کد مقاله: CCI2094

دومین کنفرانس احتراق ایران
بهمن ماه 1386 - مشهد- دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

انجمن احتراق ایران

بهینه سازی مصرف سوخت ساختمان با کنترل بهینه پمپ های آب گرم چرخشی توسط سیستم های کنترل هوشمند موتورخانه در تابستان

مهدی بیدآبادی[1]،محمد صدیقی[2]، روزبه اسمعیلی فر[3]، واحد تحقیق و توسعه شرکت پیشران انرژی[4]

دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، نارمک
Bidabadi@iust.ac.ir

چکیده

در اکثر موتورخانه‌های کشور پمپ‌ها مانند مشعل‌ها با شیوه ترموستاتیک کنترل می‌گردند، و فارغ از شرایط فیزیکی ساختمان، شرایط آب و هوایی، کارکرد مشعل، و نیاز واقعی ساختمان در تمام لحظات به صورت استاتیکی کنترل می‌گردند. هدف از انجام این پروژه، تحقیقات میدانی بر روی عملکرد پمپ‌های سیرکولاسیون موتورخانه می‌باشد . یکی از بخش های پروژه به مقایسه نمودار آب گرم مصرفی در موتورخانه سنتی و هوشمند می پردازد که نشان می دهد دمای آب‌گرم مصرفی در سیستم های کنترل هوشمند نوسانات دمایی خیلی کمی دارد و می‌توان گفت دما در دمای $47\,^{\circ}c$ تثبیت شده و در محدوده آسایش ساکنین ساختمان است. کارکرد پمپ و مشعل نسبت به حالت ترموستاتیک خیلی کم-تر شده است. از طرفی میانگین دمای آب‌گرم چرخشی خیلی کم‌تر از حالت ترموستاتیک خود است. بخش بعدی این پروژه به پیدا کردن نقطه بهینه کارکرد پمپ و مقدار صرفه جویی در این سیستم ها می پردازد که با توجه به آزمایشات صورت گرفته، نقطه بهینه پارامتر پمپ نقطه 8 می باشد و مقدار صرفه جویی مصرف سوخت در نقطه بهینه نسبت به حالت ترموستاتیک 39٪ بدست می آید که نسبت به سایر روش های صرفه جویی عدد قابل توجه‌ای است.

واژه‌های کلیدی: موتورخانه های هوشمند - پمپ های آب‌گرم چرخشی- پارامتر پمپ

1- مقدمه

درصد بسیار بالایی از گاز، در ساختمان‌هایی که دارای تأسیسات حرارت مرکزی هستند، در موتورخانه‌ها مصرف می‌شود. از اصلی‌ترین اجزاء موتورخانه که کارکرد بهینه آن نقش عمده‌ای در صرفه جویی مصرف انرژی دارد، پمپ است. در اکثر موتورخانه‌های کشور پمپ‌ها مانند مشعل‌ها با شیوه ترموستاتیک کنترل می‌گردند، و فارغ از شرایط فیزیکی ساختمان، شرایط آب و هوایی، کارکرد مشعل، ونیاز واقعی ساختمان در تمام لحظات به صورت استاتیکی کنترل می‌گردند.

در مقاله حاضر علاوه بر بررسی معایب نحوه کنترل عملکرد پمپ در سیستم‌های رایج، به بررسی راهکارهای بهینه‌سازی عملکرد پمپ توسط سیستمهای کنترل هوشمند موتورخانه پرداخته خواهد شد و در این آزمایش سعی بر آن است که راهکار-هایی جدید جهت افزایش راندمان عملکردی پمپ و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان ارائه گردد.

1- عضو هیئت علمی - مهندسی مکانیک
2- عضو هیئت علمی - مهندسی مکانیک
3- دانشجو کارشناسی ارشد - مهندسی مکانیک
4- مبدع سیستم های کنترل هوشمند موتورخانه در ایران

Archive of SID

www.SID.ir

2- وسایل مورد آزمایش

در این آزمایش با اتصال یک دستگاه کنترل هوشمند موتورخانه در یک واحد آپارتمانی قدیمی، آزمایش را شروع می-کنیم. قدیمی بودن این موتورخانه به دلیل بافت قدیمی اکثر موتورخانه‌های رایج در ایران می‌باشد. در ادامه جهت دیتابرداری از نتایج، با اتصال یک لب‌تاپ به سیم‌های برق پمپ و مشعل و یک دماسنج در داخل موتورخانه و یک کامپیوتر در خارج موتور-خانه به بررسی کارکرد پمپ می‌پردازیم.

3- ویژگی‌های محل آزمایش

آزمایش مذکور در موتورخانه‌ی یک ساختمان مسکونی با 12 واحد خانوار و با قدمت 10 سال ساخت انجام می‌شود. این موتورخانه اتاقی 3×3 مترمربع با ویژگی‌های زیر می‌باشد:

1. یک عدد دیگ حرارتی فولادی
2. دو منبع آب‌گرم مصرفی از نوع دوجداره با حجم 400 لیتر
3. یک پمپ سیرکولاتور (پمپ آب‌گرم چرخشی) با قدرت $1/2\ HP$ یا $770\frac{Kcal}{h}$
4. یک مشعل گازی ایران رادیاتور با ظرفیت حرارتی $65884.18\frac{Kcal}{h}$

4- روش انجام آزمایش

همانطور که اشاره گردید در اکثر موتورخانه‌های کشور پمپ‌ها مانند مشعل‌ها با شیوه ترموستاتیک کنترل می‌گردند، و فارغ از شرایط فیزیکی ساختمان، شرایط آب و هوایی، کارکرد مشعل، و نیاز واقعی ساختمان در تمام لحظات به صورت استاتیکی کنترل می‌گردند. ولی در موتورخانه‌های هوشمند پمپ به صورت دینامیکی کنترل می‌شود که یکی از پارامترهای کنترل دینامیکی پمپ، پارامتر پمپ است.

