

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

مهدی بیدآبادی^۱، محمد صدیقی^۲، روزبه اسمعیلی فر^۳، واحد تحقیق و توسعه شرکت پیشران انرژی^۴

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

چکیده

در اکثر موتورخانه های کشور پمپ ها مانند مشعل ها با شیوه ترموستاتیک کنترل می گردند، و فارغ از شرایط فیزیکی ساختمان، شرایط آب و هوایی، کارکرد مشعل، و نیاز واقعی ساختمان در تمام لحظات به صورت استاتیکی کنترل می گردند. هدف از انجام این پروژه، تحقیقات میدانی بر روی عملکرد پمپ های سیرکولاسیون موتورخانه می باشد. یکی از بخش های پروژه به مقایسه نمودار آب گرم مصرفی در موتورخانه سنتی و هوشمند می پردازد که نشان می دهد دمای آب گرم مصرفی در سیستم های کنترل هوشمند نوسانات دمایی خیلی کمی دارد و می توان گفت دما در دمای 47°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 آب گرم چرخشی خیلی کم تر 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 توجهی است.

واژه های کلیدی: موتورخانه های هوشمند - پمپ های آب گرم چرخشی - پارامتر پمپ

1- مقدمه

درصد بسیار بالایی از گاز، در ساختمان هایی که دارای تأسیسات حرارت مرکزی هستند، در موتورخانه ها مصرف می شود. از اصلی ترین اجزاء موتورخانه که کارکرد بهینه آن نقش عمده ای در صرفه جویی مصرف انرژی دارد، پمپ است. در اکثر موتورخانه های کشور پمپ ها مانند مشعل ها با شیوه ترموستاتیک کنترل می گردند، و فارغ از شرایط فیزیکی ساختمان، شرایط آب و هوایی، کارکرد مشعل، و نیاز واقعی ساختمان در تمام لحظات به صورت استاتیکی کنترل می گردند. در مقاله حاضر علاوه بر بررسی معایب نحوه کنترل عملکرد پمپ در سیستم های رایج، به بررسی راهکارهای بهینه سازی عملکرد پمپ توسط سیستم های کنترل هوشمند موتورخانه پرداخته خواهد شد و در این آزمایش سعی بر آن است که راهکارهایی جدید جهت افزایش راندمان عملکردی پمپ و بهینه سازی 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

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 موتورخانه 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 آب گرم مصرفی از نوع دوجداره با حجم 400 لیتر

3. یک پمپ سیرکولاتور (پمپ آب گرم چرخشی) با قدرت $1/2$ HP یا $770 \frac{Kcal}{h}$

4. یک مشعل گازی ایران رادیاتور با ظرفیت حرارتی $65884.18 \frac{Kcal}{h}$

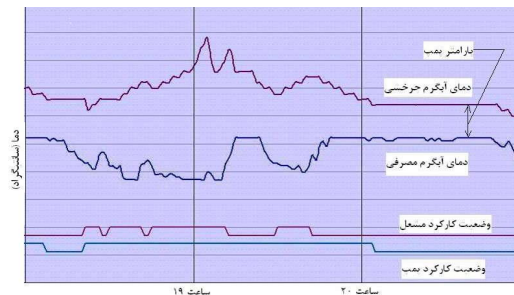
4- روش انجام آزمایش

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 آب گرم چرخشی (آب دیگ) و دمای آب گرم 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 آب گرم چرخشی، دمای آب گرم 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 می‌باشد که این امر با از مدار خارج کردن 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 آب گرم چرخشی، دمای آب گرم مصرفی و وضعیت روشن-خاموش شدن پمپ و مشعل را برحسب زمان و تاریخ دیتابرداری نشان می‌دهند. به عنوان مثال شکل 1-5 نمودار دما برحسب زمان را برای پارامتر پمپ 12 نشان می‌دهد.



