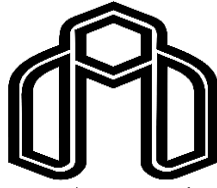


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی مکانیک و مکاترونیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی تبدیل انرژی

تاثیر سیستم‌های مدیریت انرژی (BMS) بر مصرف انرژی ساختمان

نگارنده

سمیرا عبدالهی درمیان

استاد راهنما

دکتر محمود فرزانه گرد

بهمن ۱۳۹۷



دانشگاه صنعتی شاهرود

مدیریت تحصیلات تکمیلی

بسمه تعالی

شماره :

تاریخ :

ویرایش :

فرم شماره (۶)

فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تاییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم سمیرا عبدالهی درمیان رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی تحت عنوان تاثیر هوشندسازی ساختمان بر کاهش مصرف انرژی که در تاریخ ۱۳۹۷/۱۱/۱۰ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است :

قبول (با درجه : امتیاز) دفاع مجدد مردود

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

۱- عالی (۱۹ - ۲۰)

۴- قابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

| امضاء | مرتبه علمی | نام و نام خانوادگی | عضو هیأت داوران |
|-------|------------|--------------------|---------------------------------|
| | استاد | محمود فرزانه گرد | ۱- استاد راهنما |
| | مربی | احمد مددی | ۲- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی |
| | دانشیار | محمود چهارطاقی | ۳- استاد ممتحن |
| | دانشیار | محمود نوروزی | ۴- استاد ممتحن |

تایید رئیس دانشکده :

تشکر و قدردانی :

از استاد فرهیخته، جناب آقای دکتر فرزانه‌گرد که با راهنمایی‌های خود، من را در طی این مسیر همراهی کرده‌اند، تشکر می‌کنم.

از اساتید گرامس، جناب آقای دکتر چهارطاقی و جناب آقای دکتر نوروزی که زحمت مطالعه و داوری این پژوهش را پذیرفتند، متشکرم.

تقدیم به

پدر بزرگوار، مادر مهربان و برادر عزیزم

و خواهر عزیزتر از جانم که در همه‌ی مراحل زندگی کنارم بوده است.

همچنین از دوست خوبم، خانم نجمه علی اکبری، که با همه مشغله خود، به من در این راه کمک کرد، کمال تشکر را دارم.

تعهدنامه

این جانب سمیرا عبدالهی درمیان دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تاثیر سیستم‌های مدیریت انرژی بر مصرف انرژی

ساختمان تحت راهنمایی دکتر محمود فرزانه گرد متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط این جانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود است و مقالات مستخرج با نام "دانشگاه صنعتی شاهرود" و یا "Shahrood University of Technology" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود است. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت، بخش ساختمان‌های تجاری و مسکونی را، عامل مصرف ۳۹ درصد از کل انرژی تولیدی در ایران اعلام کرده است که حدود ۵۰ درصد از آن، در بخش‌های مختلف ساختمان هدر می‌شود و سیستم‌های تهویه مطبوع، نقش عمده‌ای را در آن ایفا می‌کنند. در نتیجه نیاز به اجرای یک روش کاربردی برای کاهش مصرف انرژی، بر روی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی احساس می‌شود، که در تمامی ساختمان‌های مسکونی ایران قابلیت اجرا داشته باشد. بدین منظور در این پروژه، هوشمندسازی یک ساختمان نمونه در شهر مشهد، بررسی شد. این امر توسط پیاده‌سازی الگوریتم کنترلی، که در نرم‌افزار متلب نوشته و شبیه‌سازی شده است، بر روی سیستم‌های تهویه مطبوع رایج مورد استفاده در ایران انجام گرفت، بدین صورت که از انتقال حرارت و برودت در زمانی که دما در بازه تعریف شده قرار می‌گیرد، جلوگیری نماید. برای یک تحلیل جامع‌تر، مقدار کاهش مصرف انرژی نسبت به حالت عدم استفاده از آن، برای دو فصل زمستان و تابستان بررسی شده است. همچنین تاثیر استفاده همزمان عایق با الگوریتم کنترلی، بر روی کاهش مصرف سوخت، مورد مطالعه قرار گرفت و در نهایت نتایج به دست آمده از نصب پرده برقی در تابستان و در ادامه ترکیب آن با عایق و الگوریتم کنترلی، بررسی شد. پیاده‌سازی الگوریتم کنترلی بر روی سیستم گرمایشی در زمستان، کاهش ۲۵/۴۱ درصدی مصرف انرژی را به دنبال داشته است که همزمانی استفاده از آن با عایق، منجر به کاهش ۴۶/۳۶ درصدی مصرف انرژی می‌شود. همچنین در یک بازه زمانی مصرف دو ماهه در فصل تابستان، با اجرایی کردن استفاده از الگوریتم کنترلی به همراه عایق و پرده برقی، نسبت به حالت عدم استفاده از آن‌ها، سبب کاهش مصرف برق، از مقدار ۲۲/۵۹ کیلووات ساعت بر متر مربع به ۱۵/۰۸ کیلووات ساعت بر متر مربع شده است.

