

تحلیل اقتصادی و محیط زیستی سیستم نوین هوشمند گرمایش مرکزی ساختمان بر پایه بهینه سازی

انتشار آلاینده ها

آتिला فاضلی^{۱*}، علی رضا پرداختی^۲، محمد علی زاهد^۳

*۱- دانشجوی دکتری ، دانشکده محیط زیست ، دانشگاه تهران

۲- استادیار ، دانشکده محیط زیست ، دانشگاه تهران

۳- استادیار ، دانشکده علوم زیستی ، دانشگاه خوارزمی

تاریخ دریافت : ۹۹/۰۶/۲۲ تاریخ پذیرش : ۹۹/۰۷/۲۱

*ایمیل نویسنده مسئول : attila.fazeli@ut.ac.ir

چکیده

امروزه با توجه به زیرساخت های فرسوده و سستی موجود در سیستم های گرمایشی مورد استفاده در ساختمان های مسکونی، ادارات و مراکز تجاری، تغییر و جایگزینی آن ها با سیستم های نوین با مشکلات عدیده ای در سطح کشور مواجه است و عملا اجرای این مهم را به امری ناممکن مبدل ساخته است. یکی از روش های کاربردی با هدف توسعه پایدار، هوشمند سازی موتورخانه ها می باشد. در این مطالعه برای اولین بار هوشمند سازی موتورخانه یک ساختمان مسکونی با متراژ ۲۲۵۰ متر واقع در شهر تهران با توجه به اولویت بندی های پیش بینی شده در چگونگی مصرف انرژی در حوزه مورد مطالعه بر اساس دو شاخص عادات مصرفی ساکنین و دمای هوای محیط صورت گرفته است. بر طبق نتایج بدست آمده، در صورت اجرای این طرح سالیانه ۳۴۹۷۲٫۸ متر مکعب در مصرف گاز طبیعی موتورخانه صرفه جویی گردیده و متعاقبا از انتشار ۹۳٫۹۶ کیلوگرم منواکسید کربن و ۶۷۰/۹ کیلوگرم دی اکسید کربن به هوا جلوگیری به عمل آمده است. همچنین صرفه جویی های اقتصادی طرح از مجموع هزینه های کاهش یافته در مصرف گاز طبیعی با در نظر گیری ۲۲ سنت به ازای هر متر مکعب گاز طبیعی صادراتی کشور و هزینه ناشی از جلوگیری از انتشار گاز دی اکسید کربن که بر طبق پیمان کیوتو میزان ۳/۶ سنت به ازای هر کیلوگرم می باشد در نظر گرفته شده است. با توجه به محاسبات صورت گرفته در صورت اجرای طرح سالیانه میزان ۸۶۸٫۹۵ دلار در هزینه های در نظر گرفته شده صرفه جویی می گردد.

واژه های کلیدی

آلودگی هوا - سیستم گرمایش هوشمند - بهینه سازی موتورخانه - مشعل

Economic and environmental analysis of a new intelligent central heating system based on optimizing pollutant emissions

Atila Fazeli^{1*}, Alireza Pardakhti², Mohammad Ali Zahed³

*1.College of Environment , University of Tehran (Kish International Campus),Kish,Iran

2 . Assistant Professor / College of Environment , University of Tehran,Tehran,Iran

3 . Assistant Professor / faculty of biology science , Kharazmi University,Tehran , Iran

*Email Address : attila.fazeli@ut.ac.ir

Abstract

Nowadays, due to the worn and traditional infrastructure in the heating systems used in residential buildings, offices and commercial centers, changing and replacing them with new systems is facing many problems in the country and the implementation of this important Has made it impossible. One of the practical methods with the aim of sustainable development is to make boiler rooms smarter. In this study, for the first time, the boiler room of a residential building with an area of 2250 meters located in Tehran was smartened according to the predicted priorities in how to consume energy in the study area based on two indicators of residents' consumption habits and ambient temperature. According to the obtained results, if this plan is implemented, 34972.8 cubic meters of natural gas consumption of the boiler room will be saved annually, and subsequently 93.96 kg of carbon monoxide and 670.9 kg of carbon dioxide will be prevented from being released into the air. Also, the economic savings of the project from the total reduced costs in natural gas consumption, taking into account 22 cents per cubic meter of the country's natural gas export and the cost of preventing the emission of carbon dioxide, which according to the Kyoto agreement is 6 / 3 cents per kilogram is considered. According to the calculations, if the annual plan is implemented, \$ 868.95 will be saved in the considered costs.

Key words

"Air Pollution, Smart Heating System, Torch, Optimization of Boiler room"

متراکم موجود را با مشکلات گوناگون و هزینه های سنگین همراه می سازد، از همین رو بحث تعویض موتورخانه ها با سیستم های نوین گرمایشی در کشور امری غیر عملی و صرفا انتزاعی می باشد. با توجه به مشکلات اجرایی و اقتصادی ذکر شده، بهره گیری از سیستم های یکپارچه انرژی از طریق هوشمندسازی نقشی تعیین کننده در جهت استفاده هر چه موثرتر از زیرساخت های موجود با هدف توسعه پایدار دارا می باشد [۱۱و۱۰]. هوشمند سازی در سیستم های گرمایشی ساختمان ها بر اساس پارامترها و شاخص های مختلفی از جمله عادات مصرفی ساکنین، دمای محیط و ... صورت می گیرد. امروزه مطالعاتی بر مبنای هوشمندسازی سیستم های گرمایشی و با هدف بهبود عملکرد آن ها صورت پذیرفته است. فن بونهارت و همکاران در مطالعه ای با اشاره به این نکته که ۷۰ درصد از مصرف حرارتی کشور آلمان صرف گرمایش ساختمان های مسکونی می شود بر لزوم هوشمندسازی سیستم های گرمایشی تاکید نموده و بر مبنای عادات مصرف ساکنین در ساختمان به پیاده سازی سیستم کنترل هوشمند پرداختند. لو و همکاران طی پژوهشی استفاده از حسگرهای ساده و ارزان برای تعیین حضور افراد در ساختمان و همچنین ارزیابی دمای محیط را مورد بررسی قرار دادند و با بهبود عملکرد تجهیزات موتورخانه با توجه به اطلاعات دریافتی از سنسورها توانستند تا ۲۸ درصد مصرف انرژی سیستم گرمایشی ساختمان را کاهش دهند [۱۲]. امروزه علاوه بر افزایش کارایی سیستم گرمایش با تنظیم زمان فعالیت مشعل بر اساس اطلاعات سنسورهای تعبیه شده، کنترل و هوشمند سازی عملکرد مشعل و متعلقات آن نیز نقش موثری در افزایش بهره وری ایفا می کند. یکی از راهکارها به منظور ارتقا عملکرد مشعل و متعلقات آن تنظیم میزان هوای اضافی جهت احتراق کامل سوخت می باشد. در همین راستا، زیر سیستم کنترل هوای ورودی به مشعل با تنظیم نسبت سوخت به مقدار هوای اضافی لازم باعث جلوگیری از احتراق ناقص و متعاقب آن افزایش انتشار منواکسید کربن در گازهای خروجی و کاهش راندمان بویلر می شود [۱۳]. جدول ۱ میزان هوای اضافی مورد نیاز و اکسیژن لازم برای احتراق کامل سوخت های مورد استفاده در سیستم های گرمایشی مختلف را نشان می دهد.

