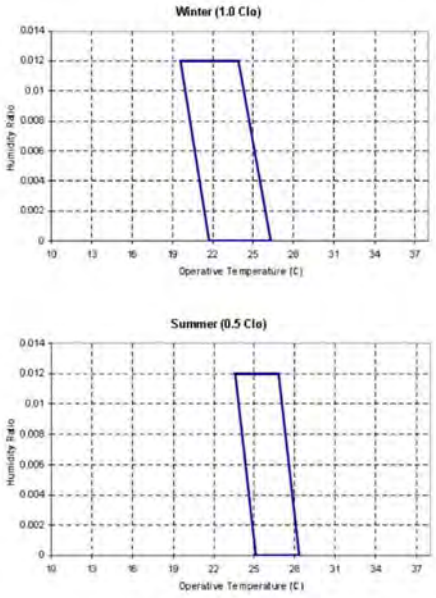
شکل ۳) شماتیک عملکرد چیلر تراکمی (a) و جذبی (b)



شکل ٤) جزییات مدارهای مدل‌سازی‌شده چیلرها در نرم‌افزار

۳- توابع هدف

در این مقاله دو تابع هدف وجود دارد. ۱- افزایش آسایش ساکنان ساختمان یا به عبارت دیگر کاهش ساعات عدم آسایش ساکنان ساختمان که برای محاسبه این مورد، ملاک نمودار آسایش در استاندارد ASHRAE 55 در زمستان و تابستان است (نمودار ۱). ساعات عدم آسایش، کلیه ساعت‌هایی است که ویژگی‌های آن در ساختمان خارج از نمودار نشان داده شده است (نمودار ۱). ۲- کاهش مصرف انرژی در ساختمان که این مورد با استفاده از تعرفه‌های برق و گاز با توجه به کاربری آموزشی به‌راحتی به میزان هزینه‌های مصرف انرژی دانشکده قابل تبدیل است.



نمودار ۱) نمودار آسایش در استاندارد ASHRAE 55 در زمستان (بالا) و تابستان (پایین)

٤- متغیرهای طراحی

۱۱ متغیر طراحی (نسبت پنجره به دیوار، نقطه تنظیم دمای گرمایش، نقطه تنظیم دمای سرمایش، جهت‌گیری ساختمان، میزان حضور افراد، ضریب عملکرد بویلر، ضریب عملکرد چیلر، تعداد جداره‌های پنجره، نوع گاز موجود در پنجره، ضخامت شیشه پنجره و رنگ شیشه پنجره) وجود دارد که حدود تغییرات هر یک در جداول ۱ و ۲ و برخی ویژگی‌های پنجره‌ها که به‌عنوان متغیر طراحی شناخته می‌شوند نیز در شکل ۵ نشان داده شده است.

جدول ۱) متغیرهای طراحی و حدود تغییرات آنها

پارامتر	کمترین مقدار	تغییرات	بیشترین مقدار
نسبت پنجره به دیوار (%)	۱۰	۵	۹۰
نقطه تنظیم دمای گرمایش (°C)	۱٦	۰/۵	۲٤
نقطه تنظیم دمای سرمایش (°C)	۲۲	۰/۵	۲۸
جهت‌گیری ساختمان (°)	۵	۱۰	۳۵۵
حضور افراد ($people/m^2$)	۱	۰/۰۵	۰/٦
ضریب عملکرد بویلر (COP)	۰/۵	۰/۵	۵
ضریب عملکرد سیستم خنک‌کننده (COP)	۰/۵	۰/۵	۵

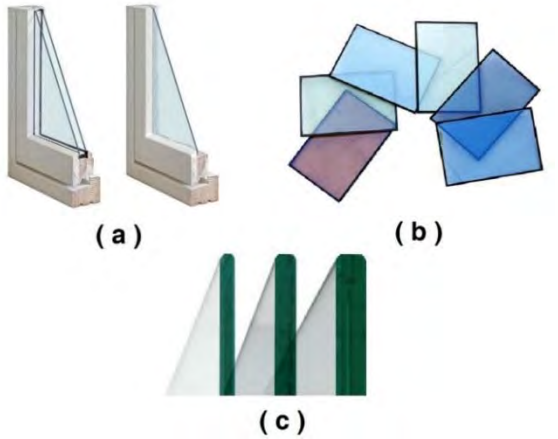
COP: Coefficient of Performance

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲) متغیرهای طراحی مرتبط با نوع پنجره و شیشه