کلمات کلیدی: هوشمندسازی، کاهش مصرف انرژی، الگوریتم کنترلی، رادیاتور، فن کویل، افزودن عایق، نصب پرده

برقی

فهرست مطالب

| | |
|--|----|
| ۱- فصل اول مقدمه..... | ۱ |
| ۱-۱- مصرف انرژی..... | ۲ |
| ۲-۱- تاثیر بر محیط..... | ۳ |
| ۳-۱- وضعیت انرژی در کشور..... | ۳ |
| ۴-۱- مشکل انرژی در ایران..... | ۵ |
| ۵-۱- اتلاف انرژی در ساختمان..... | ۷ |
| ۶-۱- راههای کاهش مصرف انرژی..... | ۸ |
| ۱-۶-۱- شهرسازی و طراحی شهری..... | ۸ |
| ۲-۶-۱- معماری..... | ۸ |
| ۳-۶-۱- عناصر و اجزای ساختمانی..... | ۱۰ |
| ۴-۶-۱- سیستمهای تاسیساتی و مکانیکی..... | ۱۱ |
| ۵-۶-۱- اجرا..... | ۱۲ |
| ۷-۱- معایب راهکارهای کاهش مصرف انرژی ارائه شده..... | ۱۳ |
| ۸-۱- آشنایی با ترموستات..... | ۱۴ |
| ۱-۸-۱- تعریف ترموستات..... | ۱۴ |
| ۹-۱- سیستمهای گرمایشی و سرمایشی..... | ۱۴ |
| ۱۰-۱- عوامل موثر بر انتخاب سیستمهای گرمایشی و سرمایشی..... | ۱۵ |
| ۱۱-۱- سیستمهای گرمایشی..... | ۱۵ |
| ۱-۱۱-۱- پکیج..... | ۱۶ |
| ۲-۱۱-۱- رادیاتور..... | ۱۶ |
| ۱۲-۱- سیستمهای سرمایشی..... | ۱۸ |
| ۱-۱۲-۱- چیلر..... | ۱۹ |
| ۲-۱۲-۱- فن کویل..... | ۱۹ |