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 می دهد که مربوط به ساعات اوج مصرف ساختمان می باشد. در ابتدای شکل به دلیل مصرف بالای ساختمان، دمای آب گرم مصرفی به طور تدریجی کاهش می یابد به همین جهت مشعل، شروع به کار کردن می کند تا دمای آب گرم 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 کار کردن می کند. این امر یعنی کم شدن اختلاف دما به واسطه چرخش آب در سیستم لوله کشی و افزایش دبی جرمی پمپ در نتیجه افزایش انتقال حرارت بین آب گرم چرخشی و آب گرم مصرفی می باشد و در انتها این اختلاف دما به مقدار پارامتر تعریفی پمپ می رسد و ثابت باقی می ماند. هر دو دمای آب گرم چرخشی و آب گرم مصرفی تا ساعات پیک مصرف بعدی تقریباً ثابت باقی می ماند.

علاوه بر نمودار فوق، به کمک نرم افزار اکسل، می توان درصد میانگین کارکرد پمپ و مشعل (مصرف سوخت) و میانگین دمای آب گرم چرخشی و دمای آب گرم مصرفی را برای هر پارامتر پمپ به دست آورد. به عنوان مثال در شکل زیر که قسمتی از دیتابرداری است می تواند درصد میانگین کارکرد پمپ و مشعل و میانگین دماها را برای پارامتر پمپ 12 نشان داد.

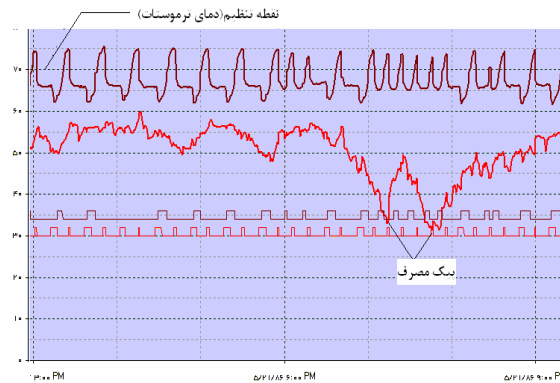
۱	۱	۶۸	۲۰	۴۹
۱	۰	۶۸	۲۰	۴۹
۱	۰	۶۶	۲۰	۴۶
۱	۱	۶۶	۲۰	۴۶
۱	۱	۶۶	۲۰	۴۵
۱	۱	۶۶	۲۰	۴۵
۱	۱	۶۸	۲۰	۴۷
۱	۱	۶۸	۲۰	۴۸
۱	۱	۷۰	۲۰	۵۰
۱	۰	۷۰	۲۰	۴۸
کارکرد پمپ	مصرف سوخت	میانگین دمای آب چرخشی	میانگین دمای آب مصرفی	
۰.۳۹۲۷۵۱۳۹	-۰.۲۴۹۵۶۹۷۲	۵۷.۷۹۵۱۳۸۹	۴۶.۹۶۸۴۳۷۵	

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

همانطور که در شکل 2 مشاهده می گردد ستون ها به ترتیب از قسمت چپ عبارتند از دمای آب گرم مصرفی، دمای محیط بیرون (که این دستگاه دمای بالای 20°C را همان 20 نمایش می دهد)، دمای آب گرم چرخشی، کارکرد مشعل (که وقتی روشن باشد عدد 1 و وقتی خاموش باشد عدد 0 را نمایش می دهد)، کارکرد پمپ (به همان ترتیب کارکرد مشعل).

5- مقایسه نمودارهای موجود در سیستم های سنتی و کنترل هوشمند موتورخانه

شکل 3 نمودار دما-زمان ساختمان را در حالتی نشان می دهد که سیستم کنترل هوشمند از مدار خارج است. یعنی این موتورخانه به شیوه ترموستاتیک کار می کند.



