علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نوزدهم، ویژه نامه شماره ۵ ، تابستان۱۳۹۶

ارزیابی اثرات عملکرد نامطلوب موتورخانه‌ها بر هدررفت انرژی و کیفیت هوای شهرها

مرضیه مهتابی [۱*]

marziehmahtabi@yahoo.com

محمد ارجمند [۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۰۵ **تاریخ پذیرش:۱۳۹۴/۰۶/۲۱**

چکیده

زمینه و هدف: عصر حاضر، دوران وقوع چالش‌ها و بحران‌های محیط زیستی است که از جمله می‌توان به آلودگی هوا و اثرات نامطلوب آن بر انسان‌ها، گیاهان، جانوران و حتی ساختمان‌ها و سازه‌های مصنوع بشر اشاره کرد. به کار بردن سوخت‌های فسیلی با هدف تأمین انرژی مورد نیاز فعالیت‌ها و فضاهای گوناگون، از دلایل عمده بروز آلودگی هوا به‌شمار می‌رود. در این میان، سهم مراکز مسکونی آن‌گونه که باید مورد توجه قرار نگرفته است، به‌ویژه آن‌که گرایش عمده مراکز مسکونی به استفاده از سیستم موتورخانه مرکزی، اهمیت مساله آلودگی هوا و کنترل آن را در این منابع ثابت آلاینده برجسته‌تر می‌سازد.

روش بررسی: در این فرآیند، موتورخانه‌ها از لحاظ چیدمان فضایی، عملکرد فنی، راندمان و محصولات احتراق بازدید شده، با تنظیم عملکرد مشعل و تشخیص عیوب و نواقص احتمالی و تبیین راه‌حل‌ها، فرآیند مذکور را تا حد امکان بهینه می‌نماید.

یافته‌ها: نتایج حاصل از اجرای این طرح نشان‌دهنده عدم مطلوبیت عملکرد موتورخانه‌هاست که از جمله دلایل آن می‌توان به عدم رعایت استاندارد در ساختمان موتورخانه، چیدمان نامناسب تجهیزات و کارکرد نامناسب آن‌ها، عدم سرویس به‌موقع، تنظیم نبودن مشعل و مکش نامناسب دودکش اشاره کرد که مصرف بیش از حد و البته توأم با نقص سوخت و در نتیجه آلودگی هوا را به دنبال داشته است. با توجه به اهمیت مقوله آلودگی هوا، به‌ویژه در کلان‌شهرها و شهرهای صنعتی کشور و نیز محدودیت منابع انرژی، معاینه فنی موتورخانه ساختمان‌ها راهی است برای دستیابی به سه هدف عمده و تأثیرگذار: بهینه ساختن مصرف انرژی، کاهش آلودگی هوا و ایمنی ساکنین ساختمان‌ها.

واژه‌های کلیدی: موتورخانه، احتراق، بهینه‌سازی، آلودگی هوا، معاینه فنی.

۱*- (مسوول مکاتبات): کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی- محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، نور، ایران.

۲- کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی- محیط زیست، دانشگاه علوم و تحقیقات، اهواز، ایران.

J.Env. Sci. Tech., Vol 19, Special No.5, summer 2017

Evaluating the impacts of boiler house malfunction on energy loss and air quality in cities

Marzieh Mahtabi [1]*
marziehmahtabi@yahoo.com
Mohammad Arjmand [2]

Abstract
Background and Objective: Currently, there are many environmental challenges and crises such as air pollution and its unpleasant effects on human, plants, animals and even man-made buildings and structures. Use of fossil fuels to supply the energy requirements for different activities and spaces is the main reason for occurrence of air pollution. Usually the share of residential centers is not considered. In particular, the major trend in residential centers is using central boiler houses, which further highlights the importance of air pollution and its control in these pollutant stationary sources.
Method: In this process, boiler house is inspected by spatial arrangement, technical operation, efficiency and combustion products. Afterward, by tuning the performance of the burner, detection of probability defects and proposing the solutions, that process is optimized as much as possible.
Findings: The result of this project shows that the performance of the boiler house is undesirable. The reasons for this situation are: non-compliance of standards in boiler house building, improper arrangement of equipment and its undesirable operation, lack of timely service, unadjusted burners and improper chimney draft. These problems cause excessive and incomplete consumption and consequently lead to air pollution. Considering the importance of air pollution, especially in metropolitan and industrial cities, and also limited energy sources, technical inspection of boiler houses can be a way to access three main and effective objectives: optimization of energy consumption, reduction of air pollution and residents safety in buildings.
Keywords: Boiler house, Combustion, Optimization, Air pollution, Technical inspection.

1- MSc Faculty of Natural Resources, University of Tarbiat Modares, Mazandaran, Noor, Iran. * *(Corresponding Author)*
2- MSc Faculty of Natural Resources, Sicence and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

مقدمه

مردم ساکن جوامع صنعتی، اگرچه درصد نسبتاً کمی از جمعیت جهان را تشکیل می‌دهند، اما سهمی که از کل انرژی تولیدی جهان را به مصرف می‌رسانند قابل ملاحظه است. برای نمونه، امریکا را می‌توان ذکر کرد که تقریباً ۵درصد جمعیت جهان را در خود جای داده اما در حدود ۲۵درصد کل انرژی مصرفی جهان را به خود اختصاص می‌دهد (۱).