۱۳-۱- پرده برقی..... ۲۱

۱۴-۱- مروری بر فصل های پایان نامه..... ۲۳

۲- فصل دوم مروری بر پژوهش های پیشین..... ۲۵

۱-۲- مقدمه..... ۲۶

۲-۲- هوشمندسازی..... ۲۷

۳-۲- مدیریت انرژی ساختمان..... ۲۸

۴-۲- مزایای کلی استفاده از **BMS**..... ۲۹

۵-۲- مروری بر تاریخچه ترموستات..... ۳۱

۶-۲- تحقیقات انجام شده برای هوشمندسازی و بهبود عملکرد رادیاتور..... ۳۵

۷-۲- پژوهش های انجام شده برای هوشمندسازی و ارتقاء عملکرد فن کویل..... ۳۶

۸-۲- تاثیر استفاده از پرده برقی بر کاهش مصرف انرژی..... ۳۷

۹-۲- معرفی تحقیق حاضر..... ۳۹

۱۰-۲- ضرورت تحقیق حاضر..... ۴۰

۱۱-۲- نوآوری تحقیق حاضر..... ۴۰

۳- فصل سوم معادلات حاکم و مدل سازی فرآیندها..... ۴۳

۱-۳- مقدمه..... ۴۴

۲-۳- معرفی معادلات حاکم در انتقال حرارت ساختمان..... ۴۵

۳-۳- مدل سازی حرارتی ساختمان..... ۴۹

۴-۳- فضای حالت..... ۵۲

۵-۳- روابط حاکم بر محاسبات بخش گرمایش..... ۵۴

۶-۳- روابط مورد نیاز برای بخش سرمایش..... ۵۷

۷-۳- الگوریتم کنترلی..... ۵۸

۴- فصل چهارم نتایج..... ۶۱

| | |
|----|---|
| ۶۲ | ۱-۴- مقدمه..... |
| ۶۳ | ۲-۴- اعتبارسنجی..... |
| ۶۶ | ۳-۴- نتایج حاصل از ارزیابی تحقیق حاضر..... |
| ۶۹ | ۴-۴- ارزیابی استفاده از عایق..... |
| ۷۰ | ۵-۴- الگوریتم کنترلی..... |
| ۷۶ | ۶-۴- تحلیل نتایج فصل تابستان..... |
| ۸۷ | ۵- فصل پنجم نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات..... |
| ۸۸ | ۱-۵- نتیجه‌گیری..... |
| ۸۹ | ۲-۵- پیشنهادات..... |
| ۹۰ | پیوست..... |
| ۹۱ | مراجع..... |

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ روند تقاضای انرژی اولیه..... ۲
- شکل ۱-۲ عرضه انرژی اولیه کل (میلیون تن معادل نفت خام) [۶]..... ۴
- شکل ۱-۳ تولید ناخالص داخلی (میلیارد دلار) [۶]..... ۴
- شکل ۱-۴ نسبت عرضه کل انرژی اولیه به تولید ناخالص داخلی یا TPESGPD (تن معادل نفت خام بر هزار دلار) [۶]..... ۵
- شکل ۱-۵ مصرف انرژی براساس میلیون تن معادل نفت خام به تفکیک بخش‌های مختلف در ایران [۵]..... ۶
- شکل ۱-۶ مصرف انرژی ایران در آینده [۷]..... ۷
- شکل ۱-۷ مقایسه کاهش مصرف انرژی برای دو ساختمان با مصالح مشابه و معماری متفاوت در تهران [۱۰]..... ۱۰
- شکل ۱-۸ رادیاتور آلومینیومی..... ۱۸
- شکل ۱-۹ فن کویل زمینی..... ۲۰
- شکل ۳-۱ نمونه یک دیوار که با هوای داخل اتاق و هوای بیرون در ارتباط است..... ۴۶
- شکل ۳-۲ مدل مقاومتی دیوار شکل ۳-۱ بدون در نظرگرفتن جرم دیوار..... ۴۶
- شکل ۳-۳ مدار حرارتی ساختمان مورد نظر..... ۵۰
- شکل ۴-۱ نمای رو به روی ساختمان مورد نظر..... ۶۳
- شکل ۴-۲ نتایج مقایسه بار برودتی زمستان..... ۶۵
- شکل ۴-۳ نتایج مقایسه بار حرارتی تابستان..... ۶۶
- شکل ۴-۴ دمای روز طرح..... ۶۷
- شکل ۴-۵ نمودار دمای اتاق بدون الگوریتم کنترلی..... ۶۸
- شکل ۴-۶ نمودار گرمای داده شده به اتاق بدون الگوریتم کنترلی..... ۶۸
- شکل ۴-۷ مقایسه تغییرات دمای اتاق بدون الگوریتم کنترلی برای دو حالت بدون عایق و با عایق..... ۷۰
- شکل ۴-۸ مقایسه حرارت داده شده اتاق بدون الگوریتم کنترلی برای دو حالت بدون عایق و با عایق..... ۷۰
- شکل ۴-۹ نمودار دمای اتاق با استفاده از الگوریتم کنترلی..... ۷۱
- شکل ۴-۱۰ نمودار حرارت داده شده با استفاده از الگوریتم کنترلی..... ۷۱
- شکل ۴-۱۱ مقایسه تغییرات دمای اتاق با الگوریتم کنترلی برای دو حالت بدون عایق و با عایق..... ۷۲
- شکل ۴-۱۲ مقایسه حرارت داده شده اتاق با الگوریتم کنترلی برای دو حالت بدون عایق و با عایق..... ۷۲
- شکل ۴-۱۳ مقایسه نمودار دما برای تمامی حالت‌ها..... ۷۳
- شکل ۴-۱۴ مقایسه حرارت داده شده برای تمام حالت‌ها..... ۷۴