افزایش مصرف انرژی در پی توسعه شهرنشینی و ارتقاء استانداردهای زندگی، پیامدهای زیان بار و جبران ناپذیر بسیاری را در دهه های اخیر بر کیفیت و کمیت منابع محیط زیستی داشته است. در این بین شاخص آلودگی هوا به عنوان یکی از مولفه های اصلی پایداری محیط زیست امروزه بیش از هر زمانی مورد توجه جوامع بین المللی قرار گرفته است [۱]. در حال حاضر تمامی مناطق در معرض آلودگی هوا قرار دارند و این پدیده به عنوان مهم ترین عامل خطر محیطی سلامت انسان ها را از جنبه های مختلفی تهدید می نماید لذا ضرورت حفظ استانداردهای زیست محیطی و تلاش در جهت حفظ منابع انرژی با رویکرد اقتصادی مطلوب به عنوان اجزای جدایی ناپذیر توسعه پایدار، موضوعی غیرقابل انکار می باشد [۲]. بر طبق آخرین اطلاعات منتشر شده توسط سازمان جهانی بهداشت (World Health Organization (WHO)، مقادیر غلظت آلاینده ها در ۹۷ درصد از شهرهای کشورهای توسعه و کم درآمد و همچنین در نیمی از شهرهای کشورهای توسعه یافته بیش از حد تعیین شده توسط این سازمان می باشد [۳-۵]. مشکل آلودگی هوا در ایران نیز همچون بسیاری از نقاط دیگر کره زمین یکی از چالشهای اصلی کشور می باشد به نحوی که برآورد می شود با احتساب پدیده ریز گردها، جمعیتی بالغ بر ۳۵ میلیون نفر، یعنی حدود نیمی از جمعیت کل کشور در معرض درجاتی از آلودگی هوا قرار دارند که بی توجهی به این مسئله در طولانی مدت علاوه بر ایجاد اثرات سوء و نامطلوب بر اکوسیستم هوا، سلامت انسان و سایر موجودات را به طور جدی تهدید می نماید [۶و۷]. یکی از عوامل اصلی آلودگی هوا در کلانشهرها با توجه به وجود منابع عظیم گاز طبیعی در کشور، موتورخانه ها می باشند که نقش بسزایی در افزایش شاخص آلودگی هوا و مصرف انرژی ایفا می کند به طوری که تاسیسات گرمایشی در ساختمان های مسکونی، اداری و تجاری با بیش از ۴۰ درصد از مصرف انرژی، همواره سهم چشمگیری از مصرف انرژی و انتشار آلاینده ها را به خود اختصاص داده اند [۸و۹]. در کشور ایران سیستم های گرمایش مرکزی با مشکلاتی هم چون مصرف بی رویه انرژی که ناشی از عدم تنظیمات فصلی ترموستات و کارکرد غیر اصولی مشعل است مواجه می باشند که جایگزینی زیر ساخت های فرسوده و

جدول ۱- میزان اکسیژن و هوای اضافی مورد نیاز برای سوخت های مورد استفاده در سیستم های گرمایشی [۱۴]

| نوع سوخت | هوای اضافی (%) | | میزان اکسیژن (%) | |
|-----------|----------------|--------|------------------|--------|
| | حداقل | حداکثر | حداقل | حداکثر |
| گاز طبیعی | ۱۰ | ۱۵ | ۲ | ۲,۷ |
| نفت (سبک) | ۱۲,۵ | ۲ | ۲,۳ | ۳,۵ |
| زغال سنگ | ۳۰ | ۵۰ | ۴,۹ | ۷ |

موتورخانه در ساختمان های مسکونی پرداختند. بر طبق نتیجه گیری های صورت گرفته پیاده سازی این طرح در سطح کشور علاوه بر صرفه جویی بالغ بر ۲۸۰۰ میلیارد ریال ، سبب افزایش سطح بهداشت عمومی جامعه و افزایش عمر مفید موتورخانه ها و کاهش هزینه تعمیر و نگهداری آن ها می گردد [۱۶]. در این مطالعه امکانات اقتصادی حاضر و همچنین زیر ساخت های موجود در کشور ایران به عنوان نکته کلیدی در پیشنهاد طرح

به همین منظور در پژوهشی با بهینه سازی پارامترهای احتراق از جمله میزان هوای ورودی در موتورخانه های مختلف، ضمن کاهش ۲۱ درصدی مصرف سوخت، غلظت منواکسید کربن خروجی از ppm ۸۱۱ به ppm ۵۴ تقلیل یافت [۱۵]. در ادامه این روند خوشنویسان و همکاران در طرحی با عنوان "پتانسیل های صرفه جویی سوخت و کاهش گازهای آلاینده در سیستم احتراق موتورخانه های خانگی" به بررسی تنظیم مشعل های

۱-۲- مشخصات طرح

در پژوهش حاضر، هوشمند سازی موتورخانه یک ساختمان مسکونی با توجه به اولویت بندی های پیش بینی شده در چگونگی مصرف انرژی در حوزه مورد مطالعه بر اساس دو شاخص عادات مصرفی ساکنین و دمای هوای محیط صورت گرفته است. در این طرح علاوه بر شاخص های تعیین شده در نحوه هوشمندسازی، با شناسایی تجهیزات موجود در موتورخانه اعم از مشعل و دیگ چدنی و نوع عملکرد و ظرفیت آن ها در سیستم، نوع تجهیزات کنترلی و محرک ها مطابق (جدول ۲) انتخاب و مورد استفاده قرار گرفته است.

بهینه گرمایش هوشمند مورد بررسی و آنالیز قرار گرفته است. با توجه به استفاده از تکنولوژی های قدیمی در تاسیسات گرمایشی ساختمان ها در کشور و عدم کنترل و ارتباط نرم افزاری و سخت افزاری در بین تجهیزات موتورخانه ها، هوشمند سازی سیستم حرارت مرکزی برای اولین بار در کشور، در راستای کاهش میزان گازهای گلخانه ای و کاهش مصرف سوخت با در نظرگیری پارامترهای اقتصادی در این پژوهش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است و همچنین تغییرات شاخص های مورد مطالعه قبل و بعد از هوشمندسازی مورد تحلیل و بررسی قرار می گیرد.