در دوره حاضر، به دلیل مسایلی نظیر امنیت تأمین انرژی، افزایش جهانی قیمت حامل‌های انرژی و پیامدهای نامطلوب کاربرد سوخت‌های فسیلی بر محیط زیست که مقدار مصرفشان به حدی فراتر از توان پذیرش زمین رسیده، پدیده‌ها و پیامدهای مخربی از قبیل تراکم گازهای گلخانه‌ای و تحلیل لایه ازن ظهور یافته است. برآیند این اتفاقات، مدیریت مصرف انرژی را به‌عنوان یک نیاز و رویکرد جدی در دستور کار کشورهای پیشرفته و در حال توسعه قرار داده است. در نتیجه، صاحبان صنایع، سازندگان ساختمان‌های اداری و تجاری و در نهایت مالکین و ساکنین ساختمان‌های مسکونی در تلاش هستند تا از طریق به کار بردن روش‌ها و تجهیزات نوین، میزان مصرف انرژی و درنتیجه، آلاینده‌های ناشی از احتراق را در فرآیندها و ساختمان‌ها کاهش دهند (۲).

در کشور ما نیز، آمار و ارقام منتشره توسط مراجع رسمی و معتبر نظارتی، دربردارنده هشدارهای ضمنی جدی در حوزه مصرف انرژی و آلایندگی است. بررسی‌ها نشان داده که بخش خانگی، تجاری و عمومی کشور با مصرف بیش از ۴۰درصد کل انرژی، اصلی‌ترین و عمده‌ترین مصرف‌کننده‌های انواع حامل‌های انرژی کشور به‌شمار می‌روند (۳).

تهدید اصلی در این‌جاست که بر طبق همین آمار و ارزیابی‌ها مصرف انرژی در کشور ما هر ده‌سال یک بار، به میزان دو برابر افزایش می‌یابد که این، یک چالش و بحران جدی است (۴). بحران دیگر، آلودگی هوای ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی است. تحقیقات نشان داده که آلودگی هوا چهارمین عامل مرگ و میر انسان‌ها در دنیاست و در بروز این آلودگی و پیامدهای نامطلوب آن، استفاده از منابع سوخت فسیلی برای تأمین انرژی مورد نیاز فعالیت‌ها و کاربری‌های مختلف، نقش مهمی دارد. منابعی که با توجه به ماهیت شیمیایی‌شان، استفاده از آن‌ها همراه با تولید گازها و ذراتی است که می‌تواند هوای محیط را در مقیاس محلی و حتی جهانی آلوده سازد. اصلی‌ترین گاز آلاینده خروجی از دودکش، مونوکسید کربن است؛ گازی بی‌رنگ، بی‌بو، سمی و سرطان‌زا. این گاز به‌سادگی وارد جریان خون شده و با هموگلوبین واکنش نشان داده و با جذب اکسیژن آن، مرگ فرد را موجب می‌شود. حد مجاز این گاز در خروجی دودکش‌ها کمتر از ppm ۱۰۰ و حد منجر به مرگ آن ۷۰۰ppm است. عامل اصلی در تولید این گاز، احتراق ناقص سوخت است (۵). ارزیابی‌های اولیه نشان می‌دهد که در وضعیت کنونی، شرایط عملکردی موتورخانه‌ها نامطلوب است. از جمله مهم‌ترین دلایل و عوامل این عدم مطلوبیت، موارد برشمرده ذیل قابل ذکر است:

۱) اختلاط ناقص سوخت و هوا که منجر به احتراق ناقص می‌شود. در این وضعیت، به‌دلیل آن که مشعل نمی‌تواند سوخت و هوا را به‌طور کامل مخلوط کند، باید هوای لازم برای احتراق را از طریق افزایش هوای اضافه تأمین نماید.

۲) عدم تنظیمات متناسب با فصول مختلف سال که کاهش شدید راندمان و افزایش مصرف سوخت را موجب می‌گردد.

۳) استفاده از تکنولوژی‌های قدیمی در طراحی موتورخانه‌ها که موارد مرتبط با صرفه‌جویی انرژی در آن‌ها دیده نشده است.

بنابر دستورالعمل مندرج در سامانه اینترنتی شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت، باید از طریق بازبینی عملکرد موتورخانه‌ها، هدررفت سرمایه (انرژی) و تولید آلاینده‌های هوا را کنترل و مهار کرد. در این فرآیند، از طریق اصلاح عملکرد سیستم مولد انرژی، علاوه بر بهبود راندمان سیستم، مقدار گازهای آلاینده خروجی از دودکش‌ها تا حد بسیاری کاهش می‌یابد(۶).

پیشینه تحقیق

مطالعه و ارزیابی نتایج به دست آمده از تجارب قبلی اجرای این طرح، از جمله "بهینه‌سازی ۱۰۰۰ دستگاه مشعل خانگی" در سال ۱۳۸۳ و یا "بهینه‌سازی مصرف سوخت در موتورخانه‌های ۵۰۰۰ ساختمان مسکونی" در سال ۱۳۸۵ که مجری هر دو طرح مذکور شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت بود و یا پروژه پژوهشی "تدوین دستورالعمل مناسب تهیه شناسنامه فنی و معاینه موتورخانه‌ها و اجرای آن در ساختمان‌های تحت پوشش شرکت ملی گاز ایران و بررسی آثار آن در صرفه‌جویی مصرف

انرژی" که در سال ۱۳۸۹ توسط شرکت ملی گاز ایران به اجرا درآمده، آمار و ارقام قابل تأملی را نشان می‌دهد:

۱) با اجرای این طرح می‌توان سالانه تقریباً ۲۱/۵ درصد در مصرف گاز صرفه‌جویی کرد.