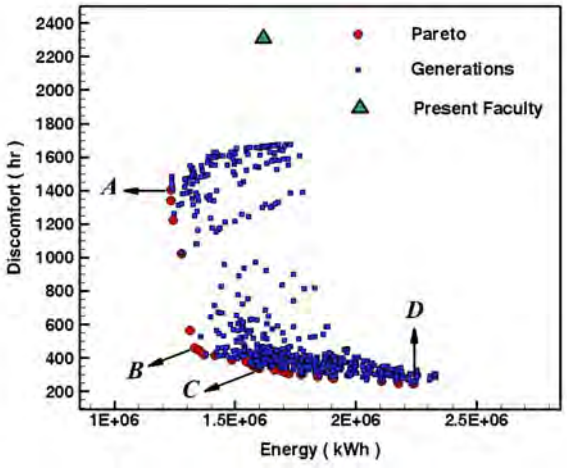
نوع پنجره	گاز	فاصله (mm)	ضخامت شیشه	رنگ
دو جداره	هوا	۱۳	۶	آبی
	آرگون	۱۳	۶	آبی
	هوا	۶	۶	آبی
	هوا	۱۳	۳	بدون رنگ
	آرگون	۱۳	۶	بدون رنگ
	هوا	۶	۶	بدون رنگ
تک جداره	-	-	۶	آبی
	-	-	۶	بدون رنگ
	-	-	۳	بدون رنگ



شکل ۵) ویژگی‌های پنجره‌های استفاده‌شده به‌عنوان متغیر طراحی، a) تعداد جداره، b) رنگ شیشه و c) ضخامت شیشه

۵- نتایج

بهینه‌سازی چند هدفی سیستم سرمایش و گرمایش دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اراک با استفاده از الگوریتم ژنتیک چند هدفی انجام شده و در این قسمت نتایج مرتبط با آن و از جمله نمودار پارتو ارایه می‌شود. پس از ۲۰۰۰ شبیه‌سازی عددی، نمودار پارتو که بیانگر تغییرات ساعات عدم آسایش ساختمان نسبت به انرژی مصرفی در چیلر جذبی است در نمودار ۲ نمایش داده شده است.



نمودار ۲) نمودار پارتو در چیلر جذبی

همان گونه که مشخص است تمامی نتایج که هر یک بیانگر یک ساختمان با متغیرهای طراحی مستقل و منحصربه‌فرد هستند، نسبت به یکدیگر کاملاً غیربرتر هستند و در صورت حرکت از یک ساختمان به سمت ساختمان دیگر، یکی از توابع هدف، بهتر و دیگری بدتر می‌شود. در نمودار ۲، مربع‌های آبی بیانگر تمامی ۲۰۰۰ ساختمان مدل‌سازی‌شده بوده و دایره‌های قرمز بیانگر ساختمان‌های بهینه روی بهترین مرز توابع هدف هستند. همچنین، چهار نقطه دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی هستند. در مواقعی که کمترین مقدار مصرف انرژی در اولویت است و میزان آسایش اهمیتی ندارد، نقطه A بهترین گزینه است. اما ممکن است در برخی موارد فقط مقدار آسایش مهم و میزان مصرف انرژی بیاهمیت باشد که نقطه D گزینه مطلوب خواهد بود. نقطه C، نقطه‌ای است که میزان بهبود مصرف انرژی بسیار بیشتر از میزان تخریب ساعات آسایش است و نقطه B نیز نقطه‌ای است که هر دو تابع هدف به مقدار برابر ارضا شده‌اند. مقادیر متغیرهای طراحی و توابع هدف هر یک از نقاط مذکور در نمودار چارتو در چیلر جذبی در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳) متغیرهای طراحی و توابع هدف در نقاط بهینه در نمودار پارتو- چیلر جذبی

نقطه	A	B	C	D
درصد پنجره به دیوار	۱۰	۱۵	٤٥	۸۰
نوع پنجره	Dbl Blue 6mm/13mm Air	Dbl Blue 6mm/13mm Air	Dbl Blue 6mm/13mm Arg	Dbl Blue 6mm/13mm Air
ضریب عملکرد چیلر	۱/۱	۳/٤٥	٤/۲٥	٤/٥
ضریب عملکرد بویلر	۱	۱/۰٥	۱/۸	٤/۹
حضور افراد (تعداد/مساحت)	۰/۱	۰/۱	۰/۱٥	۰/٦
جهت‌گیری ساختمان	۲۰٥	۲٤٥	۹٥	۸٥
نقطه تنظیم سرمایش (°C)	۲۸	۲٥/٥	۲۲/٥	۲۲
نقطه تنظیم گرمایش (°C)	۱۷/٥	۲۲/٥	۲٥	۲٥/٥
مقدار نارضایتی (hr)	۱٤۰۱	٤٥۸	۳۳٥	۲٤٤
مجموع انرژی مصرفی (kWh)	۱۲۳٤۹۳٦	۱۳۳۳٤٥٦	۱٦۰۰۳۱۷	۲۲۳۹٥۰۳