در واقع پارامتر پمپ مقدار اختلاف دمایی است که پمپ تا زمان برآورد این اختلاف دما در حال کارکردن است. این اختلاف دما بین دو دمای آب‌گرم چرخشی (آب دیگ) و دمای آب‌گرم مصرفی (آب منبع) می‌باشد. یعنی وقتی پارامتر پمپ صفر باشد، پمپ کارکرد بالایی دارد و وقتی پارامتر پمپ 30 باشد کارکرد پمپ خیلی کم می‌باشد. در این آزمایش سعی بر آن است به ازای مقادیر مختلف پارامتر پمپ تغییرات دمای آب‌گرم چرخشی، دمای آب‌گرم مصرفی، دمای موتورخانه، کارکرد مشعل (مصرف سوخت) و در نهایت تغییرات کارکرد پمپ را مورد بررسی قرار دهیم. دوره متوسط زمانی این آزمایش برای هر پارامتر 2 روز می‌باشد. این روزها شامل روزهای پنج‌شنبه و جمعه نمی‌شود. این بدین دلیل است که روزهای مذکور دارای پیک مصرف بالایی هستند و نمی‌توان نتایج قابل قبولی از آن‌ها گرفت.

قسمت دوم آزمایش مربوط به بررسی کارکرد پمپ و تمامی پارامترهای فوق در موتورخانه‌های سنتی این ساختمان می-باشد که این امر با از مدار خارج‌کردن دستگاه کنترل هوشمند موتورخانه قابل اجرا است.

پس از مرحله دیتابرداری به وسیله کامپیوتر، می‌توان به کمک نرم‌افزار اکسل به بررسی نمودارهای مربوطه به ازای هر پارامتر پمپ پرداخت. این نمودارها، نمودارهای دما-زمان می‌باشند که تغییرات دمای آب‌گرم چرخشی، دمای آب‌گرم مصرفی و وضعیت روشن-خاموش شدن پمپ و مشعل را برحسب زمان و تاریخ دیتابرداری نشان می‌دهند. به عنوان مثال شکل 5-1 نمودار دما برحسب زمان را برای پارامتر پمپ 12 نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

نمودار 1- قسمتی از نمودار دما-زمان ساختمان با پارامتر پمپ 12 در زمان اوج مصرف

نمودار 1 قسمتی از نمودار دما-زمان را برای پارامتر پمپ 12 نشان می‌دهد که مربوط به ساعات اوج مصرف ساختمان می‌باشد. در ابتدای شکل به دلیل مصرف بالای ساختمان، دمای آب‌گرم مصرفی به طور تدریجی کاهش می‌یابد به همین جهت مشعل، شروع به کارکردن می‌کند تا دمای آب‌گرم چرخشی را برای افزایش انتقال حرارت در منبع بیافزاید. به همین دلیل در ابتدا اختلاف بسیار زیادی بین دمای دیگ و دمای منبع وجود دارد. از طرفی پمپ برای رساندن این اختلاف به 12 شروع به کارکردن می‌کند. این امر یعنی کم شدن اختلاف دما به واسطه چرخش آب در سیستم لوله‌کشی و افزایش دبی جرمی پمپ در نتیجه افزایش انتقال حرارت بین آب‌گرم چرخشی و آب‌گرم مصرفی می‌باشد و در انتها این اختلاف دما به مقدار پارامتر تعریفی پمپ می‌رسد و ثابت باقی می‌ماند. هر دو دمای آب‌گرم چرخشی و آب‌گرم مصرفی تا ساعات پیک مصرف بعدی تقریباً ثابت باقی می‌مانند.

علاوه برنمودار فوق، به کمک نرم‌افزار اکسل، می‌توان درصد میانگین کارکرد پمپ و مشعل (مصرف سوخت) و میانگین دمای آب‌گرم چرخشی و دمای آب‌گرم مصرفی را برای هر پارامتر پمپ به دست آورد. به عنوان مثال در شکل زیر که قسمتی از دیتابرداری است می‌تواند درصد میانگین کارکرد پمپ و مشعل و میانگین دماها را برای پارامتر پمپ 12 نشان داد.

۱	۱	۷۷	۱۰	۲۲
۱	۰	۶۸	۲۰	۴۹
۱	۰	۶۶	۲۰	۴۶
۱	۱	۶۶	۲۰	۴۶
۱	۱	۶۶	۲۰	۴۵
۱	۱	۶۶	۲۰	۴۵
۱	۱	۶۸	۲۰	۴۷
۱	۱	۶۸	۲۰	۴۸
۱	۱	۷۰	۲۰	۵۰
۱	۰	۷۰	۲۰	۴۸
۰.۳۹۲۷۹۵۱۳۹	۰.۲۴۹۵۶۵۹۷۲	۵۷.۷۹۵۱۳۸۸۹		۴۶.۹۶۴۸۴۳۷۵
کارکرد پمپ	مصرف سوخت	میانگین دمای آب چرخشی		میانگین دمای آب مصرفی

شکل 2- قسمتی از نتایج دیتابرداری مربوط به پارامتر پمپ 12

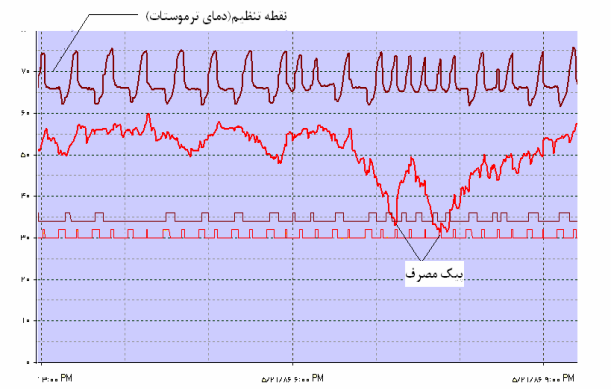
همانطور که در شکل 2 مشاهده می‌گردد ستون‌ها به ترتیب از قسمت چپ عبارتند از دمای آب‌گرم مصرفی، دمای محیط بیرون (که این دستگاه دمای بالای $20\,^{\circ}c$ را همان 20 نمایش می‌دهد)، دمای آب‌گرم چرخشی، کارکرد مشعل (که وقتی روشن باشد عدد 1 و وقتی خاموش باشد عدد 0 را نمایش می‌دهد)، کارکرد پمپ (به همان ترتیب کارکرد مشعل).