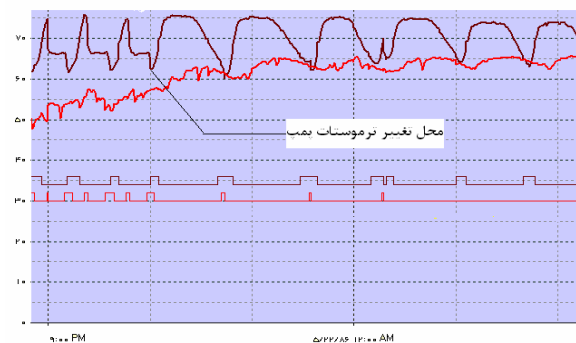
نمودار 3- نمودار دما- زمان ساختمان در حالت ترموستاتیک موتورخانه

میزان درجه حرارت آب گرم چرخشی و آب گرم 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 در طول 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 آب گرم چرخشی است و مستقل از دمای آب گرم مصرفی، دمای محیط بیرون ساختمان و الگوی مصرف ساختمان کار می‌کند. به همین جهت مشعل به صورت پرودیکی روشن و خاموش می‌شود. پس کارکرد بیهوده و غیرمتعال مشعل‌ها و پمپ‌های آب گرم چرخشی و از طرفی عدم تثبیت دمای آب گرم مصرفی را انتظار داریم.

در این حالت ترموستات دیگ را روی درجه 70°C می‌گذاریم. همانطور که از شکل بالا برمی‌آید محدوده دمای آب گرم چرخشی بین 65°C تا 75°C می‌باشد که دمای 70°C ترموستات دیگ را تصدیق می‌کند. محدوده دمایی $\pm 5^{\circ}\text{C}$ را خطای هیستریسیز می‌نامند. در عمل، دمای روشن شدن کمی کمتر از نقطه تنظیم و دمای خاموش شدن، کمی بیشتر از نقطه تنظیم است تا از ایجاد اغتشاش و فرسایش ناشی از روشن و خاموش شدن سریع مشعل در مواردی که دما نزدیک به مقدار مطلوب است، ممانعت شود. در ضمن در شکل بالا پمپ مصرفی ساختمان بین ساعت 6 تا 9 بعد از ظهر قابل مشاهده است.

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

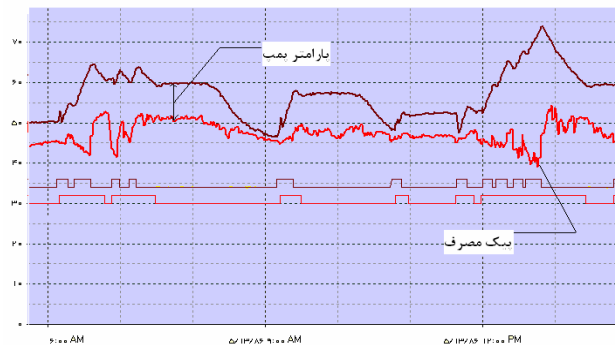


نمودار 4- نمودار دما- زمان ساختمان در حالت عدم ترموستاتیک موتورخانه در هنگام تغییر ترموستات پمپ

در این قسمت از آزمایش، درجه ترموستات پمپ را در حالت ثابت بودن درجه ترموستات مشعل بر روی درجه 70°C ، تغییر می‌دهیم. این تغییر، از 65°C به 55°C همانطور که در شکل 4 مشاهده می‌شود، در ساعت 10 شب می‌باشد البته از تغییر نمودار دمای آب گرم چرخشی نیز می‌توان متوجه تغییر مذکور شد. این تغییر یعنی کاهش ترموستات پمپ، باعث افزایش مدت

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

یکی از معایب سیستم ترموستاتیک، مستقل بودن دمای آب گرم چرخشی از الگوی مصرف ساختمان و دمای آب گرم مصرفی می‌باشد. با توجه به این مطلب در نیمه شب با وجود عدم مصرف آب گرم، مشعل برای نگاه داشتن دمای آب گرم چرخشی حول 70°C بیهوده کار می‌کند و باعث هدر رفتن انرژی (سوخت و برق) می‌شود و در هنگام صبح دمای آب گرم 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.