۲) محاسبات نشان داده که مقدار تولید و انتشار گاز مونوکسیدکربن از فرآیند احتراق در موتورخانه‌ها بیش از ۹۰ درصد تقلیل یافته است. (۴)

مواد و روش‌ها

بهینه‌سازی عملکرد موتورخانه‌ها که هم از لحاظ مصرف و هم از جنبه کنترل خروجی‌های آلاینده هوای محیط اهمیت دارد، از طریق اصلاح مدار آب در گردش (شستشو، دوده‌زدایی و درزگیری دیگ آب‌گرم)، اصلاح مدار سوخت و احتراق (بازبینی و اصلاحات اولیه خط سوخت، سرویس مشعل و تنظیم دقیق آن) و اصلاح مسیر خروجی محصولات احتراق (دودکش) در موتورخانه ساختمان‌ها میسر می‌شود (۴). بر این اساس و مطابق با استاندارد ملی ۱۶۰۰۰ (۲۰۱۳)، ممیزی، بهینه‌سازی و کاهش معضلات موتورخانه‌ها از طریق مراحل ذیل انجام می‌گیرد (۷)

۱) بررسی کامل ساختمان موتورخانه و اجزای آن و تنظیم شناسنامه موتورخانه

۲) آنالیز محصولات احتراق خروجی از دودکش با دستگاه آنالایزر گاز و مقایسه آن با استاندارد

۳) تنظیم دقیق مشعل به‌منظور کاهش مصرف سوخت و گازهای آلاینده هوا

۴) اندازه‌گیری و متعادل‌سازی قدرت مکش دودکش با هدف افزایش راندمان دیگ

۵) تهیه گزارش مکتوب مشکلات موتورخانه‌ها و تبیین راه‌حل‌ها

۶) تحویل گزارش بازرسی و آزمون معاینه فنی دوره‌ای موتورخانه به سازمان ملی استاندارد

شناسنامه طرح اجرایی

برمبنای رویکرد کنترل آلایندگی هوا از طریق بهبود فرآیند مصرف انرژی در موتورخانه‌ها و هم‌زمان با هفته هوای پاک در زمستان سال ۱۳۹۱، شرکت بازرسی کیفیت و استاندارد ایران در اقدامی داوطلبانه نسبت به انجام معاینه فنی موتورخانه ۴۰ ساختمان مسکونی و غیرمسکونی، با تعداد ۵۴ دیگ (۳۷ موتورخانه با یک دیگ، ۱۲ موتورخانه با دو دیگ و ۱ موتورخانه با سه دیگ)، بر طبق استاندارد ملی ۱۶۰۰۰ اقدام کرد. این طرح در دو مرحله به اجرا درآمد:

مرحله اول، ساختمان‌های غیرمسکونی که در اسفند ماه سال ۱۳۹۱ به انجام رسید. از مجموع ساختمان‌های مورد بررسی در این مرحله، ۶۵درصد با کاربری اداری، ۱۰درصد با کاربری آموزشی، ۵درصد با کاربری بهداشتی و ۲۰درصد با کاربری تجاری- عمومی بوده و پراکنش آن‌ها در مناطق ۲، ۵، ۶ و ۷ کلان‌شهر تهران بوده است.

مرحله دو، ساختمان‌های مسکونی را شامل می‌شد که از اسفندماه ۱۳۹۱ شروع و در اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۲ به پایان رسید. پراکنش ساختمان‌های مورد بررسی در این مرحله، در مناطق ۲، ۵، ۶ و ۷ کلان‌شهر تهران بوده است.

روش‌شناسی اجرای طرح

در اجرای این طرح، گروه عملیاتی بر اساس مفاد استاندارد ملی ۱۶۰۰۰، با مراجعه به ساختمان مدنظر، ضمن ثبت مشخصات فنی موتورخانه، با استفاده از داده‌های به دست آمده از دستگاه آنالیز گاز، مشعل را به نحوی تنظیم کرده است که فرآیند احتراق به‌ویژه در پارامترهای درصد هوای اضافه، مقدار مصرف سوخت مشعل‌ها و CO تولیدی، به حد مطلوب نزدیک شود.

پس از جمع‌آوری داده‌های اولیه (نظیر تعداد طبقات ساختمان، مساحت گرمایش، تعداد دیگ‌ها و...)، با روشن کردن مشعل‌ها و پمپ‌ها توسط مسوول موتورخانه، عملکرد آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت تا نسبت به صحت آن اطمینان حاصل آید. از دیگر پارامترهای مورد بررسی در این فرآیند، محاسبه ابعاد موتورخانه است. در ساختمان‌های با درزبندی معمولی، چنان‌چه حجم فضای بسته‌ای که بویلر با سوخت گاز یا گازوییل در آن نصب شده، بیش از یک مترمکعب برای هر ۱۷۷ کیلوکالری در ساعت باشد، مساحت موتورخانه برای تهویه بهینه، مناسب تشخیص داده می‌شود اما، چنان‌چه حجم فضای مذکور کمتر از این مقدار باشد، این احتمال وجود دارد که هوای احتراق از فضای مجاور تأمین گردد. در این حالت، باید مجموع حجم فضای اصلی و فضای مجاور، دست‌کم یک مترمکعب برای هر ۱۷۷ کیلوکالری در ساعت باشد. فونداسیون پمپ‌های زمینی و دیگ، از دیگر پارامترهای مورد بررسی در هر موتورخانه است. بنا بر استاندارد این مقدار باید بیشتر از ۱۰ سانتی‌متر باشد. چنان‌چه بیش از یک پمپ فعال در موتورخانه وجود داشته باشد، وجود

یا عدم وجود شیر یک‌طرفه و لوله متعادل‌کننده فشار مورد بازدید و بررسی قرار می‌گیرد. پس از آن مطابق با ابعاد دیگ، مدل و ظرفیت حرارتی آن از جدول شرکت‌های سازنده استخراج می‌شود. در صورتی‌که دیگ‌ها فولادی باشند، با اندازه-گیری ابعاد دیگ و استفاده از روابط ریاضی زیر (معادله ۱ و ۲) ظرفیت آن محاسبه می‌گردد.