5- مقایسه نمودارهای موجود در سیستم‌های سنتی و کنترل هوشمند موتورخانه

شکل3 نمودار دما-زمان ساختمان را در حالتی نشان می‌دهد که سیستم کنترل هوشمند از مدار خارج است. یعنی این موتورخانه به شیوه ترموستاتیک کار می‌کند.

Archive of SID

www.SID.ir



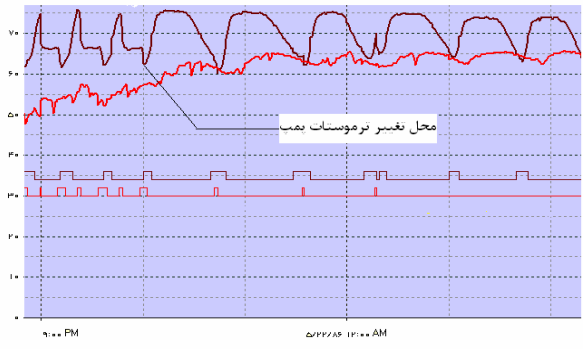
نمودار 3- نمودار دما- زمان ساختمان در حالت ترموستاتیک موتورخانه

میزان درجه حرارت آب‌گرم چرخشی و آب‌گرم مصرفی در موتورخانه‌های رایج به صورت دستی و با تنظیم درجه حرارت ترموستات دیگ و پمپ‌های سیرکولاسیون انجام می‌گردد که معمولاً درجه ترموستات‌ها برای تأمین گرمایش مداوم، بر روی یک عدد ثابت بالا قرار می‌گیرند. که با توجه به تغییرات دمای هوا درطول شبانه‌روز، دمای داخل ساختمان از محدوده آسایش تجاوز کرده و موجب مصرف بیهوده سوخت و انرژی می‌گردد[1].

در این حالت مشعل فقط تابعی از دمای آب‌گرم چرخشی است و مستقل از دمای آب‌گرم مصرفی، دمای محیط بیرون ساختمان و الگوی مصرف ساختمان کار می‌کند. به همین جهت مشعل به صورت پریودیکی روشن و خاموش می‌شود. پس کارکرد بیهوده و غیرمتعال مشعل‌ها و پمپ‌های آب‌گرم چرخشی و از طرفی عدم تثبیت دمای آب‌گرم مصرفی را انتظار داریم.

در این حالت ترموستات دیگ را روی درجه $70\,^{\circ}c$ می‌گذاریم. همانطور که از شکل بالا برمی‌آید محدوده‌ی دمای آب‌گرم چرخشی بین $65\,^{\circ}c$ تا $75\,^{\circ}c$ می‌باشد که دمای $70\,^{\circ}c$ ترموستات دیگ را تصدیق می‌کند. محدوده دمایی $\pm 5\,^{\circ}c$ را خطای هیسترسیز می‌نامند. در عمل، دمای روشن‌شدن کمی کمتر از نقطه تنظیم و دمای خاموش‌شدن، کمی بیشتر از نقطه تنظیم است تا از ایجاد اغتشاش و فرسایش ناشی از روشن و خاموش‌شدن سریع مشعل در مواردی که دما نزدیک به مقدار مطلوب است، ممانعت شود. در ضمن در شکل بالا پیک مصرفی ساختمان بین ساعت 6 تا 9 بعدازظهر قابل مشاهده است.

نمودار 4 نموداری دیگر از حالت ترموستاتیک دیگ (مشعل) و پمپ آب‌گرم چرخشی می‌باشد که تغییر حالت ترموستات پمپ را در آن مشاهده می‌کنیم.



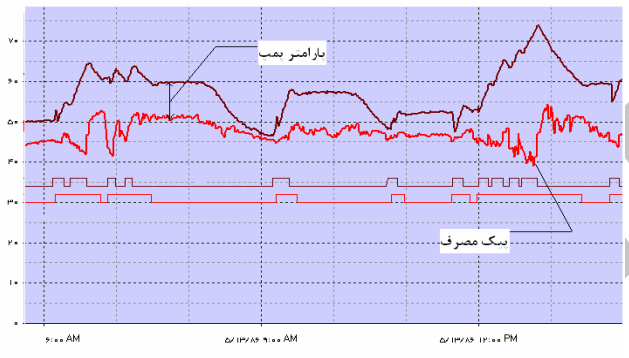
نمودار 4-نمودار دما-زمان ساختمان در حالت عدم ترموستاتیک موتورخانه در هنگام تغییر ترموستات پمپ

در این قسمت از آزمایش، درجه ترموستات پمپ را در حالت ثابت بودن درجه ترموستات مشعل بروی درجه $70\,^{\circ}c$، تغییر می‌دهیم. این تغییر، از $65\,^{\circ}c$ به $55\,^{\circ}c$ همانطور که در شکل4 مشاهده می‌شود، در ساعت 10 شب می‌باشد البته از تغییر نمودار دمای آب‌گرم چرخشی نیز می‌توان متوجه تغییر مذکور شد. این تغییر یعنی کاهش ترموستات پمپ، باعث افزایش مدت

Archive of SID
www.SID.ir

زمان بیشترین مقدار دمای آب‌گرم چرخشی می‌شود. این بدین دلیل است که با کاهش کارکرد پمپ آب‌گرم چرخشی، آب در دیگ حبس می‌شود و آب‌گرم چرخشی برای مدت بیشتری در دمای ثابتی باقی خواهد ماند.