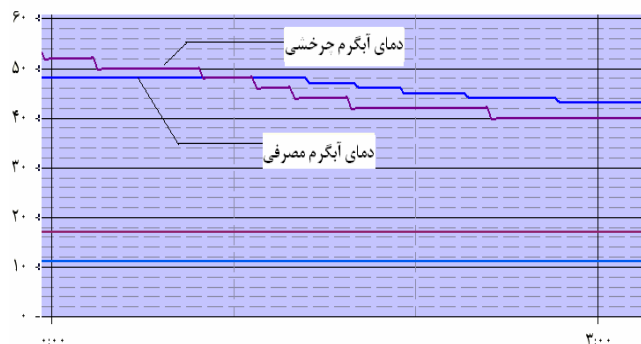


نمودار 5- نمودار دما-زمان ساختمان در سیستم کنترل هوشمند

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 کار کردن است. این اختلاف دما بین دو دمای آب گرم چرخشی (آب دیگ) و دمای آب گرم مصرفی (آب منبع) می‌باشد [3].

همانطور که در نمودار 5 مشاهده می‌شود دمای آب گرم چرخشی خیلی کمتر از دمای آب گرم چرخشی در حالت سنتی (در حالت عدم استفاده از سیستم کنترل هوشمند) می‌باشد در صورتیکه دمای آب گرم 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 آب گرم مصرفی تابعی از الگو مصرف ساختمان، دمای آب گرم 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].

نمودار 6، نمودار دما-زمان ساختمان در سیستم کنترل هوشمند در هنگام شب را نشان می‌دهد.



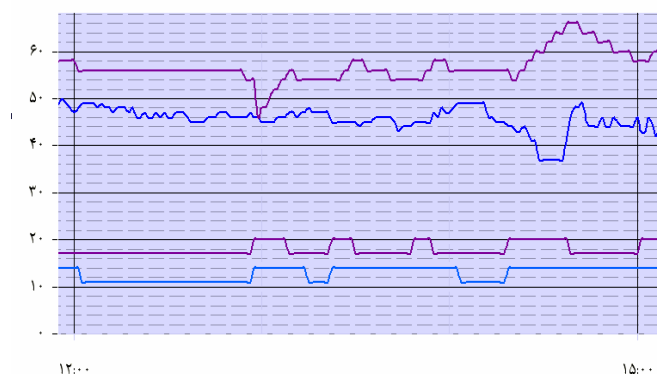
نمودار 6- نمودار دما-زمان ساختمان در سیستم کنترل هوشمند در هنگام شب

همانطور که در نمودار 6 مشاهده می‌شود در هنگام شب به دلیل عدم مصرف آب گرم مصرفی، نه تنها دمای آب گرم چرخشی بسیار کم‌تر از مقدار دمای آب گرم چرخشی در سیستم ترموستاتیک در شب می‌باشد حتی پس از ساعت 1 بامداد، دمای آب گرم چرخشی پایین‌تر از دمای آب گرم 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 آب گرم چرخشی حول درجه 60°C مستقل از دمای آب-گرم مصرفی و الگوی مصرف ساختمان، نوسان می‌کند. از طرفی دمای آب گرم مصرفی خیلی نوسان دارد و به حالت تثبیت دمایی نمی‌رسد. با توجه به شکل 7 کمترین دمای آب گرم مصرفی 27°C در ساعت 2 بعدازظهر می‌باشد که این آب گرم 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 آب گرم 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 نمودار 7 می‌باشد.