۲- مواد و روش ها

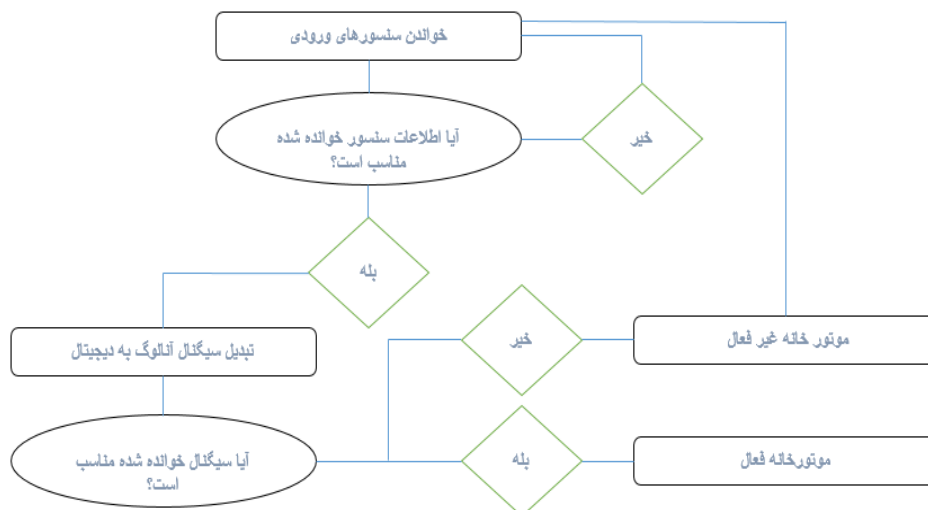
جدول ۲- کلیات و مشخصات فنی موتورخانه مورد مطالعه

| مشخصات ساختمان | ظرفیت حرارتی | تعداد و نوع مشعل | تعداد و نوع بویلر | ابزار کنترلی |
|---|--|---|---|--|
| مسکونی ۲۲۵۰ مترمربع واقع در شهر تهران | موتورخانه با ظرفیت حرارتی ۵۵۰۰۰۰ کیلوکالری | ۱ عدد مشعل گازی با ظرفیت حرارتی ۲۶۰۰۰۰ کیلو کالری | ۱ عدد دیگ چدنی با ظرفیت حرارتی ۲۴۳۰۰۰ کیلوکالری | سنسور دما NTC سنسور منواکسید کربن MQ-7 میکروکنترلر ATMEGA328P- PU اکچویاتور |

۲-۲- روش پیاده سازی طرح

می گردد که توسط میکروکنترلر برنامه ریزی و تنظیم می گردد. در برنامه نویسی صورت گرفته، میزان حرارت مورد نیاز جهت گرمایش ساختمان با در نظرگیری ساعات اوج مصرف، دمای محیط و تاثیر پذیری از عوامل سخت افزاری و نرم افزاری و بر پایه الگوریتم شبکه هوشمند طراحی و بر روی مشعل تعریف و اجرا می گردد. با توجه به داده های بدست آمده از سنسورهای تعبیه شده در قسمت های مختلف، میزان هوای ورودی به مشعل به صورت پیوسته تنظیم می گردد، به نحوی که میزان ساعات کارکرد مشعل و انرژی مصرفی توسط آن طی ساعات مختلف شبانه روز بنا بر ظرفیت گرمایی مورد نیاز متفاوت می باشد.

در این طرح ابتدا مدار کنترل جریان هوای ورودی متشکل از اکچویاتور و باله های مکانیکی به منظور تنظیم میزان ورود هوای اضافی و اکسیژن مورد نیاز جهت احتراق کامل گاز طبیعی بر روی مشعل تعبیه گردیده و زیرسیستم کنترل جریان هوای مشعل تشکیل می گردد. در مرحله بعد، با استفاده از سنسور منواکسید کربن (CO) در لوله های خروجی موتورخانه، سنسور دمای تعبیه شده در لوله های حاوی جریان آب در دیگ و سنسور اندازه گیری دمای محیط، شبکه ای متشکل از زیرسیستم کنترل دما، زیرسیستم پایش منواکسید کربن و زیرسیستم کنترل جریان هوا تشکیل



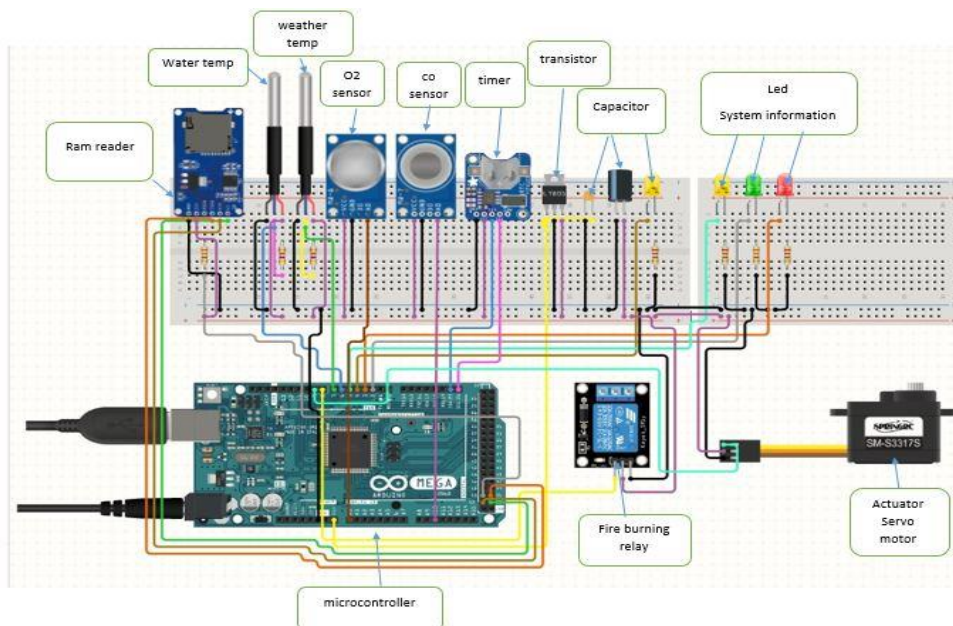
شکل ۱- فلوچارت برنامه کنترلی طراحی شده در موتورخانه

| شرح | مشخصه |
|---|---------------------------|
| 45cm * 25cm * 10cm | ابعاد دستگاه هوشمند |
| 970 gr | وزن دقیق دستگاه هوشمند |
| 5v / dc | میکروکنترلر |
| Digital / 0.01 °C | نوع سنسورهای دما / حساسیت |
| Time, Including Temp, On-Off time, Error | حافظه جانبی |
| MAX. 0.5 A | توان خروجی های دیجیتال |
| 12 | تعداد خروجی های دیجیتال |
| Wire | نوع اتصال سنسورها |
| LAN (Internet – Ethernet) USB (Flash Memory) | بسترهای ارتباطی |
| RTC/ 2ports / 220 v | تایمر |
| Self-Acting | اکچویاتور |
| Local - Web Server – Web Service | نوع ساختار شبکه |

مواکسید کربن انتشار یافته در این حالت ثبت می گردد. در نهایت پس از تجزیه و تحلیل اطلاعات ورودی به میکروکنترلر دریچه هوا بر حسب کمترین میزان CO و بهترین وضعیت سوخت کامل تنظیم شده و برنامه برنامه ریزی میکروکنترلر و شبکه طراحی شده بر این مینا تعریف می گردد، بنابراین در هر مرحله میانگین ورودی اطلاعات ابتدا دریافت و سپس دریچه هوا هر ۵ دقیقه بر حسب اطلاعات با در نظرگیری شرایط بهینه تنظیم می شود.