(۱) حجم دیگ * ۱۸۰,۰۰۰ = ظرفیت دیگ فولادی

(۲) میزان سوخت مصرفی (لیتر بر دقیقه) * ۴۵۰ = ظرفیت مشعل

در ساختمان‌هایی که به‌دلیل بار حرارتی مورد نیاز بالا، از بویلر برای تأمین انرژی استفاده می‌کنند، ظرفیت دیگ بر روی آن ثبت شده است. پس از این، تناسب دیگ با مشعل مورد سنجش قرار می‌گیرد. با توجه به این که بیشینه ظرفیت مشعل باید حداکثر تا ۱/۲ برابر ظرفیت دیگ باشد، چنان‌چه ظرفیت دیگ در محدوده ظرفیت مشعل قرار داشته باشد، در نتیجه دیگ و مشعل با یک‌دیگر متناسب هستند. با استفاده از داده‌های اولیه، بار حرارتی مجموعه محاسبه می‌شود، سپس متناسب بودن این بار با ظرفیت دیگ موجود با استفاده از معادله (۳) بررسی می‌گردد.

(۳) وسایل گرمایش + آب‌گرم مصرفی بهداشتی = بار حرارتی ساختمان

بار حرارتی مورد نیاز ساختمان، به‌طور تقریبی، از مجموع بار حرارتی مورد نیاز برای گرمایش و انرژی مورد نیاز برای تأمین آب گرم مصرفی به دست می‌آید (بار حرارتی تقریبی مورد نیاز برای گرمایش هر مترمربع در تهران که جزء اقلیم سرد و خشک به شمار می‌رود، برابر با ۱۳۰ کیلوکالری بر ساعت است. هم-چنین، بار حرارتی مورد نیاز برای تأمین یک لیتر آب گرم در یک ساختمان اداری برابر ۳۰ کیلوکالری بر ساعت و برای یک مجتمع آپارتمانی معمولی برابر با ۳۲ کیلوکالری بر ساعت است. چنان‌چه ظرفیت دیگ حداکثر ۱/۳ برابر بار حرارتی ساختمان باشد، نشان‌دهنده تناسب بار ساختمان با ظرفیت دیگ موجود است. در گام بعدی، ابعاد دودکش اندازه‌گیری شد تا با توجه به فاصله دودکش تا بام و ظرفیت دیگ، قطر مناسب دودکش محاسبه شده و با قطر موجود آن مقایسه گردد. هم‌چنین، با توجه به تغییر جهت‌های ایجاد شده در دودکش، عامل Z بر حسب تعداد خم‌ها در مسیر دودکش و زوایای آن‌ها محاسبه می‌شود (جدول شماره ۱). با بازدید از پشت بام، مشکلات دودکش‌ها مورد بررسی قرار داده شد. بنا بر استاندارد، انتهای کلیه دودکش‌ها باید حداقل یک متر از سطح پشت بام بالاتر بوده و از دیوارهای جانبی نیز حداقل یک متر فاصله داشته باشد، ضمن آن که استفاده از کلاهک در دودکش الزامی است.

جدول ۱- مقدار عامل z بر اساس زاویه زانویی دودکش

Table 1- The value of the z factor Based on the chimney knee angle

زاویه زانویی (درجه)	عامل z
۳۰	۰/۱۴۹
۴۵	۰/۲۲۱
۶۰	۰/۳۲۸
۹۰	۱/۱۹۱

از مهم‌ترین اقدامات در فرآیند معاینه فنی موتورخانه‌ها (با سوخت گاز)، اندازه‌گیری و آنالیز گازهای خروجی از دودکش است. چنان‌چه درصد اکسیژن، مونوکسیدکربن و هوای اضافی بیش از حد مجاز باشد، تنظیم نسبت سوخت به هوا مورد نیاز است. این مقدار برای CO برابر با ۱۰۰ mg/Kwh (۸۲ppm)، برای NO_x برابر با ۱۷۰ mg/Kwh (۸۵ppm)، برای اکسیژن برابر ۲/۵ درصد و برای هوای اضافی حدود ۱۲/۵ درصد است (مطابق جدول ۲). پیش و پس از این عمل، کنتور هر مشعل یک بار قرائت شد تا مصرف گاز به ازاء یک دقیقه به دست آید. در این مدت کوتاه تا جایی که امکان‌پذیر بوده، سایر مصارف موقتاً قطع گردیده‌اند. روابط ریاضی زیر (معادلات ۴ و ۵) در ادامه نحوه تبدیل میلی‌گرم بر کیلو وات ساعت را به ppm نشان می‌دهد (نتایج اندازه‌گیری دستگاه آنالایزر گاز بر حسب ppm می‌باشد)(۷ و ۸).