- شکل ۴-۱۵ روز طرح تابستان [۵۲]..... ۷۶
- شکل ۴-۱۶ نمودار دمای اتاق بدون استفاده از الگوریتم کنترلی..... ۷۷
- شکل ۴-۱۷ نمودار بار برودتی اتاق بدون استفاده از الگوریتم کنترلی..... ۷۷
- شکل ۴-۱۸ مقایسه تغییرات دمای اتاق بدون الگوریتم کنترلی برای دو حالت بدون عایق و با عایق..... ۷۸
- شکل ۴-۱۹ مقایسه تغییرات بار برودتی اتاق بدون الگوریتم کنترلی برای دو حالت بدون عایق و با عایق..... ۷۸
- شکل ۴-۲۰ مقایسه تغییرات دمای اتاق بدون الگوریتم کنترلی برای دو حالت با و بدون پرده برقی..... ۷۹
- شکل ۴-۲۱ مقایسه بار برودتی اتاق بدون الگوریتم کنترلی برای دو حالت با و بدون پرده برقی..... ۷۹
- شکل ۴-۲۲ نمودار دمای اتاق با استفاده از الگوریتم کنترلی..... ۸۰
- شکل ۴-۲۳ نمودار بار برودتی اتاق با استفاده از الگوریتم کنترلی..... ۸۰
- شکل ۴-۲۴ مقایسه تغییرات دمای اتاق با الگوریتم کنترلی برای دو حالت بدون عایق و با عایق..... ۸۱
- شکل ۴-۲۵ مقایسه تغییرات بار برودتی اتاق با الگوریتم کنترلی برای دو حالت بدون عایق و با عایق..... ۸۱
- شکل ۴-۲۶ مقایسه تغییرات دمای اتاق با الگوریتم کنترلی برای دو حالت با و بدون پرده برقی..... ۸۲
- شکل ۴-۲۷ مقایسه بار برودتی اتاق با الگوریتم کنترلی برای دو حالت با و بدون پرده برقی..... ۸۲
- شکل ۴-۲۸ مقایسه نمودار دما برای تمام حالتها..... ۸۳
- شکل ۴-۲۹ مقایسه بار برودتی برای تمام حالتها..... ۸۳

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱ درصد صرفه‌جویی در مصرف انرژی در مدت ۴ ماه [۱۱]..... ۱۲
- جدول ۳-۱ مشخصات کاتالوگی رادیاتور..... ۵۵
- جدول ۳-۲ مشخصات فنی فن‌کویل..... ۵۸
- جدول ۴-۱ داده‌های ورودی..... ۶۴
- جدول ۴-۲ بررسی درصد خطای زمستان..... ۶۵
- جدول ۴-۳ بررسی درصد خطای تابستان..... ۶۶
- جدول ۴-۴ درصد کاهش مصرف حرارت..... ۷۵
- جدول ۴-۵ درصد کاهش مصرف برودت..... ۸۵

فهرست علائم

| | |
|---------------------------|---------------------------------|
| $A_d(m^2)$ | مساحت درب |
| A_{wi} | مساحت دیوار شماره i |
| A_{win} | مساحت پنجره اتاق |
| $C_r(\frac{J}{K})$ | ظرفیت گرمایی اتاق |
| C_{wi} | ظرفیت گرمایی دیوار شماره i |
| $C_{pa}(\frac{J}{KgK})$ | ظرفیت گرمایی ویژه هوا |
| E | انرژی درونی سیستم |
| $G_{sc}(\frac{W}{m^2})$ | ثابت خورشیدی |
| $H(m)$ | ارتفاع |
| $h_i(\frac{W}{m^2K})$ | ضریب انتقال حرارت جابجایی داخلی |
| h_o | ضریب انتقال حرارت جابجایی خارجی |
| $H_o(\frac{J}{m^2})$ | تابش خورشیدی کل |
| $\dot{m}_a(\frac{kg}{s})$ | دبی جرمی هوای ورودی به اتاق |

| | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| m_c | جرم سقف |
| m_r | جرم هوای اتاق |
| m_w | جرم دیوار |
| N | روز از سال |
| $q_{Fancoil} (W)$ | سرمای تولیدی فن کویل |
| $q_{radiation}$ | حرارت تشعشعی تابیده شده |
| $q_{radiator}$ | حرارت تولیدی توسط رادیاتور |
| q_x | انتقال حرارت هدایتی در راستای x |
| Q_{gen} | گرمای تولید شده |
| Q_{in} | گرمای ورودی از حجم کنترل |
| $Q_{infiltration}$ | گرمای نفوذ |
| h_r | ضریب انتقال حرارت جابجایی اتاق |
| h_{ss} | ساعت غروب خورشید |
| $K \left(\frac{W}{mK} \right)$ | ضریب انتقال حرارت هدایتی |

| | |
|-----------------------|--------------------------------------|
| $L(m)$ | طول |
| L | عرض جغرافیایی |
| dt | متغیر زمان |
| $T_f(^{\circ}C)$ | دمای هوای ورودی به اتاق توسط فن کویل |
| T_r | دمای هوای اتاق |
| T_{Rin} | دمای آب ورودی به رادیاتور |
| T_{Rout} | دمای آب برگشتی از رادیاتور |
| T_{wi} | دمای دیوار i |
| T_{∞} | دمای هوای بیرون |
| Q_{out} | گرمای خروجی از حجم کنترل |
| Q_T | گرمای کل |
| $R_{i,j}$ | مقاومت حرارتی بین گره i و j |
| $R_w(\frac{m^2K}{W})$ | مقاومت حرارتی دیوار |
| R_{wc} | مقاومت حرارتی سقف |

| | |
|--|----------------------------------|
| $t(m)$ | ضخامت دیوار |
| ρ_c | چگالی سقف |
| $\sigma \left(\frac{W}{m^2 k^2} \right)$ | ثابت استفان بلتزمان |
| τ_{win} | ضریب عبور تشعشع خورشیدی از پنجره |
| ΔT_{lm} | اختلاف دمای لگاریتمی |
| $U \left(\frac{W}{m^2 K} \right)$ | ضریب انتقال حرارت کلی |
| $V(m^3)$ | حجم |
| $W (W)$ | کار انجام شده روی سیستم |
| α_d | ضریب جذب در |
| α_w | ضریب جذب سطح دیوار |
| α_{win} | ضریب جذب پنجره |
| δ | زاویه انحراف خورشید |
| $\varepsilon \left(\frac{m^2}{K^2} \right)$ | ضریب گسیل |
| $\rho_w \left(\frac{kg}{m^3} \right)$ | چگالی دیوار |