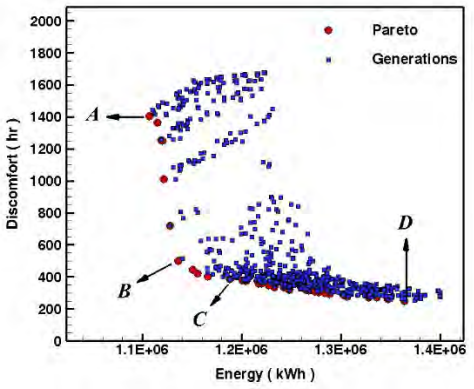
نقطه سبز در نمودار ۲، وضعیت فعلی مصرف انرژی و آسایش ساختمان دانشکده را نشان می‌دهد. همان گونه که مشخص است، ساختمان فعلی از نظر مصرف انرژی تقریباً با نقطه C برابر است ولی از لحاظ احساس راحتی افراد در جایگاه بسیار نامناسبی قرار گرفته

www.SID.ir

Archive of SID

است. این نکته بیانگر این مهم است که دانشکده با وجود مصرف انرژی بسیار زیاد، آسایش ساکنین را فراهم نمی‌کند.

به‌طور مشابه، نمودار پارتو در چیلر تراکمی در نمودار ۳ نمایش داده شده است. در این نمودار نیز چهار نقطه دارای ویژگی‌های منحصربه‌فرد هستند. در مواقعی که کمترین مقدار مصرف انرژی در اولویت است و میزان آسایش اهمیتی ندارد، نقطه A بهترین گزینه است. اما ممکن است در برخی موارد فقط مقدار آسایش مهم باشد و میزان مصرف انرژی بی‌اهمیت باشد که نقطه D گزینه مطلوب خواهد بود. نقطه C نقطه‌ای است که میزان بهبود مصرف انرژی بسیار بیشتر از میزان تخریب ساعات آسایش است و نقطه B نیز نقطه‌ای است که هر دو تابع هدف به مقدار برابر ارضا شده‌اند. مقادیر متغیرهای طراحی و توابع هدف هر یک از نقاط مذکور در نمودار پارتو در چیلر تراکمی در جدول ٤ نشان داده شده است.

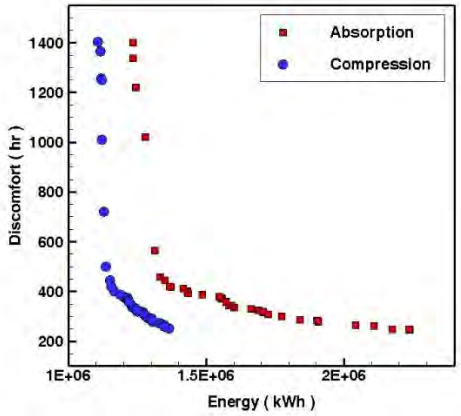


نمودار ۳) نمودار پارتو در چیلر تراکمی

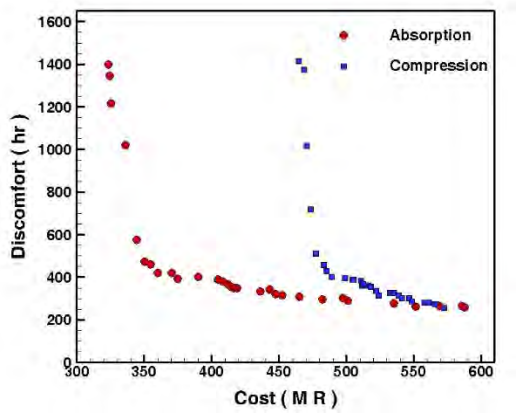
جدول ٤) نقاط بهینه در نمودار پارتو- چیلر تراکمی