جدول ۲- مقادیر مجاز شاخص‌ها (۷ و ۸)

Table 2- Valid values of indicators (7 & 8)

شاخص مورد اندازه‌گیری	مقادیر مجاز (Mg/kwh)	مقادیر مجاز (ppm)
CO	۱۰۰	۸۲
NO_X	۱۷۰	۸۵
O_2	___	۲/۵ درصد
در هوای اضافه	___	۱۲/۵ درصد

*مقادیر مجاز اکسیژن و هوای اضافه بر اساس درصد می‌باشند.

$$CO\ (mg/kwh) = ۱/۰۷۵*(۲۱/(۲۱-O_2))*CO\ (ppm) \quad (۴)$$

$$NO_X\ (mg/kwh) = ۱/۷۷*(۲۱/(۲۱-O_2))*NO_X\ (ppm) \quad (۵)$$

در معادله (۴) و (۵):

CO (mg/kwh): میزان مونواکسیدکربن بر حسب میلی‌گرم بر کیلووات ساعت

CO (ppm): میزان مونواکسیدکربن بر حسب قسمت در میلیون

NO_X (mg/kwh): میزان اکسید نیتروژن بر حسب میلی‌گرم بر کیلووات ساعت

NO_X (ppm): میزان اکسید نیتروژن بر حسب قسمت در میلیون

در معادلات (۴) و (۵)، مقدار O_2، ۲/۵ قرار داده می‌شود.

از دیگر موارد بررسی شده، مناسب بودن اندازه لوله‌های گاز تا مشعل‌ها بود. بدین منظور، ابتدا فاصله دورترین مصرف‌کننده گاز از کنتور اصلی که همان بویلر است، محاسبه گردید. سپس، با توجه به ظرفیت حرارتی مشعل‌ها، مقدار مصرف گاز آن‌ها بر حسب مترمکعب بر ساعت اندازه‌گیری شد.

بعد از تنظیم نسبت سوخت به هوا و با آنالیز دوباره‌ای که انجام گرفت، میزان اثربخشی اقدامات انجام شده بر روی عملکرد احتراق ارزیابی شد تا در صورت نیاز نسبت به اعمال اصلاحات و تغییرات دیگری نظیر تنظیم دمپر دودکش، اقدام مقتضی به عمل آید.

پس از انجام بازدیدهای مربوط به وضعیت و عملکرد موتورخانه، شرایط برای آنالیز گازهای خروجی بویلر مهیا می‌گردد. در این طرح از دستگاه آنالایزر گاز TESTO300-MI استفاده شده است. اصول کار بدین نحو است که با قرار دادن پروب مخصوص دستگاه در مسیر جریان گازهای اگزوز، پمپ آن ۰/۸ لیتر بر دقیقه گاز اگزوز را مکش می‌کند و با فیلتراسیون و جذب ذرات جامد گازها، آن‌ها را از روی سل‌های الکتروشیمیایی خود عبور داده و با استفاده از معادلاتی که در آن برنامه‌ریزی شده، مقادیر درصد هوای اضافه، راندمان خالص و ناخالص و شاخص‌ها محاسبه و ثبت می‌گردد.

در خاتمه به منظور ارزیابی عملکرد موتورخانه‌ها، شاخص‌های هشت‌گانه مندرج به شرح ذیل، مورد بررسی قرار گرفت. برآیند این ارزیابی در ساختمان‌های بازدید شده، گویای درصد انطباق موتورخانه‌ها با هر شاخص بود.

۱. ساختمان موتورخانه
۲. چیدمان اجزای موتورخانه
۳. وضعیت خط سوخت
۴. تناسب ظرفیت دیگ و مشعل
۵. وضعیت عملکرد مشعل
۶. وضعیت عملکرد دیگ
۷. وضعیت دودکش
۸. عملکرد احتراق

یافته‌ها

همان‌گونه که در جدول شماره (۳) مشاهده می‌شود، اصلی‌ترین پارامترها در فرآیند معاینه فنی موتورخانه‌ها با هدف بهینه‌سازی عملکرد احتراق عبارتند از آلاینده‌های گازی مونوکسیدکربن و اکسیدهای ازت، اکسیژن خروجی، هوای اضافی و راندمان احتراق.

در این جدول، مقادیر ثبت شده شاخص‌ها در دودکش موتورخانه‌های بازدید شده در دو مرحله پیش و پس از بهینه‌سازی ارایه گردیده است تا بتوان با مقایسه میان شرایط قبل با وضعیت بعد از معاینه فنی موتورخانه‌ها و تنظیم مشعل‌ها، نتیجه درست‌تر و منطقی‌تری نسبت به دستاوردهای حاصل از اجرای طرح معاینه فنی موتورخانه‌ها به دست آورد.

جدول ۳- مقادیر ثبت شده شاخص‌ها در دودکش موتورخانه‌های ساختمان‌های بازدید شده

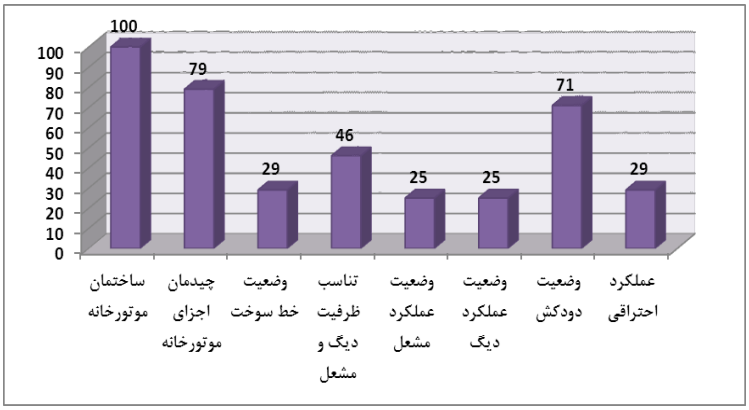
Table 3- Registered values of indicators in boiler houses chimney of visited buildings