ρ_a

چگالی هوا

ف

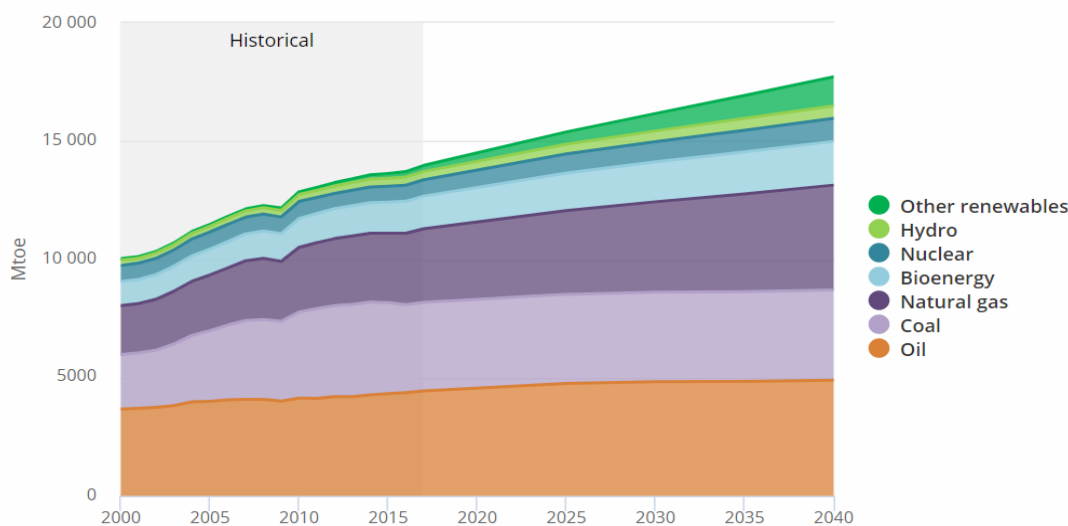
۱- فصل اول

مقدمه

۱-۱- مصرف انرژی

در بازه زمانی که نفت کشف شد و استفاده از سایر سوخت‌های فسیلی رواج پیدا کرد و همزمان استفاده از منابع طبیعی مانند آب افزایش یافت، رشد جمعیت و اختراع وسایلی که با این منابع کار می‌کنند نیز افزایش یافت. روند این افزایش به نحوی است که امروزه علاوه بر تاثیر منفی‌ای که بر محیط زیست، لایه اوزون و غیره می‌گذارد، رو به اتمام بودن این منابع نیز بسیار نگران کننده شده است. با توجه به وابسته بودن اکثر جنبه‌های زندگی، نظیر گرمایش و سرمایش، استفاده در حمل و نقل، صنعت و کشاورزی به ذخایر انرژی و منابع آبی، پیش‌بینی می‌شود که در سال‌های نه چندان دور، قدرت، اقتصاد، امنیت و پیشرفته بودن کشورها براساس چگونگی مدیریت انرژی و مقادیر این منابع تعیین شود و ممکن است حتی سبب بروز جنگ‌هایی برای امکان زندگی بهتر بشود.

آژانس بین‌المللی انرژی^۱ میزان تقاضای انرژی‌های اولیه برای جهان را، به صورت شکل ۱-۱ محاسبه و پیش‌بینی کرده است [۱].



شکل ۱-۱ روند تقاضای انرژی اولیه [۱]

¹ Energy International Administration

که در آن^۱ Mtoe، میلیون تن معادل نفت خام می‌باشد.

آژانس بین‌المللی انرژی مصرف انرژی اولیه ساختمان‌های تجاری و مسکونی کشورهای عضو را، ۴۰ درصد از انرژی اولیه کلی مصرف شده اعلام کرده است [۲]، که بیش از نیمی از این انرژی، توسط وسایل گرمایش و سرمایش مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳].

به عنوان مثال ساختمان‌ها در آمریکا ۷۳ درصد از مصرف برق و ۴۰ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای را تشکیل می‌دهند. به صورت جزئی‌تر ۳۳ درصد از انرژی مصرفی در ساختمان‌ها صرف گرمایش، تبرید و تهویه مطبوع می‌شود [۴].

۲-۱- تاثیر بر محیط

مصرف انرژی علاوه بر امکاناتی که برای ما به وجود آورده است مشکلات بزرگی را نیز به همراه دارد. از جمله این معایب افزایش آلودگی، گرم‌تر شدن کره زمین، تغییرات آب و هوایی، باران‌های اسیدی و آسیب به لایه اوزون را می‌توان نام برد، که این موارد تاثیر غیر قابل درمانی بر سلامت انسان‌ها و کیفیت زندگی آن‌ها می‌گذارد. علاوه بر آن که چرخه زیست محیطی، طبیعت و زندگی سایر جانداران را دچار مشکل می‌کند.

۳-۱- وضعیت انرژی در کشور

کشور ما از جهت دسترسی به منابع غنی و گسترده نفت و گاز از وضعیت ممتازی برخوردار است. به طوری که از نظر حجم ذخایر نفتی، رتبه سوم و از نظر حجم ذخایر گاز، رتبه دوم را در جهان به خود اختصاص داده است.

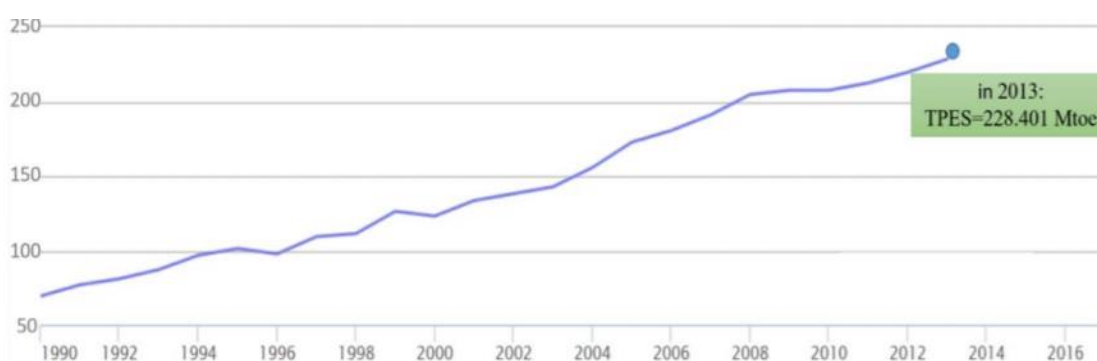
وجود همین منابع عظیم و سهولت دسترسی به آن‌ها، از یکسو تامین میزان مطلوبی از انرژی