نقطه	A	B	C	D
درصد پنجره به دیوار	۱۰	۲۰	۵۰	۹۰
نوع پنجره	Dbl Blue 6mm/13mm Air	Dbl Blue 6mm/13mm Air	Dbl Blue 6mm/13mm Arg	Dbl Blue 6mm/13mm Air
ضریب عملکرد چیلر	۲	۳/۲۵	٤/۳	٤/٤
ضریب عملکرد بویلر	۰/۹۵	۲	۲/۹	۳/٤
حضور افراد (تعداد/مساحت)	۰/۱	۰/۱	۰/۱۵	۰/۵۵
جهت‌گیری ساختمان	۲۲۵	۲٤۵	۲٤۵	۹۵
نقطه تنظیم سرمایش (°C)	۲۸	۲٦	۲٤	۲۲
نقطه تنظیم گرمایش (°C)	۱۹	۲۰	۲۲	۲۲/۵
مقدار نارضایتی (hr)	۱٤۰٤	۵۰۰	۳۸۵	۲٤۹
مجموع انرژی مصرفی (kWh)	۱۱۰۷۲۲۲	۱۱۳٦۲۷۷	۱۱۸۷۸۳٤	۱۳٦٤۰٤۱

مقایسه نمودار پارتوی دو چیلر جذبی و تراکمی (نمودار ٤) بسیار مفید خواهد بود؛ زیرا همان گونه که مشخص است، این نمودار بیانگر این واقعیت است که دو چیلر جذبی و تراکمی در توانایی تامین آسایش نسبتاً مشابه هستند؛ هر چند چیلر جذبی دارای مقدار مصرف انرژی بیشتری است که لزوم استفاده از سیستم‌های جذبی در شرایط دارابودن حرارت هدررفت همانند نیروگاه‌های حرارتی را بیان می‌کند. با استفاده از تعرفه‌های برق و گاز در کاربری‌های آموزشی در کشور، مقادیر انرژی مصرفی در نمودار پارتو به مقادیر هزینه‌ای تبدیل و نمودار پارتو در نمودار ۵ مجدداً ترسیم شده است. همان گونه که مشخص است، سیستم جذبی علی‌رغم مصرف انرژی بیشتر نسبت به سیستم تراکمی، ولی دارای هزینه انرژی مصرفی کمتری است که به دلیل اختلاف بین تعرفه‌های برق و گاز در کشورمان است و می‌بایست اصلاح شود.



نمودار ٤) مقایسه نمودارهای پارتوی چیلرهای تراکمی و جذبی بر حسب میزان مصرف انرژی



نمودار ۵) مقایسه نمودارهای پارتوی چیلرهای تراکمی و جذبی بر حسب میزان هزینه (میلیون ریال)

٦- نتیجه‌گیری

در این مقاله، بهینه‌سازی چند هدفی سیستم‌های سرمایش و گرمایش دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اراک به‌منظور افزایش میزان آسایش و کاهش هزینه انرژی انجام شد. بدین منظور در گام اول، ساختمان دانشکده که دارای چهار طبقه و ۱۱۸۰۰ مترمربع زیربنا

www.SID.ir

Archive of SID

و دارای ۱۲۲ کلاس و اتاق با کاربری‌های مختلف است، مدل‌سازی شد و مقادیر آسایش و هزینه ساختمان فعلی دانشکده محاسبه شد. در مرحله بعد پایگاه داده‌ای متشکل از ۲۰۰۰ دانشکده با متغیرهای طراحی مختلف ساخته و تحلیل شد. متغیرهای طراحی، عوامل موثر در میزان آسایش و هزینه دانشکده شامل تغییر در نسبت پنجره‌ها به دیوار، تنظیم دمای سرمایش و گرمایش آسایش، جنس و نوع پنجره‌ها، تعداد افراد، جهت‌گیری ساختمان، ضریب عملکرد بویلر و چیلر (مجموعاً ۱۱ متغیر طراحی) بودند. همچنین توابع هدف شامل میزان آسایش، هزینه و مقدار مصرف انرژی (kWh) بود. نتایج عملکردی در قالب نمودار پارتو برای هر دو سیستم ارایه و مقایسه شد. نتایج بیانگر آن بود که هر دو سیستم جذبی و تراکمی، توانایی رسیدن به میزان آسایش قابل قبول را دارند اما میزان مصرف انرژی در چیلر جذبی بیشتر از میزان مصرف انرژی در سیستم تراکمی بود که لزوم استفاده از سیستم‌های جذبی در شرایط دارابودن حرارت هدررفت را بیان نمود. همچنین نتایج بیانگر آن بود که سیستم جذبی علی‌رغم مصرف انرژی بیشتر نسبت به سیستم تراکمی، دارای هزینه انرژی مصرفی کمتری است که به دلیل اختلاف بین تعرفه‌های برق و گاز در کشورمان است و می‌بایست اصلاح شود.

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

تاییدیه اخلاقی: نویسندگان تایید می‌کنند که تمامی نتایج ذکرشده در این مقاله صرفاً حاصل فعالیت‌های پژوهشی نویسندگان مقاله است.