ساختمان‌ها	شاخص‌ها (پارامترهای اندازه‌گیری شده)	CO (ppm)	NOx (ppm)	O_2 (درصد)	EX.Air (درصد)	راندمان احتراق
غیرمسکونی	پیش از بهینه‌سازی	۲۳۳۲	۲۹/۳	۷/۴	۶۹/۲	۷۹/۲
	پس از بهینه‌سازی	۴۴	۳۶/۴	۶/۶	۵۴/۳	۸۱/۷
مسکونی	پیش از بهینه‌سازی	۲۳۳/۷۵	۲۰/۹۱	۱۰/۳۱	۱۰۲/۵۲	۸۰/۸۱
	پس از بهینه‌سازی	۲۸/۵	۲۵/۵۱	۹/۰۳	۱۱۴/۹۸	۸۱/۲۱

با توجه به مقادیر ثبت شده در جدول بالا، خروجی مونوکسیدکربن، پیش از اقدام به عملیات بهینه‌سازی، در ساختمان‌های غیرمسکونی نزدیک به ۳۰ بار بیشتر از حدمجاز (در این میان ساختمان‌های اداری وضعیت بدتری دارند) و در ساختمان‌های مسکونی، ۳ برابر بیشتر از حدمجاز بوده است. پس از اقدام به بهینه‌سازی، افزون بر ۹۰ درصد کاهش در این گاز خروجی، مساله قابل تأملی به نظر می‌رسد. در مقابل کاهش میزان مونوکسیدکربن، غلظت اکسیدهای ازت تولیدی در موتورخانه‌ها روندی افزایش را نشان می‌دهد که دلیل اصلی آن، رابطه معکوس میان تولید این دو آلاینده گازی و بالا رفتن دمای احتراق به دلیل انجام احتراق کامل می‌باشد. درصد اکسیژن خروجی احتراق نیز که قبل از بهینه‌سازی در ساختمان‌های مسکونی، به‌طور میانگین در حدود ۱۰/۳ درصد بوده، پس از بهینه‌سازی به ۹ درصد و در موتورخانه‌های غیرمسکونی از میانگین ۷/۴ درصد به ۶/۶ درصد کاهش یافته و به آستانه مجاز خود نزدیک‌تر شده است.

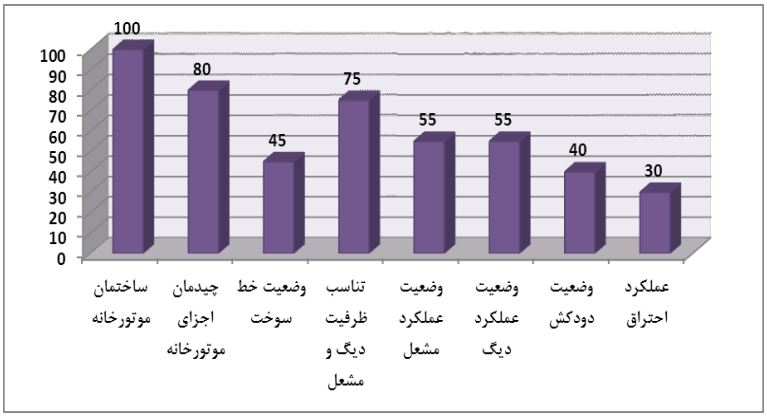
نتایج حاصل از انجام معاینه فنی موتورخانه‌ها نشان می‌دهد که در برخی ساختمان‌ها با وجود تنظیم نسبت هوا به سوخت و کاهش میزان مونوکسیدکربن تولیدی، میزان اکسیژن خروجی و هوای اضافی از مقادیر استاندارد خود فاصله بیشتری پیدا می‌کند. در واقع در این موتورخانه‌ها مشعل به نحوی تنظیم می‌شود که احتراق به شکل کامل‌تری انجام گرفته و دوده کمتری تولید گردد. در نتیجه، درصد هوای اضافی و متعاقباً اکسیژن ورودی مشعل بیشتر می‌شود.

مفاد استاندارد ملی ۱۶۰۰۰ در ارزیابی وضعیت موتورخانه‌ها، شاخص‌های هشت‌گانه ساختمان موتورخانه، چیدمان اجزای موتورخانه، وضعیت خط سوخت، تناسب ظرفیت دیگ و مشعل، وضعیت عملکرد مشعل، وضعیت عملکرد دیگ، وضعیت دودکش و عملکرد احتراق را تعیین کرده است. در نمودارهای شماره (۱) و (۲)، وضعیت عدم انطباق عملکرد موتورخانه‌ها با شاخص‌های هشت‌گانه مذکور ارایه شده است.