یکی از معایب سیستم ترموستاتیک، مستقل بودن دمای آب‌گرم چرخشی از الگوی مصرف ساختمان و دمای آب‌گرم مصرفی می‌باشد. با توجه به این مطلب در نیمه شب با وجود عدم مصرف آب‌گرم، مشعل برای نگه‌داشتن دمای آب‌گرم چرخشی حول $70\,^{\circ}c$ بیهوده کار می‌کند و باعث هدر رفتن انرژی (سوخت و برق) می‌شود و در هنگام صبح دمای آب‌گرم برای مصرف بسیار بالا است که این دما خارج از محدوده دمای آسایش انسان است و باعث ایجاد سوختگی‌های سطحی پوست می‌شود. نمودار 5 نمودار دما-زمان ساختمان در هنگام استفاده از سیستم کنترل هوشمند را نشان می‌دهد.

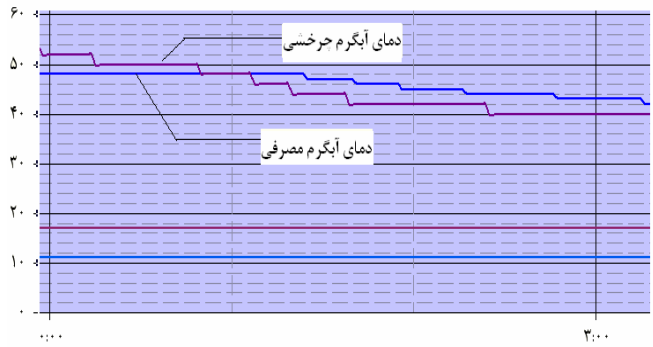


نمودار 5- نمودار دما-زمان ساختمان در سیستم کنترل هوشمند

در نمودار بالا اصطلاح پارامتر پمپ مربوط به کنترل هوشمند موتورخانه نشان داده شده است. در واقع پارامتر پمپ مقدار اختلاف دمایی است که پمپ تا زمان برآورد این اختلاف دما در حال کارکردن است. این اختلاف دما بین دو دمای آب‌گرم چرخشی (آب دیگ) و دمای آب‌گرم مصرفی (آب منبع) می‌باشد[3].

همانطور که در نمودار 5 مشاهده می‌شود دمای آب‌گرم چرخشی خیلی کمتر از دمای آب‌گرم چرخشی در حالت سنتی (در حالت عدم استفاده از سیستم کنترل هوشمند) می‌باشد در صورتیکه دمای آب‌گرم مصرفی تقریباً ثابت است که این اشاره به ویژگی مهم سیستم کنترل هوشمند با عنوان " تثبیت محدوده آسایش حرارتی ساکنین ساختمان" اشاره دارد. سیستم مذکور مشکلی که در شب در سیستم سنتی اشاره شد را ندارد چون در این سیستم دمای آب‌گرم مصرفی تابعی از الگو مصرف ساختمان، دمای آب‌گرم مصرفی و دمای محیط بیرون ساختمان می‌باشد و پمپ‌ها و مشعل‌ها در حد لزوم کار می‌کنند. به همین دلیل صرفه‌جویی بالای انرژی را در پمپ و مشعل شاهدیم[2].

نمودار6، نمودار دما-زمان ساختمان در سیستم کنترل هوشمند در هنگام شب را نشان می‌دهد.

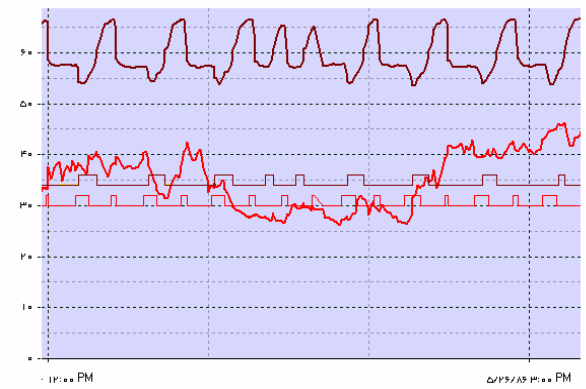


نمودار 6-نمودار دما-زمان ساختمان در سیستم کنترل هوشمند در هنگام شب

Archive of SID
www.SID.ir

همانطور که در نمودار 6 مشاهده می‌شود در هنگام شب به دلیل عدم مصرف آب‌گرم مصرفی، نه تنها دمای آب‌گرم چرخشی بسیار کم‌تر از مقدار دمای آب‌گرم چرخشی در سیستم ترموستاتیک در شب می‌باشد حتی پس از ساعت 1 بامداد، دمای آب‌گرم چرخشی پایین‌تر از دمای آب‌گرم مصرفی قرار گرفته است. با توجه به شکل بیش از 3 ساعت است که مشعل و پمپ کارکردی ندارند که این خود باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان مسکونی می‌شود.

نمودار 7 یک نمونه از نمودار در موتورخانه سنتی در روز جمعه یعنی زمان پیک مصرف، می‌باشد.