به منظور بهینه سازی توامان شاخص آلاینده‌گی و راندمان سیستم حرارت مرکزی مورد مطالعه، ابتدا اطلاعات بدست آمده از سنسورهای تعبیه شده را در حالتی که دریچه هوا بر مبنای کمترین میزان آلاینده خروجی تنظیم گردیده، ثبت نموده و با استفاده از آن میزان اکسیژن مصرفی استخراج و متعاقب آن درصد هوای اضافی در کمترین مقدار انتشار آلاینده‌ها محاسبه می گردد. در ادامه این روند، با استفاده از اطلاعات ثبت شده توسط شبکه هوشمند و اکچویاتور، میزان دریچه هوای مشعل در سیستم حرارتی مورد مطالعه بر مبنای بهینه سازی انتشار آلاینده‌ها تنظیم گردیده و میزان

شکل ۲- شماتیک سیستم هوشمند کنترل تعبیه شده در موتورخانه



۳-۱- آنالیز و تحلیل انرژی مصرفی

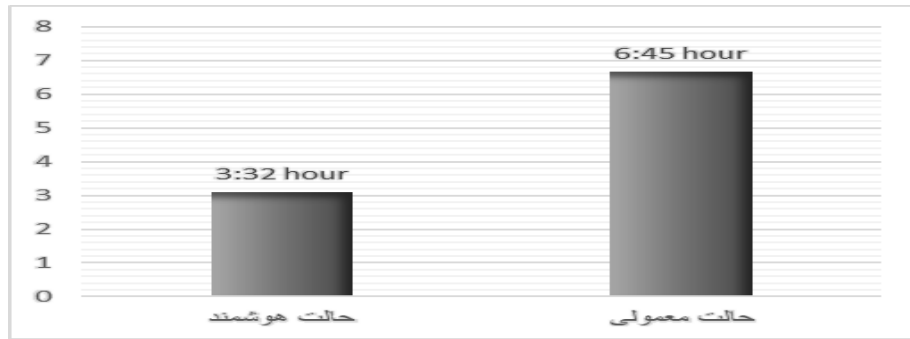
مشعل مورد استفاده در این موتورخانه مشعل مدل ایران رادیاتور با ظرفیت دویست و شصت هزار کیلوکالری بر ساعت می باشد. همانطور که در بخش قبلی اشاره شد از تایمر برای اندازه گیری مقدار زمان روشن شدن مشعل ها استفاده شده است برای ثبت زمان روشن شدن مشعل ها ابتدا با توجه

۳- نتایج

آنالیز و تحلیل کارکرد سیستم در حالت های پیش و پس از هوشمندسازی و میزان بهبود عملکرد سیستم بر اساس الگوریتم تعریف شده در شبکه ایجاد شده در شاخص های زیست محیطی، اقتصادی و انرژی به صورت زیر مورد بررسی قرار گرفته است.

هوشمند در مدت ۲۴ ساعت کارکرد موتورخانه ثبت می شود. در شکل ۳ میزان زمان روشن و خاموش شدن مشعل در دو حالت معمولی و هوشمند در شبانه روز نمایش داده شده است.

به برنامه تنظیم شده در ساعات مختلف شبانه روز و بدون نیاز به اپراتور دمای مشعل تنظیم شده و سپس بعد از وصل ورودی های تایمر به کنتاکتور مشعل، مقدار زمان روشن شدن آنها در دو حالت معمولی و



شکل ۳- مقایسه میزان ساعات کارکرد مشعل در حالت معمولی و بهینه

در این رابطه Q_{Burner} ظرفیت مشعل بکار گرفته شده در این سیستم و برابر با ۲۶۰۰۰۰ کیلوکالری بر ساعت و LHV ارزش حرارتی گاز طبیعی می باشد که برابر با ۸۲۰۰ کیلو کالری بر متر مکعب می باشد [۱۸]. میزان صرفه جویی صورت گرفته در مصرف گاز طبیعی مطابق جدول ۴ می باشد.

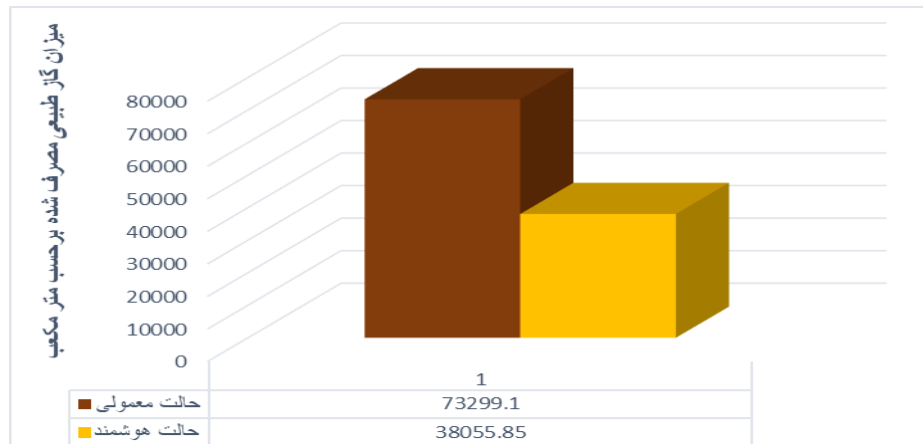
با توجه به کاهش زمان عملکرد مشعل در حالت هوشمند، از رابطه (۱) برای مقایسه میزان مصرف انرژی توسط مشعل گازی در حالت عادی و هوشمند استفاده گردیده است [۱۷].

$$G \left(\frac{m^3}{hr} \right) = \frac{Q_{Burner}}{LHV} \quad (1)$$

جدول ۴- میزان صرفه جویی مصرف انرژی در حالت هوشمند

| میزان صرف سوخت مشعل | m^3/hr |
|--|----------------|
| میزان گاز طبیعی صرفه جویی شده در شبانه روز | $m^3 101,94$ |
| میزان گاز طبیعی صرفه جویی شده در یک ماه | $m^3 3058,24$ |
| میزان گاز طبیعی صرفه جویی شده در یک سال (با توجه به ضرایب مصرف در فصل سرد و گرم) | $m^3 34972,88$ |
| میزان گاز طبیعی صرفه جویی شده به ازای هر مترمربع در ماه | $m^3 1,36$ |
| میزان گاز طبیعی صرفه جویی شده به ازای هر مترمربع در سال | $m^3 15,54$ |

شکل ۴-مقایسه میزان گاز طبیعی مصرفی سالیانه توسط موتورخانه در حالت معمولی و هوشمند



۳-۲- آنالیز و تحلیل محیط زیستی

در موتور خانه در قبل و بعد از استفاده از این سیستم به ترتیب در جدول ۵ و ۶ قابل رویت می باشد.