نمودار ۱- درصد عدم انطباق موتورخانه‌ها با شاخص‌های هشت‌گانه، ساختمان‌های غیرمسکونی

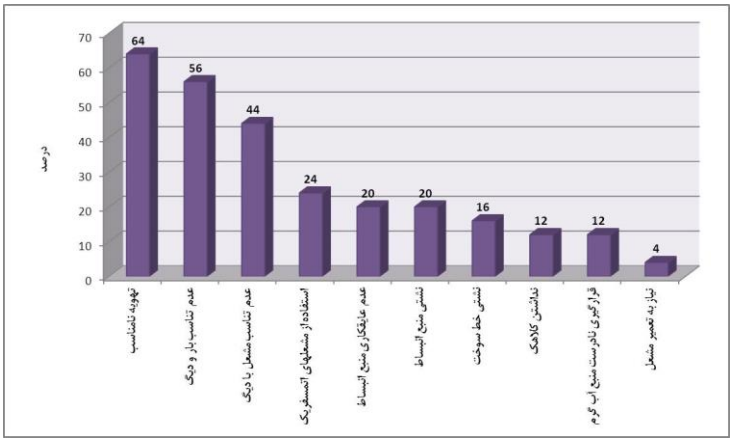
Figure 1 – The percentage of non-conformity of the boiler houses with eight indicators - Non-residential buildings



نمودار ۲- درصد عدم انطباق موتورخانه‌ها با شاخص‌های هشت‌گانه، ساختمان‌های مسکونی

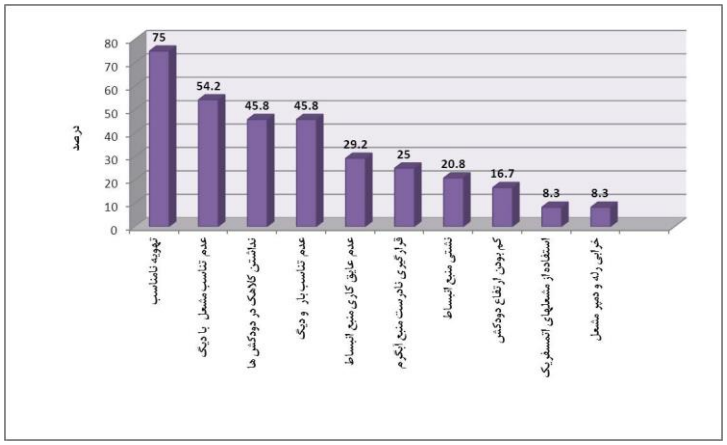
Figure 2 – The percentage of non-conformity of the boiler houses with eight indicators - residential buildings

ارزیابی‌ها از دلایل و عوامل عدم مطلوبیت و یا عدم انطباق عملکرد موتورخانه‌ها با شاخص‌های هشت‌گانه مندرج در استاندارد ملی ۱۶۰۰۰، وضعیت را در قالب نمودارهای ذیل نشان می‌دهد.



نمودار ۳- درصد موتورخانه‌های دارای معایب و اشکالات ساختاری، فنی و عملکردی بارز، ساختمان‌های غیرمسکونی

Figure 3 – The percentage of the boiler houses with structural, technical and functional problems – Non-residential buildings



نمودار ۴- درصد موتورخانه‌های دارای معایب و اشکالات ساختاری، فنی و عملکردی بارز، ساختمان‌های مسکونی

Figure 4 – The percentage of the boiler houses with structural, technical and functional problems, residential buildings

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به مشاهدات و نتایج حاصل از ارزیابی‌های انجام شده در ۵۴ دیگ از ۴۰ ساختمان بازدید شده در کلان‌شهر تهران و برآورد وضعیت ناهنجار ناشی از عملکرد نامطلوب موتورخانه‌ها، هم از نظر هدررفت انرژی که یک سرمایه ارزشمند ملی است و هم از جنبه تولید آلاینده‌های هوا، از تعمیم نتایج به دست آمده به کل موتورخانه‌های فعال در کلان‌شهر تهران و حتی کل کشور، می‌توان برآورد کرد که چه سرمایه هنگفت و چه روند مخربی در جریان است. در نقطه مقابل، با اجرای این طرح، می‌توان ۲۰ تا ۲۵ درصد در مصرف انرژی و تا ۹۰ درصد در مقدار مونوکسیدکربن تولیدی، تعدیل و کاهش به وجود آورد.

بررسی نتایج به دست آمده از اجرای سایر پروژه‌های مشابه از جمله بهینه‌سازی ۱۰۰۰ دستگاه مشعل خانگی در سال ۱۳۸۱ و یا بهینه‌سازی مصرف سوخت در موتورخانه‌های ۵هزار ساختمان مسکونی در سال ۱۳۸۳ توسط شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت مؤید عدم مطلوبیت شدید در وضعیت موتورخانه‌های فعال موجود در کشور است (۴). دستاورد اصلی طرح‌های یاد شده گویای آن است که چنان‌چه بتوان عملیات اصلاحی مورد نیاز، از جمله اصلاح مدار آب در گردش (شستشو، دوده‌زدایی و درزگیری دیگ آب گرم)، اصلاح مدار سوخت و احتراق (بازبینی و اصلاحات اولیه خط سوخت، سرویس مشعل و تنظیم دقیق مشعل) و اصلاح مسیر خروج محصولات احتراق (دودکش) را انجام داد، به‌طور میانگین ۲۱ درصد کاهش در مصرف سوخت اتفاق می‌افتد و غلظت مونوکسیدکربن که توسط دستگاه آنالایزر گاز به ثبت رسیده از ۸۱۱ ppm به ۵۴ ppm تقلیل می‌یابد(در حدود ۹۳ درصد کاهش در غلظت مونوکسیدکربن که با نتیجه تحقیق حاضر برابری می‌کند) (۴).