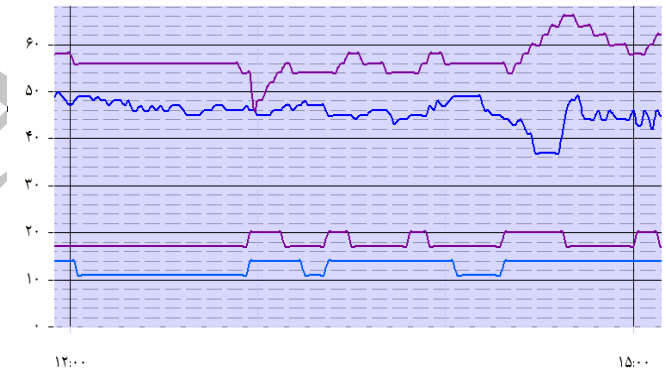


نمودار 7-نمودار دما-زمان ساختمان در سیستم سنتی در هنگام پیک مصرف (روز جمعه)

در شکل 7 به دلیل حالت ترموستاتیک بودن موتورخانه، دمای آب‌گرم چرخشی حول درجه $60\,^{\circ}c$ مستقل از دمای آب-گرم مصرفی و الگوی مصرف ساختمان، نوسان می‌کند. از طرفی دمای آب‌گرم مصرفی خیلی نوسان دارد و به حالت تثبیت دمایی نمی‌رسد. با توجه به شکل 7 کمترین دمای آب‌گرم مصرفی $27\,^{\circ}c$ در ساعت 2 بعدازظهر می‌باشد که این آب‌گرم به دلیل کم بودن دمایش مقبول ساکنین ساختمان نخواهد بود.

از نمودار 7 این برمی‌آید که پمپ و مشعل بعد از 80 دقیقه روشن بودن و کار کردن توانسته‌اند دمای آب‌گرم مصرفی را به دمایی قابل قبول برسانند که این زمان مطمئناً زمان زیادی خواهد بود که خارج از حوصله ساکنین می‌باشد.

نمودار 8 یک نمونه از نمودار در موتورخانه هوشمند در روز جمعه یعنی زمان پیک مصرف، هم‌زمان با نمودار7 می‌باشد.



نمودار 8- نمودار دما-زمان ساختمان در سیستم کنترل هوشمند در هنگام پیک مصرف (روز جمعه)

با توجه به نمودار فوق ما قادریم پیک مصرف در سیستم کنترل هوشمند را با پیک مصرف در سیستم سنتی مقایسه کنیم.

در این سیستم یعنی سیستم کنترل هوشمند، دمای آب‌گرم چرخشی پایین‌تر از دمای $60\,^{\circ}c$ می‌باشد ولی در سیستم سنتی، میانگین دما تقریباً $60\,^{\circ}c$ می‌باشد. به جزء یک مورد در نمودار بالا دمای آب‌گرم مصرفی به حالت تثبیت رسیده است.

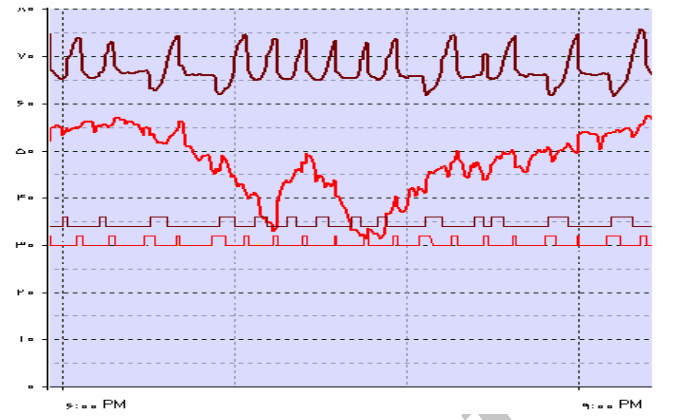
Archive of SID
www.SID.ir

این مورد مربوط به پیک مصرف ساختمان است که در ساعت 2/5 بعد از ظهر به وجود آمده است. اما با توجه به شکل فوق پمپ و مشعل کمتر از مدت 20 دقیقه توانسته است دمای آب‌گرم مصرفی را به دمای مطلوب و ثابتی برساند.

در ضمن با توجه به نمودار 7 کارکرد مشعل و پمپ کمتر شده است و باعث صرفه‌جویی بالای انرژی شده است.

6- مقایسه نمودار دمای آب‌گرم مصرفی در موتورخانه های سنتی و هوشمند

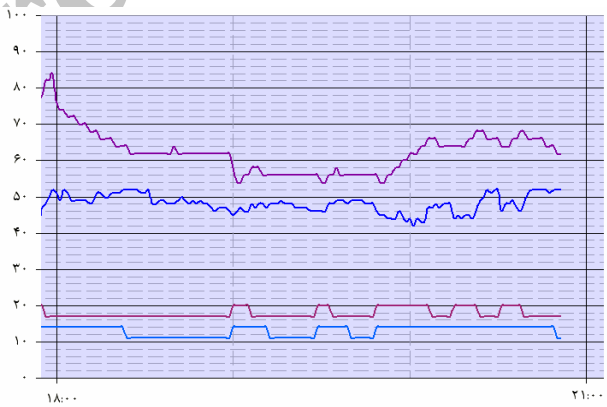
شکل 9 یک نمونه از نمودار دما-زمان در موتورخانه سنتی از ساعت 6 تا 9 شب می‌باشد.



نمودار 9- نمودار دمای آب‌گرم مصرفی در سیستم موتورخانه سنتی

در شکل 9 دمای آب‌گرم مصرفی بسیار نوسان دارد و از ساعت 7 تا 8 شب پیک‌های مصرف قابل مشاهده است. از طرفی کارکرد بالای پمپ و مشعل نیز نتوانسته تثبیت دمای آب‌گرم مصرفی را به همراه داشته باشد. دمای آب‌گرم چرخشی بدون توجه و مستقل از دمای آب‌گرم مصرفی و به شیوه ترموستاتیک کار می‌کند. در کل این پمپ و مشعل نتوانسته‌اند آب‌گرم مصرفی را در ساعت 7 تا 8 تأمین کنند.