تعارض منافع: نتایج این مقاله هیچ گونه تعارض منافع ندارد.

سهم نویسندگان: حامد صفی‌خانی (نویسنده اول)، پژوهشگر اصلی (۵۰%)؛ معصومه لؤلؤئی (نویسنده دوم)، پژوهشگر اصلی (۵۰%)

منابع مالی: هزینه‌ها از محل بودجه دانشگاه اراک تامین شده است.

منابع

1- Mahlatsi Malatji E, Zhang J, Xia X. A multiple objective optimisation model for building energy efficiency investment decision. Energy and Buildings. 2013;61:81-87.
2- Asadi E, Gameiro da Silva M, Henggeler Antunesc C, Diasc Y. Multi-objective optimization for building retrofit strategies: A model and an application. Energy and Buildings. 2012;44:81-87.
3- Ghaffari Jabari S, Ghafari Jabari S, Saleh E. Review Strategies for Improving the Design and Construction of Settlements in Tehran. Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research. 2013;1(1):115-132. [Persian]
4- Karmellos M, Kiprakis A, Mavrotas G. A multi-objective approach for optimal prioritization of energy efficiency measures in buildings: Model, software and case studies. Applied Energy. 2015;139:131-150.
5- Magnier L, Haghighat F. Multiobjective optimization of building design using TRNSYS simulations, genetic algorithm, and Artificial Neural Network. Building and Environment. 2010;45(3):739-746.
6- Mofidi F, Akbari H. Integrated optimization of energy costs and occupants' productivity in commercial buildings. Energy and Buildings. 2016;129:247-260.
7- Penna P, Pradaa A, Cappellettib F, Gasparella A. Multi-objectives optimization of Energy Efficiency Measures in existing buildings Paola Pennaa. Energy and Buildings. 2015;95:57-69.
8- Delgarm N, Sajadi B, Kowsary F, Delgarm S. Multi-objective optimization of the building energy performance: A simulation-based approach by means of particle swarm optimization (PSO). Applied Energy. 2016;170:293-303.
9- Gorji Mahalbani Y, Mofrad Boshehri E, Azizzadeh Arani R. The effect of window on the reduction of heating and cooling loads of buildings using simulation in design builder software. Renewable Energy. 2017;4(1):1-8. [Persian]
10- Yang R, Wang L. Multi-objective optimization for decision-making of energy and comfort management in building automation and control. Sustainable Cities and Society. 2012;2(1):1-7.
11- Hameed Shaikh P, Mohd.Nor N, Nallagownden P, Elamvazuthi I. Intelligent optimized control system for energy and comfort management in efficient and sustainable buildings. Procedia Technology. 2013;11:99-106.
12- Bre F, Fachinotti VD. A computational multi-objective optimization method to improve energy efficiency and thermal comfort in dwellings. Energy and Buildings. 2017;154:283-294.
13- Edith Camporeale P, del Pilar Mercader Moyano M, Czajkowski JD. Multi-objective optimisation model: A housing block retrofit in Seville. Energy and Buildings. 2017;153:476-484.
14- Yu W, Li B, Jia H, Zhang M, Wang D. Application of multi-objective genetic algorithm to optimize energy efficiency and thermal comfort in building design. Energy and Buildings. 2015;88:135-143.
15- Ascione F, Bianco N, De Stasio C, Maria Mauro G, Vanoli GP. Simulation-based model predictive control by the multi-objective optimization of building energy performance and thermal comfort. Energy and Buildings. 2016;111:131-144.
16- Papantoniou S, Kolokotsa D, Kalaitzakis K. Optimization and control algorithms implemented in existing BEMS using a web based energy management and control system. Energy and Buildings. 2015;98:45-55.
17- Gou S, Nik MV, Scartezzini JL, Zhao Q, Li Zh. Passive design optimization of newly-built residential buildings in Shanghai for improving indoor thermal comfort while reducing building energy demand. Energy and Buildings. 2018;169:484-506.
18- Gaonkar P, Bapat J, Das D. Location-aware multi-objective optimization for energy cost management in semi-public buildings using thermal discomfort information. Sustainable Cities and Society. 2018;40:174-181.
19- Torres-Rivas A, Palumbo M, Haddad A, Cabeza LF, Jiménez L, Boer D. Multi-objective optimisation of bio-based thermal insulation materials in building envelopes considering condensation risk. Applied Energy. 2018;224:602-614.
20- Khoroshiltseva M, Slanzi D, Poli I. A Pareto-based multi-objective optimization algorithm to design energy-efficient shading devices. Applied Energy. 2016;184:1400-1410.

www.SID.ir