بررسی‌های به عمل آمده و تحلیل نتایج به دست آمده در طرح-های مشابه و تعمیم یافته‌ها به تمامی ساختمان‌های مسکونی کشور این پیش‌بینی را به دست می‌دهد که اجرای طرح بهینه-سازی موتورخانه‌ها، تنها در ساختمان‌های مسکونی کشور، موجب کاهش سالانه ۸۲۶,۸۱۷,۲۴۴ m^3 در مصرف گاز و کاهش سالانه ۴۲,۳۸۴,۹۸۰ کیلوگرم در تولید گاز مونوکسیدکربن خواهد شد. آمار گویای آن است که بیش از ۱۵ میلیون واحد مسکونی در کشور وجود دارد که میانگین مصرف گاز سالانه برای گرمایش آن‌ها ۳۰ مترمکعب به ازاء هر مترمربع است. این در حالی است که در کشورهای اروپایی با آب و هوایی سردتر از کشور ما، این سرانه در حدود ۵/۵ مترمکعب است. این اختلاف معنی‌دار، حجم بالای هدررفت سرمایه ملی را تایید می‌کند.

مقایسه نتایج این طرح با سایر طرح‌های مشابه نشان می‌دهد که عدم مطلوبیت موجود در عملکرد موتورخانه‌ها به دلایل عمده برشمرده در زیر است؛

۱. تنظیم نبودن مشعل
۲. کثیف بودن سوخت
۳. عدم تناسب دیگ و مشعل
۴. عدم تناسب ظرفیت دیگ با بار حرارتی ساختمان
۵. استفاده از مشعل‌های اتمسفریک به جای مشعل‌های دمنده‌دار
۶. فقدان تهویه مناسب در موتورخانه
۷. وضعیت نامناسب دودکش‌ها (نداشتن کلاهک، انحنای بیش از حد در مسیر دودکش‌ها و یا استقرار نامناسب دودکش‌ها بر روی پشت بام).

بدین ترتیب ضروری به نظر می‌رسد که بازنگری فرآیند احتراق در موتورخانه ساختمان‌های کشور، به یک طرح عاجل ملی تبدیل شود که این مقوله مستلزم اتخاذ تدابیر مالی مؤثر و قابل اجرا با هدف رفع عیوب و نواقص موجود در عملکرد موتورخانه‌هاست. در واقع اصلی‌ترین مشکل در فراگیر شدن طرح ملی معاینه فنی موتورخانه‌ها، تأمین اعتبار و هزینه‌های اجرایی است. طبق برآوردهای به عمل آمده در سال اجرای طرح (۱۳۹۱)، هزینه اصلاحات مورد نیاز به‌منظور بهینه‌سازی عملکرد موتورخانه‌ها و بدون احتساب هزینه بازرسی دو مرتبه در سال، به‌طور میانگین قریب ۵۰ میلیون ریال برای هر ساختمان بوده است. اگرچه شاید بتوان برای ساختمان‌های دولتی، در ردیف بودجه مصوب سالانه‌شان درصدی را به معاینه فنی موتورخانه و انجام اصلاحات مربوطه تخصیص داد، اما در بخش مسکونی و با توجه به لایه‌های مختلف فرهنگی و اقتصادی جامعه و با در نظر گرفتن شرایط نامساعد اقتصادی، امکان عدم استقبال عامه از این طرح وجود دارد. بنابراین با اتخاذ راه‌حل‌هایی از طرف دولت و در نظر گرفتن تسهیلات

مالی و بسته‌های تشویقی می‌توان شرایط اجرایی شدن طرح مذکور را محقق ساخت.

تشکر و قدردانی

این مقاله، حاصل طرح تحقیقاتی- اجرایی معاینه فنی موتورخانه ۴۰ ساختمان در هفته هوای پاک سال ۱۳۹۱ است که توسط شرکت بازرسی کیفیت و استاندارد ایران به انجام رسیده و نتایج آن در اختیار مراجع ذیربط، از جمله سازمان حفاظت محیط زیست و سازمان ملی استاندارد قرار دارد. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از زحمات و حمایت‌های مدیریت عامل این شرکت جناب آقای مهندس اشکان گلپایگانی و نیز گروه بازرسان طرح، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

۱- بوتکین. د و کلر. ا، ۱۳۸۲، شناخت محیط زیست: زمین، سیاره زنده، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۲- مبینی دهکردی. ع، حوری جعفری. ح و حمیدی‌نژاد. ع، ۱۳۸۸، ارزیابی شاخص‌های مدیریت انرژی در ایران و جهان، فصل‌نامه راهبرد، سال هجدهم، شماره ۵۱، ص۲۹۴-۲۷۱.

۳- دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو، ترازنامه انرژی سال۱۳۸۵.

۴- خوشنویسان. س، جمالی. م، صفری. م، ریاحی. م، دادخواه. ر و قربانی. م، ۱۳۸۸، پتانسیل‌های صرفه‌جویی سوخت و کاهش گازهای آلاینده در سیستم احتراق موتورخانه‌های خانگی، هفتمین همایش ملی انرژی.

۵- حاجیان. ر، خوشنویسان. س و ریاحی. م، ۱۳۹۰، بررسی تجربی تأثیر ازدیاد هوای اضافی بر افزایش CO در مشعل‌های خانگی، چهارمین کنفرانس سوخت و احتراق ایران، دانشگاه کاشان.

6- http://www.ifco.ir/building/ConservationHints/MotorPages.asp

۷- سامانه اینترنتی سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۱، استاندارد ملی ۱۶۰۰۰: معاینه فنی دوره‌ای با هدف بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش انتشار آلاینده‌های هوا – دستورالعمل بازرسی و آزمون دوره‌ای، ویرایش اول.