شکل 10 یک نمونه از نمودار دما-زمان در موتورخانه کنترل هوشمند از ساعت 6 تا 9 شب را نشان می‌دهد. این ساعت همانند مورد ترموستاتیک خود در شکل 9 می‌باشد.



نمودار 10- نمودار دمای آب‌گرم مصرفی در سیستم هوشمند موتورخانه

Archive of SID

www.SID.ir

همانطور که در شکل 10 مشاهده می‌شود دمای آب‌گرم مصرفی نوسانات دمایی خیلی کمی دارد و می‌توان گفت دما در دمای $47\,^{\circ}c$ تثبیت شده و در محدوده آسایش ساکنین ساختمان است. کارکرد پمپ و مشعل نسبت به حالت ترموستاتیک خیلی کم‌تر شده است. از طرفی میانگین دمای آب‌گرم چرخشی خیلی کم‌تر از حالت ترموستاتیک خود است.

7- زمان کارکرد پمپ و مشعل در موتورخانه سنتی و کنترل هوشمند

کنترل پمپ و مشعل در موتورخانه‌های سنتی با ترموستات می‌باشد. شروع به کار مشعل هنگامی است که دمای آب دیگ به مقدار نقطه تنظیم که همان دمای آکوستات مستغرق می‌باشد، برسد و از طرفی شروع پمپ زمانی است دمای آب برگشتی به مقدار نقطه تنظیم که همان دمای ترموستات جداری می‌باشد، برسد. البته این مقدار یعنی دمای برگشت به راندمان منبع بستگی دارد. اگر راندمان منبع بالا باشد انتقال حرارت به منبع آب‌گرم مصرفی بالا است و دمای برگشتی بسیار کم‌تر از دمای دیگ می‌باشد و با کارکرد کم پمپ و مشعل آب‌گرم مصرفی سریع بالا می‌رود و باعث صرفه‌جویی در انرژی (سوخت و برق) می‌شود ولی اگر راندمان منبع پایین باشد آنگاه انتقال حرارت بین آب‌گرم چرخشی و آب‌گرم مصرفی کم خواهد بود و دمای آب برگشتی نزدیک به آب دیگ می‌باشد در نتیجه آب‌گرم مصرفی پس از کارکرد بسیار بالای پمپ و مشعل تأمین خواهد شد.

در سیستم‌های کنترل هوشمند کارکرد مشعل و پمپ متفاوت از موتورخانه سنتی می‌باشد. به این ترتیب که کارکرد مشعل تابعی از دمای آب‌گرم مصرفی است. به این صورت که وقتی دمای آب‌گرم مصرفی از ساعت 6 صبح تا 12 شب پایین‌تر از $46\,^{\circ}c$ شد دستگاه فرمان روشن شدن را به مشعل می‌دهد و اگر دمای آب‌گرم مصرفی بالاتر از دمای مذکور شد دستگاه فرمان خاموش شدن به مشعل را می‌دهد. دمای فوق را نقطه تنظیم بالا می‌گویند که این دما در دستگاه قابل تغییر می‌باشد. تثبیت ماندن دمای آب‌گرم مصرفی یکی از ویژگی‌های این دستگاه است که در نتایج دیتابرداری این موضوع کاملاً قابل وضوح است. از زمان 12 شب تا 6 صبح دستگاه دمای مذکور را به دلیل پایین بودن بار گرمایی در ساختمان به دمای $42\,^{\circ}c$ تغییر می‌دهد. این کار باعث صرفه‌جویی در انرژی می‌شود[1].

کارکرد پمپ در سیستم‌های کنترل هوشمند موتورخانه به این صورت است که تا زمانی پمپ کار می‌کند که بتواند اختلاف آب‌گرم چرخشی و دمای آب‌گرم مصرفی را به مقدار تعریف شده در دستگاه برساند. همان طور که در قبل اشاره شد این مقدار تعریف شده را پارامتر پمپ می‌نامیم که مقادیر $0\text{-}30\,^{\circ}c$ را در دستگاه به خود اختصاص داده است[1].

8- نتایج آزمایش

طبق مطالب گذشته، آزمایش بر این نحو بود که برای بررسی کارکرد پمپ و مشعل در موتورخانه کنترل هوشمند پارامتری به نام پارامتر پمپ را تغییر می‌دادیم. در این آزمایش ما 15 پارامتر پمپ را مورد بررسی قرار داده‌ایم. جدول 2 نمایانگر تغییرات مذکور می‌باشد که علاوه بر تغییرات کارکرد پمپ، تغییرات کارکرد مشعل، تغییرات میانگین دمای آب‌گرم چرخشی، تغییرات میانگین دمای آب‌گرم مصرفی و تغییرات دمای موتورخانه را شاهد هستیم.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 2- نتایج آزمایش به ازای پارامترهای مختلف پمپ

پارامتر پمپ	کارکرد پمپ ٪	کارکرد مشعل ٪	میانگین دمای آبگرم چرخشی $^{\circ}c$	میانگین دمای آبگرم مصرفی $^{\circ}c$	دمای موتورخانه $^{\circ}c$
28	15.36	28.62	58.28	46.03	40
20	32.07	20.55	57.74	47.6	36
14	36.91	22.95	59.14	46.73	36
13	44.56	25.56	58.71	46.96	38
12	39.28	24.95	57.79	46.96	37
11	38.69	23.61	58.4	46.74	37
10	36.89	24.04	57.68	47.11	35
8	44.12	24.6	57.26	46.66	39
7	50.32	25.92	59.46	46.38	38
6	50.09	20.09	57.29	46.75	37
5	52.36	24.48	58.39	46.01	38
4	56.99	19.89	55.46	46.19	36
3	72.85	24.15	56.48	46.89	38
2	77.43	25.87	57.37	46.74	36
پمپ دایم	100	33.93	57.52	46.63	35