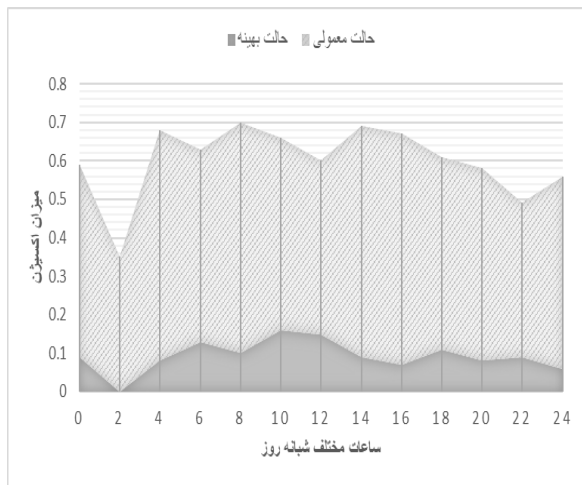
با بهبود عملکرد سیستم در ساعات متفاوت شبانه روز و مشاهده اطلاعات ثبت شده توسط سنسورهای منواکسید کربن (CO)، میزان انتشار CO

جدول ۵- اطلاعات دریافتی سنسورها در حالت عادی در ساعات مختلف شبانه روز

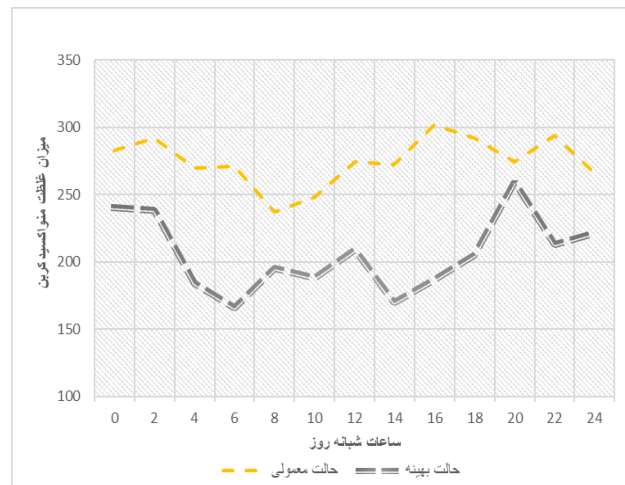
| ساعات شبانه روز | میزان متوسط اکسیژن | میزان متوسط منواکسید کربن | دمای متوسط خروجی |
|-----------------|--------------------|---------------------------|------------------|
| ۰۰:۰۰ | ۰,۰۹ | ۲۸۳ | ۶۳,۱ |
| ۰۱:۰۰ | ۰,۰۶ | ۲۸۷ | ۶۱,۲ |
| ۰۲:۰۰ | ۰,۰۱ | ۲۹۲ | ۵۹,۷ |
| ۰۳:۰۰ | ۰,۰۴ | ۲۸۳ | ۶۰,۵ |
| ۰۴:۰۰ | ۰,۱۱ | ۲۷۰ | ۵۸,۶ |
| ۰۵:۰۰ | ۰,۱۳ | ۲۶۵ | ۶۰,۲ |
| ۰۶:۰۰ | ۰,۱۶ | ۲۷۱ | ۵۸,۸ |
| ۰۷:۰۰ | ۰,۱۴ | ۲۵۷ | ۶۰,۵ |
| ۰۸:۰۰ | ۰,۱۰ | ۲۳۸ | ۶۰,۳ |
| ۰۹:۰۰ | ۰,۱۳ | ۲۴۱ | ۶۰,۲ |
| ۱۰:۰۰ | ۰,۱۷ | ۲۴۷ | ۵۹,۷ |
| ۱۱:۰۰ | ۰,۱۵ | ۲۵۳ | ۵۹,۶ |
| ۱۲:۰۰ | ۰,۱۲ | ۲۷۴ | ۵۹,۹ |
| ۱۳:۰۰ | ۰,۱۱ | ۲۶۸ | ۶۰,۱ |
| ۱۴:۰۰ | ۰,۰۹ | ۲۷۲ | ۵۹,۷ |
| ۱۵:۰۰ | ۰,۰۹ | ۲۹۷ | ۵۹,۷ |
| ۱۶:۰۰ | ۰,۰۷ | ۳۰۲ | ۵۹,۴ |
| ۱۷:۰۰ | ۰,۰۸ | ۲۹۹ | ۵۹,۴ |
| ۱۸:۰۰ | ۰,۱ | ۲۹۲ | ۵۹,۶ |
| ۱۹:۰۰ | ۰,۰۸ | ۲۸۱ | ۵۹,۷ |
| ۲۰:۰۰ | ۰,۰۷ | ۲۷۴ | ۵۹,۹ |
| ۲۱:۰۰ | ۰,۰۸ | ۲۷۹ | ۶۱,۲ |
| ۲۲:۰۰ | ۰,۱ | ۲۹۴ | ۶۱,۷ |
| ۲۳:۰۰ | ۰,۰۹ | ۲۷۷ | ۶۱,۴ |
| ۲۴:۰۰ | ۰,۰۵ | ۲۶۶ | ۶۰,۴ |

جدول ۶- اطلاعات دریافتی سنسورها در حالت هوشمند در ساعات مختلف شبانه روز

| ساعات شبانه روز | میزان متوسط اکسیژن | میزان متوسط منواکسید کربن | دمای متوسط خروجی |
|-----------------|--------------------|---------------------------|------------------|
| ۰۰:۰۰ | ۰,۵۱ | ۲۴۶ | ۷۵,۶ |
| ۰۱:۰۰ | ۰,۴۶ | ۲۳۸ | ۷۵,۳ |
| ۰۲:۰۰ | ۰,۳۴ | ۲۳۳ | ۷۵,۱ |
| ۰۳:۰۰ | ۰,۴۹ | ۲۱۷ | ۷۵,۳ |
| ۰۴:۰۰ | ۰,۶ | ۱۸۸ | ۷۵,۴ |
| ۰۵:۰۰ | ۰,۵۶ | ۱۸۱ | ۷۵,۶ |
| ۰۶:۰۰ | ۰,۵ | ۱۷۴ | ۷۵,۸ |
| ۰۷:۰۰ | ۰,۵۳ | ۱۷۹ | ۷۵,۶ |
| ۰۸:۰۰ | ۰,۵۹ | ۱۸۵ | ۷۵,۶ |
| ۰۹:۰۰ | ۰,۵۶ | ۱۷۳ | ۷۵,۵ |
| ۱۰:۰۰ | ۰,۴۹ | ۱۷۲ | ۷۵,۵ |
| ۱۱:۰۰ | ۰,۴۶ | ۱۷۹ | ۷۵,۴ |
| ۱۲:۰۰ | ۰,۴۴ | ۱۸۹ | ۷۵,۳ |
| ۱۳:۰۰ | ۰,۵۳ | ۱۸۳ | ۷۵,۲ |
| ۱۴:۰۰ | ۰,۵۹ | ۱۸۰ | ۷۵,۲ |
| ۱۵:۰۰ | ۰,۶ | ۱۸۳ | ۷۵,۳ |
| ۱۶:۰۰ | ۰,۶ | ۱۸۸ | ۷۵,۴ |
| ۱۷:۰۰ | ۰,۵۵ | ۱۹۵ | ۷۵,۴ |
| ۱۸:۰۰ | ۰,۵ | ۲۰۱ | ۷۵,۷ |
| ۱۹:۰۰ | ۰,۵ | ۲۰۸ | ۷۵,۶ |
| ۲۰:۰۰ | ۰,۴۹ | ۲۰۶ | ۷۵,۵ |
| ۲۱:۰۰ | ۰,۴۵ | ۲۰۳ | ۷۵,۳ |
| ۲۲:۰۰ | ۰,۴ | ۲۱۸ | ۷۵,۲ |
| ۲۳:۰۰ | ۰,۴۴ | ۲۲۵ | ۷۵,۷ |
| ۲۴:۰۰ | ۰,۵ | ۲۱۹ | ۷۶,۱ |