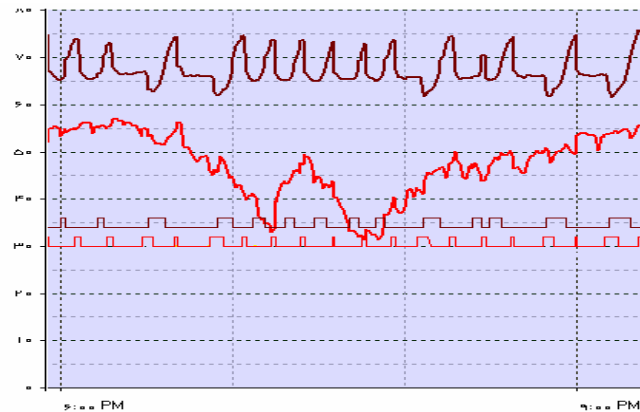
نمودار 8- نمودار دما-زمان ساختمان در سیستم کنترل هوشمند در هنگام پیک مصرف (روز جمعه)

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 آب گرم چرخشی پایین‌تر از دمای 60°C می‌باشد ولی در سیستم سنتی، میانگین دما تقریباً 60°C می‌باشد. به جزء یک مورد در نمودار بالا دمای آب گرم مصرفی به حالت تثبیت رسیده است.

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 آب گرم مصرفی را به دمای مطلوب و ثابتی برساند. در ضمن با توجه به نمودار 7 کارکرد مشعل و پمپ کمتر شده است و باعث صرفه جویی بالای انرژی شده است.

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

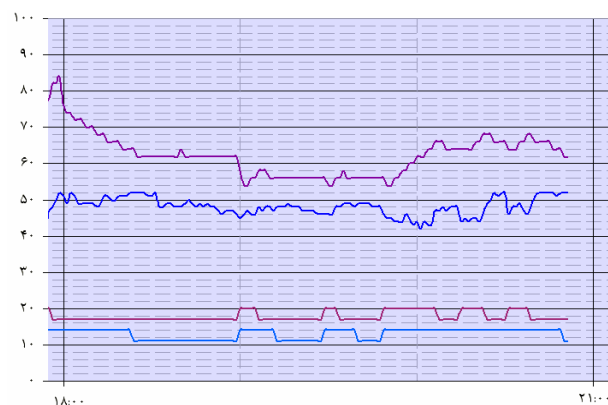
شکل 9 یک نمونه از نمودار دما-زمان در موتورخانه سنتی از ساعت 6 تا 9 شب می باشد.



نمودار 9- نمودار دمای آب گرم مصرفی در سیستم موتورخانه سنتی

در شکل 9 دمای آب گرم مصرفی بسیار نوسان دارد و از ساعت 7 تا 8 شب پیک های مصرف قابل مشاهده است. از طرفی کارکرد بالای پمپ و مشعل نیز نتوانسته تثبیت دمای آب گرم مصرفی را به همراه داشته باشد. دمای آب گرم چرخشی بدون توجه و مستقل از دمای آب گرم مصرفی و به شیوه ترموستاتیک کار می کند. در کل این پمپ و مشعل نتوانسته اند آب گرم 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 می دهد. این ساعت همانند مورد ترموستاتیک خود در شکل 9 می باشد.



نمودار 10- نمودار دمای آب گرم مصرفی در سیستم هوشمند موتورخانه

همانطور که در شکل 10 مشاهده می‌شود دمای آب گرم مصرفی نوسانات دمایی خیلی کمی دارد و می‌توان گفت دما در دمای 47°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 آب گرم 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 که 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 آب گرم مصرفی بالا است و دمای برگشتی بسیار کم‌تر از دمای دیگ می‌باشد و با کارکرد کم پمپ و مشعل آب گرم مصرفی سریع بالا می‌رود و باعث صرفه‌جویی در انرژی (سوخت و برق) می‌شود ولی اگر راندمان منبع پایین باشد آنگاه انتقال حرارت بین آب گرم چرخشی و آب گرم مصرفی کم خواهد بود و دمای آب برگشتی نزدیک به آب دیگ می‌باشد در نتیجه آب گرم 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 آب گرم مصرفی است. به این صورت که وقتی دمای آب گرم مصرفی از ساعت 6 صبح تا 12 شب پایین‌تر از 46°C شد دستگاه فرمان روشن شدن را به مشعل می‌دهد و اگر دمای آب گرم 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 آب گرم 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°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 آب گرم چرخشی و دمای آب گرم 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 $0-30^{\circ}\text{C}$ 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 آب گرم چرخشی، تغییرات میانگین دمای آب گرم مصرفی و تغییرات دمای موتورخانه را شاهد هستیم.