حال بایستی انرژی (سوخت) مصرفی پمپ و مشعل را به دست آورد. برای نیل به این مقصود ابتدا بایستی میزان انرژی مصرفی مشعل و پمپ را به ازای هر پارامتر به دست آورد.

$$\text{میزان انرژی مصرفی مشعل} = (\frac{Kcal}{h}) \text{ظرفیت حرارتی مشعل} \times \text{کارکرد مشعل} \times 24/100 \quad (1)$$

$$\text{میزان انرژی مصرفی پمپ} = (\frac{Kcal}{h}) \text{قدرت پمپ} \times \text{کارکرد پمپ} \times 24/100 \times 5 \quad (2)$$

در فرمول 2، عدد 5 بیانگر این که در نیروگاه گازی کشور به ازای 1 کیلووات برق تولیدی، 5 کیلووات گاز مصرف می‌شود. این بدان دلیل است که بازده نیروگاه‌های گازی کشور در حدود 20٪ می‌باشد. مجموع این دو انرژی مصرفی که بر حسب نوع سوخت موتورخانه یعنی گاز، بیان شده‌است. مجموع انرژی مشعل و پمپ بر حسب کیلوکالری می‌باشد.فرمول 3 بیانگر مجموع انرژی (سوخت) مصرفی مشعل و پمپ برواحد تومان می‌باشد. (هر متر مکعب گاز 20 تومان است و ارزش حرارتی آن برابر با $9500 \frac{Kcal}{m^3}$ می‌باشد).جدول 3 بیانگر محاسبات فوق به ازای هر پارامتر است.

(3) (مترمکعب/تومان)20×ارزش حرارتی سوخت($\frac{Kcal}{m^3}$)/ مجموع انرژی مصرفی(کیلوکالری))= مجموع انرژی مصرفی (تومان)

Archive of SID

www.SID.ir

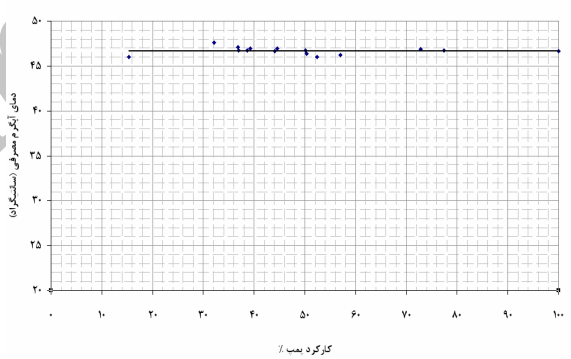
جدول 3- نتایج بدست آمده از هر پارامتر پمپ

پارامتر پمپ	میزان انرژی مصرفی در مشعل در روز (کیلوکالری)	میزان انرژی (سوخت) مصرفی در پمپ در روز (کیلوکالری)	مجموع انرژی مصرفی مشعل و پمپ در روز (کیلوکالری)	مجموع انرژی مصرفی مشعل و پمپ در روز (تومان)
28	452545.2556	14192.64	466737.8956	982.606096
20	324940.7758	29632.68	354573.4558	746.4704333
14	362890.0634	34104.84	396994.9034	835.778744
13	404159.9138	41173.44	445333.3538	937.5439027
12	394514.4698	36294.72	430809.1898	906.9667154
11	373326.1176	35749.56	409075.6776	861.2119528
10	380125.3649	34086.36	414211.7249	872.024684
8	388980.1987	40766.88	429747.0787	904.730692
7	409852.3069	46495.68	456347.9869	960.732604
6	317667.1623	46283.16	363950.3223	766.2112048
5	387082.7343	48380.64	435463.3743	916.7649985
4	314504.7216	52658.76	367163.4816	772.9757507
3	381864.7073	67313.4	449178.1073	945.6381206
2	409061.6968	71545.32	480607.0168	1011.804246
پمپ دایم	536508.0546	92400	628908.0546	1324.016957

9- نمودارهای مربوط

از نتایج مذکور نمودارهای زیر بدست می‌آید:

1. نمودار دمای آب‌گرم مصرفی بر حسب کارکرد پمپ



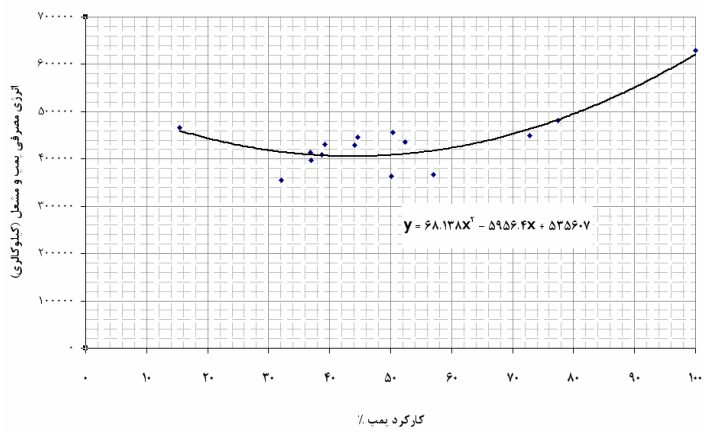
نمودار 11- نمودار دمای آب‌گرم مصرفی برحسب کارکرد پمپ

در نمودار11 با تغییرات کارکرد پمپ، تثبیت دمای آب‌گرم مصرفی را شاهد هستیم که خود بیانگر ویژگی منحصر به فرد "تثبیت محدوده آسایش ساکنین ساختمان" می‌باشد. دما تقریباً در دمای $47\,^{\circ}c$ تثبیت شده است.