شکل ۶- میزان O2 اندازه گیری شده در سیستم حرارت مرکزی در ساعات مختلف شبانه روز



شکل ۵- میزان انتشار منواکسید کربن CO در سیستم حرارت مرکزی در ساعات مختلف شبانه روز

شده (بر حسب کیلوگرم) با استفاده از هوشمندسازی موتورخانه بر طبق رابطه (۲) محاسبه می گردد [۱۹]:

$$CO_{Weight} = Fuel_{Cons} * \left(1 + Air_{Req} * 1 + \frac{EX_{Air}}{100} \right) * \frac{CO_{Cons}}{10^6} * \rho_{CO} \quad (2)$$

جدول ۷- اطلاعات پارامترهای اندازه گیری میزان CO

| | |
|---------------|-------|
| Air_{Req} | ۱۰ |
| $Fuel_{Cons}$ | ۱۰/۹۴ |
| ρ_{CO} | ۱/۱۴ |
| EX_{Air} | ۰/۲۱ |
| CO_{Cons} | ۱۶۷ |

موتورخانه هوشمند استفاده شده است [۲۰].

$$E_{i,j} = Q_i * LHV_i * EF_{i,j} \quad (3)$$

جدول ۸- اطلاعات پارامترهای تعیین میزان CO2 [۲۰]

| | |
|------------|---------------------|
| i | گاز طبیعی |
| j | دی اکسید کربن (CO2) |
| LHV_i | ۳/۴۲ * ۴-۱۰ |
| $EF_{i,j}$ | ۵۶/۱ * ۳-۱۰ |

با توجه به میزان بدست آمده غلظت منواکسید کربن و هوای اضافی اندازه گیری شده در حالت بهینه کارکرد موتورخانه و همچنین میزان صرفه جویی گاز شهری در طول شبانه روز و ماه، میزان منواکسید کربن حذف

که در این رابطه:

CO_{Weight} : میزان تولید ماهانه گاز منواکسید کربن بر حسب کیلوگرم

$Fuel_{Cons}$: میزان مصرف ماهانه گاز موتورخانه بر حسب متر مکعب

Air_{Req} : میزان هوای لازم برای احتراق یک کیلوگرم گاز طبیعی

(در حدود ۱۰ مترمکعب برای گاز شهری می باشد)

EX_{Air} : درصد هوای اضافه موجود در هوای احتراق

(با توجه به مقدار حاصل از بهینه سازی)

CO_{Cons} : غلظت گاز منواکسید کربن بر حسب ppm

ρ_{CO} : چگالی گاز منواکسید کربن بر حسب Kg/m^3

در ادامه با توجه به میزان گاز طبیعی صرفه جویی شده در موتورخانه از رابطه (۳) به منظور تخمین میزان دی اکسید کربن کاهش یافته توسط

که در این رابطه:

$E_{i,j}$: میزان انتشار ماهانه یا سالانه گاز گلخانه ای دی اکسید کربن (j) حاصل از

احتراق گاز طبیعی (i) در موتورخانه بر حسب (ton)

Q_i : میزان گاز طبیعی مصرفی بر حسب مترمکعب توسط موتورخانه

LHV_i : ارزش حرارتی خالص گاز شهری (GJ/m^3)

$EF_{i,j}$: ضریب انتشار گاز گلخانه ای دی اکسید کربن (j) حاصل از احتراق گاز طبیعی

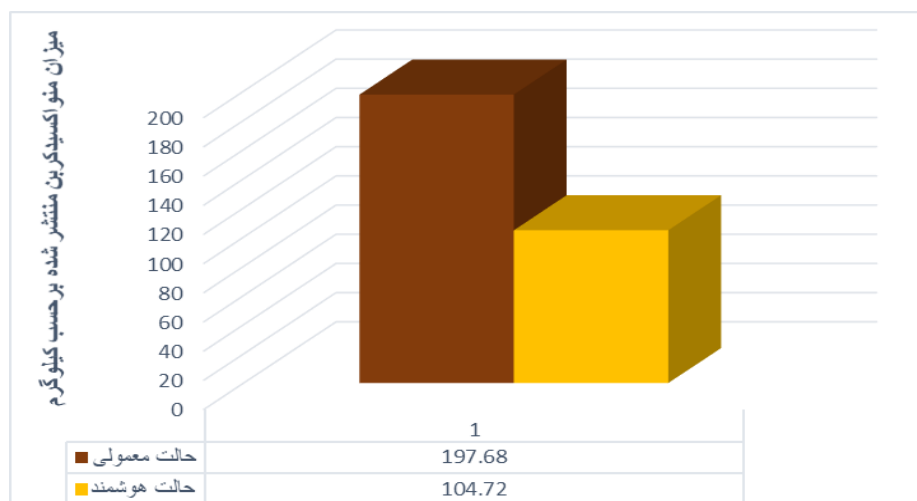
(ton/GJ) (i)

با توجه به محاسبات صورت گرفته، میزان منواکسیدکربن و دی اکسید کربن مورد مطالعه در جدول ۹ ثبت گردیده است. کربن حذف شده در بازه های زمانی متفاوت توسط سیستم گرمایش

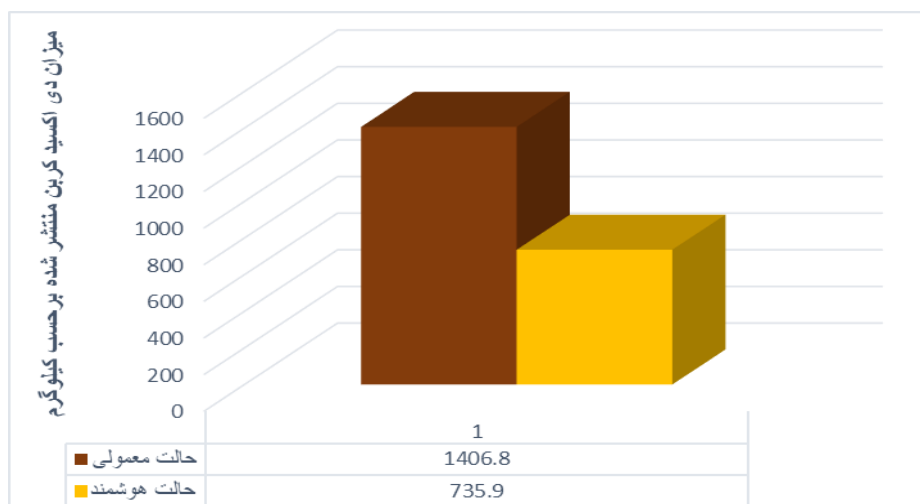
جدول ۹- میزان آلاینده های حذف شده با هوشمندسازی سیستم گرمایش در بازه های زمانی متفاوت

| دی اکسید کربن (CO ₂) | منواکسید کربن (CO) | |
|----------------------------------|--------------------|--|
| ۱/۸۶ | ۰/۲۶۱ | میزان حذف شده در شبانه روز (برحسب کیلوگرم) |
| ۵۵/۹۸ | ۷/۸۳ | میزان متوسط حذف شده در ماه (برحسب کیلوگرم) |
| ۶۷۰/۹ | ۹۳/۹۶ | میزان متوسط حذف شده در سال (برحسب کیلوگرم) |
| ۰/۰۲۴ | ۰/۰۰۳ | میزان متوسط حذف شده به ازای هر متر مربع در ماه (برحسب کیلوگرم) |
| ۰/۲۹۸ | ۰/۰۴۱ | میزان متوسط حذف شده به ازای هر متر مربع در سال (برحسب کیلوگرم) |