جدول 2- نتایج آزمایش به ازای پارامترهای مختلف پمپ

پارامتر پمپ	کارکرد پمپ %	کارکرد مشعل %	میانگین دمای آبگرم °C چرخشی	میانگین دمای آبگرم مصرفی °C	°C دمای موتورخانه
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.

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

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

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

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

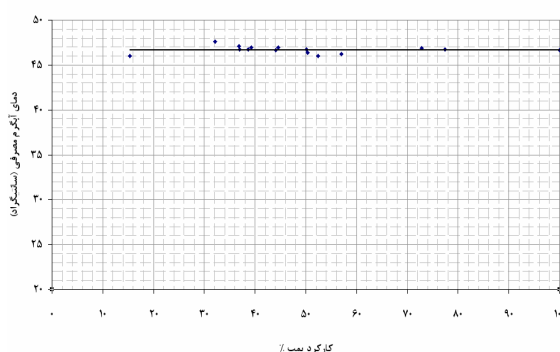
جدول 3- نتایج بدست آمده از هر پارامتر پمپ

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 می آید:

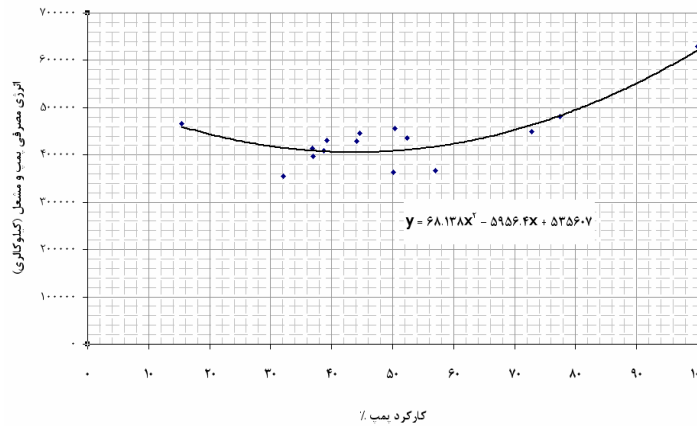
1. نمودار دمای آب گرم مصرفی بر حسب کارکرد پمپ



نمودار 11- نمودار دمای آب گرم مصرفی بر حسب کارکرد پمپ

در نمودار 11 با تغییرات کارکرد پمپ، تثبیت دمای آب گرم مصرفی را شاهد هستیم که خود بیانگر ویژگی منحصر به فرد "تثبیت محدوده آسایش ساکنین ساختمان" می باشد. دما تقریباً در دمای $47^{\circ}C$ تثبیت شده است.

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 بر حسب 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 بیاوریم. معادله نمودار 12 به صورت زیر است:

$$y = 68.138x^2 - 5956.4x + 53560.7 \quad (4)$$

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:

$$x = 43/70 \text{ و } y = 405434.77 \text{ (Kcal)}$$

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 آب گرم مصرفی برابر با $46/66^\circ\text{C}$ 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°C و 55°C ، یعنی با 10°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 بیاوریم.

جدول 4- نتایج حالت ترموستاتیک ساختمان

میانگین دمای آب گرم مصرفی °C	میانگین دمای آب- گرم چرخشی °C	کارکرد پمپ %	کارکرد مشعل %	ترموستات پمپ °C	ترموستات مشعل °C
46/51	65/98	59/89	41/11	55	65

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 آب گرم 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:

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

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 میکروکنترلرها، دوغان ابراهیم، مترجم: پوپک محبت‌زاده، کانون نشر علوم
- 3- Pump Handbook, Igor J. Karassik, Joseph P. Messina, Third Edition, McGRAW-HILL, 2001