Archive of SID
www.SID.ir

2. نمودار مجموع انرژی کل در موتورخانه بر حسب کارکرد پمپ

مهم‌ترین نمودار این پروژه جهت بهینه‌سازی کارکرد پمپ، نمودار 12 می‌باشد که در زیر نشان داده شده است. این نمودار تغییرات انرژی (سوخت) مصرفی پمپ و مشعل را بر حسب کارکرد پمپ نشان می‌دهد.



نمودار 12-نمودار مجموع انرژی کل در موتورخانه برحسب کارکرد پمپ

در این نمودار با توجه به شکل و معادله آن، یک نقطه بهینه‌ای وجود دارد. این نقطه بهینه، نقطه‌ای است که کارکرد پمپ را در کم‌ترین انرژی مصرفی ساختمان نشان می‌دهد. یعنی اگر کارکرد پمپ در مقدار بهینه باشد شاهد بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان هستیم. حال با توجه به معادله‌ی نمودار ما می‌توانیم این نقطه بهینه (مینیمم) کارکرد پمپ را بدست بیآوریم. معادله نمودار 12 به صورت زیر است:

$$y = 68.138x^2 - 5956.4x + 535607 \quad (4)$$

که در آن:

x: کارکرد پمپ (٪)

y: انرژی کل مصرفی در موتورخانه ($Kcal$)

حال با مشتق گرفتن از معادله 4 می‌توان نقطه بهینه را بدست آورد.

$$y' = 2 \times 68.138x - 5956.4 = 0 \quad (5)$$

که مقادیر فوق به شکل زیر در می‌آید:

y=405434.77 ($Kcal$) و x =٪43/70

10- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب ذکر شده فوق، نقطه کارکرد پمپ یعنی (x =٪43/70) بسیار نزدیک به حالت پارامتر پمپ 8 می‌باشد. پس اگر پارامتر پمپ در سیستم‌های کنترل هوشمند موتورخانه در این ساختمان مسکونی برابر 8 باشد مصرف انرژی در ساختمان بهینه می‌شود و باعث به هدر رفتن انرژی اضافی نمی‌شود. در ضمن در این پارامتر طبق دمای آب‌گرم مصرفی برابر با $46/66\,^{\circ}c$ می‌باشد که در محدوده آسایش ساکنین است.

این ساختمان، قبل از نصب دستگاه کنترل هوشمند موتورخانه با سیستم ترموستاتیک کار می‌کرد که همیشه در تابستان، ترموستات مشعل و پمپ به ترتیب بروی دو عدد $65\,^{\circ}c$ و $55\,^{\circ}c$، یعنی با $10\,^{\circ}c$ اختلاف، تنظیم می‌شد. در این آزمایش ما طی 2 روز در حالت ترموستاتیک دیتابرداری کردیم که نتایج آن در جدول 4 آمده است. در این آزمایش سعی بر آن است میزان صرفه‌جویی موتورخانه هوشمند نسبت به موتورخانه سنتی را در این ساختمان بدست بیآوریم.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 4- نتایج حالت ترموستاتیک ساختمان

ترموستات مشعل $^{\circ}c$	ترموستات پمپ $^{\circ}c$	کارکرد مشعل ٪	کارکرد پمپ ٪	میانگین دمای آب- گرم چرخشی $^{\circ}c$	میانگین دمای آب‌گرم مصرفی $^{\circ}c$
65	55	41/11	59/89	65/98	46/51

با توجه به اعداد جدول 4 می‌توان انرژی (سوخت) مصرفی را بدست آورد. نتایج این محاسبات در جدول 5 آمده است. کارکرد پمپ و مشعل و میانگین دمای آب‌گرم چرخشی بسیار بیشتر از حالت کنترل هوشمند می‌باشد ولی میانگین دمای آب- گرم مصرفی در محدوده آسایش ساکنین می‌باشد.

جدول 5- نتایج بدست آمده حالت ترموستاتیک ساختمان

انرژی مصرفی مشعل (کیلوکالری)	انرژی مصرفی پمپ (کیلوکالری)	مجموع انرژی مصرفی در روز (کیلوکالری)	مجموع انرژی مصرفی در روز (تومان)
650039/6736	55338/36	705378/0336	1485/0063

صرفه‌جویی مذکور نسبت به حالت بهینه در هوشمند یعنی پارامتر پمپ 8 به شکل زیر می‌باشد:

$$\text{درصد صرفه‌جویی} = \frac{705378.0336 - 429747.0787}{705378.0336} = \%39 \qquad (6)$$

با توجه به فرمول 6 مقدار صرفه‌جویی سیستم کنترل هوشمند موتورخانه در پارامتر 8 نسبت به حالت ترموستاتیک و سنتی 39٪ می‌باشد که عدد مذکور نسبت به روش‌های دیگر بهینه‌سازی عدد قابل توجه‌ای است. این مقدار صرفه‌جویی در تولید و مصرف انرژی است. در ضمن باعث صرفه‌جویی مقدار $75\,m^3$ گاز در روز هم می‌شود.

مراجع

1- مطالعات شرکت محترم پیشران انرژی تولیدکننده سیستم‌های کنترل هوشمند موتورخانه
2- اندازه‌گیری و کنترل حرارت با استفاده از میکروکنترل‌ها، دوغان ابراهیم، مترجم: پوپک محبت‌زاده، کانون نشر علوم
3- Pump Handbook, Igor J. Karassik, Joseph P. Messina, Third Edition, McGRAW-HILL, 2001

Archive of SID

www.SID.ir