شکل ۷- مقایسه میزان انتشار سالیانه منواکسیدکربن توسط موتورخانه در حالت معمولی و هوشمند



شکل ۸- مقایسه میزان انتشار سالیانه دی اکسیدکربن توسط موتورخانه در حالت معمولی و هوشمند



۳-۳- آنالیز و تحلیل اقتصادی

اکسید کربن بر گرمایش کره زمین، هزینه انتشار هر کیلو گرم از این گاز گلخانه ای ۳/۶ سنت تعیین گردیده است [۲۱]. بنابراین با اجرای این طرح در جهت هوشمندسازی موتورخانه، با توجه به تخمین های صورت گرفته در میزان انتشار این گاز گلخانه ای در موتورخانه ساختمان، سالانه ۲۴/۱۵ دلار از هزینه های اجتماعی ناشی از انتشار این آلاینده کاسته می شود.

کاهش هزینه های صورت گرفته در این پژوهش در دو گروه هزینه ناشی از مصرف انرژی (گاز طبیعی) و هزینه کاهش انتشار دی اکسید کربن (CO2) دسته بندی و مورد آنالیز قرار گرفته است. بر اساس معاهده کیوتو و بر طبق گزارشات منتشر شده، با توجه به اثرات ناشی از انتشار گاز دی

جدول ۱۰- میزان صرفه جویی اقتصادی ناشی از کاهش انتشار دی اکسید کربن توسط موتورخانه هوشمند

| | |
|---|------------|
| میزان صرفه جویی هزینه گاز مصرفی موتورخانه در ماه | ۲/۰۱ دلار |
| میزان صرفه جویی هزینه گاز مصرفی به ازای هر مترمربع در ماه | ۰,۰۰۱ دلار |
| میزان صرفه اقتصادی کاهش آلاینده CO2 در سال | ۲۴/۱۵ دلار |
| میزان صرفه اقتصادی کاهش آلاینده CO2 به ازای هر مترمربع در سال | ۰/۰۱ دلار |

بهره برداری موتورخانه هوشمند در ساختمان مورد مطالعه مطابق جدول ۱۰ می باشد [۲۲].

با در نظرگیری اطلاعات بدست آمده در جدول ۴ و با توجه به میزان بهای گاز صادراتی کشور که ۲۳ سنت به ازای هر متر مکعب می باشد، میزان صرفه جویی اقتصادی حاصل از کاهش مصرف گاز طبیعی در صورت

جدول ۱۱- میزان صرفه جویی اقتصادی ناشی از کاهش مصرف گاز طبیعی توسط موتورخانه هوشمند

| | |
|---|------------|
| مجموع صرفه جویی هزینه های موتورخانه در ماه | ۷۰,۴ دلار |
| مجموع صرفه جویی هزینه های موتورخانه به ازای هر مترمربع در ماه | ۰,۰۳ دلار |
| مجموع صرفه جویی هزینه های موتورخانه در سال | ۸۴۴,۸ دلار |
| مجموع صرفه جویی هزینه های موتورخانه به ازای هر مترمربع در سال | ۰,۳۸ دلار |

اقتصادی صورت گرفته طرح مطابق جدول ۱۲ می باشد.

با توجه به اطلاعات بدست آمده از جدول ۱۰ و ۱۱ مجموع صرفه جویی

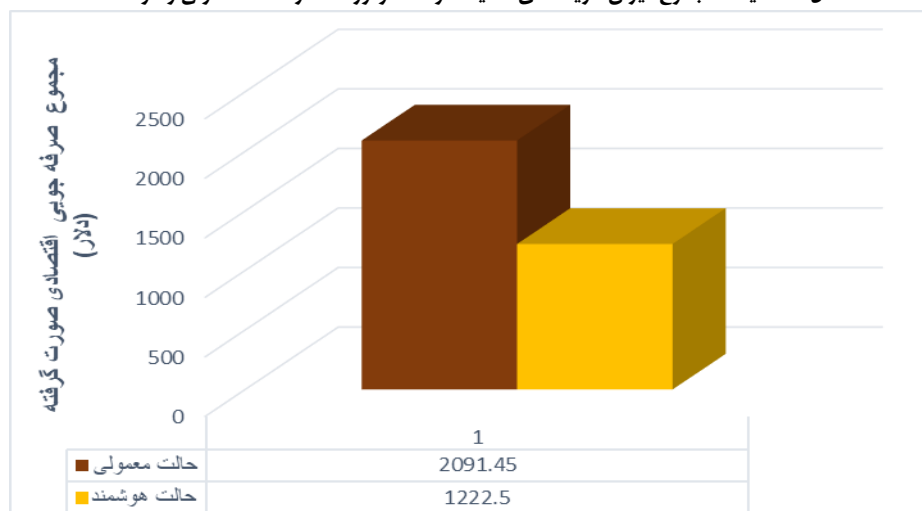
جدول ۱۲- مجموع صرفه جویی اقتصادی صورت گرفته توسط موتورخانه هوشمند

| | |
|---|-------------|
| مجموع صرفه جویی هزینه های موتورخانه در ماه | ۷۲,۴۱ دلار |
| مجموع صرفه جویی هزینه های موتورخانه به ازای هر مترمربع در ماه | ۰,۰۳۱ دلار |
| مجموع صرفه جویی هزینه های موتورخانه در سال | ۸۶۸,۹۵ دلار |
| مجموع صرفه جویی هزینه های موتورخانه به ازای هر مترمربع در سال | ۰,۳۹ دلار |

در تمامی موتورخانه های موجود در سطح کشور سالیانه هزینه قابل توجهی صرفه جویی می گردد.

با در نظرگیری ارقام حاصل، در صورت اجرای طرح سالیانه مبلغ ۸۶۸,۹۵ دلار صرفه جویی اقتصادی صورت می پذیرد که در صورت اجرای طرح

شکل ۹- مقایسه مجموع میزان هزینه های سالیانه توسط موتورخانه در حالت معمولی و هوشمند



ساختمان بر اساس شاخص های محیط زیستی و اقتصادی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. بر طبق نتایج بدست آمده با اجرای این طرح، سالیانه ۳۴۹۷۲٫۸ متر مکعب در مصرف گاز طبیعی موتورخانه مورد مطالعه صرفه جویی شده و متعاقبا از انتشار ۹۳،۹۶ کیلوگرم منواکسید کربن و ۶۷۰۹ کیلوگرم دی اکسید کربن به هوا جلوگیری به عمل آمده است. همچنین صرفه جویی های اقتصادی ناشی از هزینه اجتماعی و هزینه مصرف گاز طبیعی ۸۶۸،۹۵ دلار در سال برآورد گردیده است که با توجه به پتانسیل های موجود در این طرح، در صورت پیاده سازی این طرح، علاوه بر بهبود شاخص های زیست محیطی ناشی از کاهش انتشار آلاینده ها در کلانشهرها سالیانه حجم عظیمی از منابع گاز طبیعی حفظ گردیده و همچنین می توان از کاهش هزینه های پیش بینی شده در جهت بهبود ساختار و توسعه منابع استفاده نمود.

در این مطالعه، تحلیل محیط زیستی سیستم بر اساس محاسبه مصرف گاز طبیعی در حالت بهینه عملکرد سیستم بر مبنای تنظیم میزان هوای ورودی به مشعل در حالت هوشمند و کمینه میزان انتشار منواکسید کربن صورت گرفته است. همچنین تحلیل اقتصادی از مجموع هزینه گاز طبیعی مصرفی بر مبنای قیمت گاز صادراتی کشور و همچنین هزینه اجتماعی انتشار گاز دی اکسید کربن بر اساس قیمت تعیین شده جهانی در حالت معمولی و هوشمند صورت گرفته است.

۴- نتیجه گیری

در مطالعه حاضر، با توجه به موانع ناشی از تعویض و جایگزینی سیستم های گرمایش مرکزی (اعم از پذیرش اجتماعی، هزینه های سنگین و مشکلات جابجایی) پیاده سازی سیستم هوشمند گرمایش مرکزی

منابع

- سینا کرباسی ؛ مهدی روانشادانیا و حمیدرضا عباسیان چهرمی، ۱۳۹۷، بررسی نقش سیستم مدیریت ساختماندر کاهش هم زمان مصرف گاز و برق درسیستم گرمایشی(موتورخانه)ساختمان های اداری، سومین کنفرانس بین المللی یافته های نوین عمران معماری و صنعت ساختمان ایران، تهران- دانشگاه تهران.
- احسان دهقانی جان آبادی، محمد حکیم آذری، ۱۳۹۸، بررسی تاثیر مدل سازی اطلاعات ساختمان BIM بر روند ممیزی انرژی ساختمان های مسکونی- نمونه موردی شهر تهران، دومین کنفرانس بین المللی مدل سازی اطلاعات ساختمان، تهران- پژوهشگاه نیرو.
- منیرعباسی، آرمین و بهمن علیدادی، ۱۳۹۸، کاربرد تکنولوژی های نوین در دستیابی به اهداف پایداری و کاهش اثرات زیست محیطی ساخت و سازهای عمرانی، چهارمین همایش بین المللی افق های نوین در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، تهران، انجمن افق نوین علم و فناوری.
- جان بزرگی، ا. قنادز. دفتر پشتیبانی مدیریت پروژه ها . ۱۳۸۸. سیستم هوشمند ساختمان قسمت مدیریت دانش. فصلنامه کیسون دوره جدید شماره ۴۳.
- افشین، حسینی ، مسعود احمدی، یاسمین سلامت ، حسین شهبازی، ۱۳۹۴ ، بررسی اثر پیش گرمایش هوای ورودی به مشعل و امکان کاهش آلاینده ها، سیاهه انتشار آلاینده گی شهر تهران
- افشین، حسینی ، مسعود احمدی، یاسمین سلامت ، حسین شهبازی، ۱۳۹۴ ، بررسی اثر پیش گرمایش هوای ورودی به مشعل و امکان کاهش آلاینده ها، سیاهه انتشار آلاینده گی شهر تهران.
- سهیلا خوشنویسان؛ مهدی جمالی؛ مصطفی صفری و میثم ریاحی، ۱۳۸۸، پتانسیل های صرفه جویی سوخت و کاهش گازهای آلاینده در سیستم احتراق موتورخانه های خانگی، هفتمین همایش ملی انرژی، تهران، کمیته ملی انرژی جمهوری اسلامی ایران.
- قاسمی کفرودی، اسماعیل؛ محمد ایازی و فاطمه گودرزوندچگینی، ۱۳۹۸، تحلیل شبکه توزیع گاز از دیدگاه انتشار گازهای گلخانه ای، پنجمین کنفرانس بین المللی مهندسی شیمی و نفت، تهران، مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار.
- امیر حسین محمودی، تورج بطحایی ، شرکت پیشران انرژی ایران . ۱۳۸۶ خردادماه . مقایسه پتانسیل های صرفه جویی و ویژگی های منحصر بفرد سیستم های کنترل هوشمند موتورخانه با ظرفیت سازی پالایشگاهی گاز کشور . ششمین همایش ملی انرژی.
- وزارت نفت ، راهنمای محاسبه و گزارش دهی میزان انتشار گازهای گلخانه ای (MOP-HSED-GL-307(1) ، ۱۳۹۷
- وزارت نفت، مدیریت کل اوپیک و روابط با مجامع انرژی، نشریه گاز شماره ۸۰، ۱۳۹۹
- Ha, Eunhee. "Impact of Air Pollution Hazards on Human Development." In Health Impacts of Developmental Exposure to Environmental Chemicals, pp. 223-245. Springer, Singapore, 2020.
- Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJ, Adeyi O, Arnold R, Baldé AB, et al. The Lancet Commission on pollution and health. The Lancet. 2018;391(10119):462-512.
- Burnett R, Chen H, Szyszkowicz M, Fann N, Hubbell B, Pope CA, et al. Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2018;115(38):9592-97.
- Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, Anderson HR, Frostad J, Estep K, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. The Lancet. 2017;389(10082):1907-18.
- WHO. Ambient (outdoor) air quality and health. World Health Organization; 2018 [cited 2019 Feb]. Available from: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-andhealth](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-andhealth).

- Naddafi K, Hassanvand MS, Faridi S. Review of studies on air quality status and its health effects in Iran. Iranian Journal of Health and Environment. 2019;12(1):151-72.
- Naddafi K, Hassanvand MS, Yunesian M, Momeniha F, Nabizadeh R, Faridi S, et al. Health impact assessment of air pollution in megacity of Tehran, Iran. Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering. 2012;9(1):28.
- Lu J, Sookoor T, Srinivasan V, Gao G, Holben B, Stankovic J, Field E, and Whitehouse K., "The Smart Thermostat: Using Occupancy Sensors to Save Energy in Homes", SenSys '10 Proceedings of the 8th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, pp. 211-224, 2010.
- The energy Research Institute, How to Save Energy and Money in Boilers and Furnace Systems, University of Cape Town.
- Bae C, Kim J. Alternative fuels for internal combustion engines. Proceedings of the Combustion Institute. 2017 Jan 1;36(3):3389-413.
- https://unfccc.int/kyoto_protocol/emissions/CO2