¹ Million Tone of Oil Equivalent

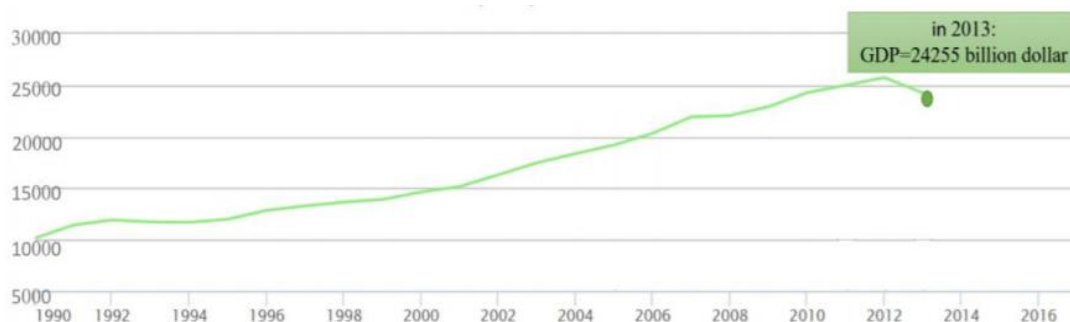
کشور را در پی داشته است و از سوی دیگر درآمد ارزی را، برای کشور سبب شده است.

اما در حال حاضر سه مشکل اساسی پیش روی کشور ماست: یکی نوسانات غیر قابل پیش‌بینی قیمت نفت، دوم تجدیدنپذیری منابع در دسترس و سوم مسئله مصرف بی‌رویه، بدون داشتن الگوی استاندارد به‌ویژه در بخش‌های غیر مولد، نظیر بخش خانگی است. برای کاهش مصرف انرژی، مشکلی که سال‌ها از عمر آن می‌گذرد، در دسترس‌ترین روش برای حفظ منابع انرژی، مدیریت مصرف انرژی است [۵].

در شکل ۲-۱ تا ۴-۱، تغییرات برخی پارامترهای مهم در حوزه انرژی کشور تا سال ۲۰۱۳ توسط آژانس بین‌المللی انرژی نشان داده شده است.



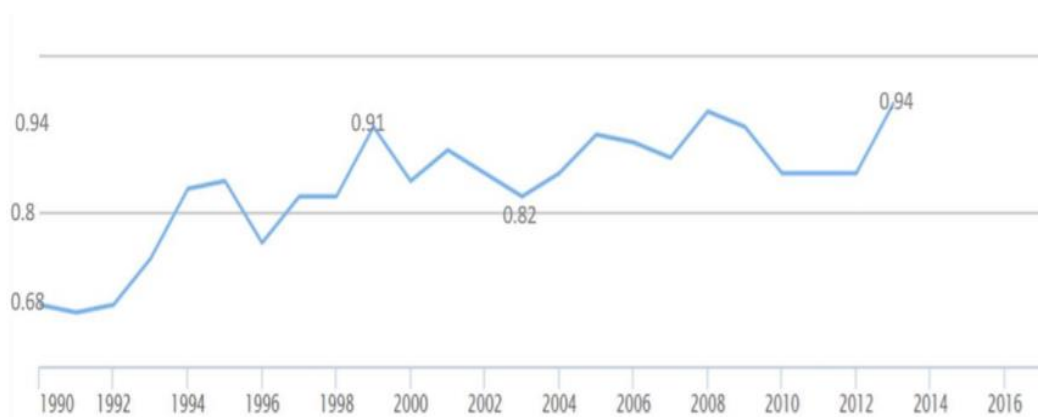
شکل ۲-۱ عرضه انرژی اولیه کل^۱ (میلیون تن معادل نفت خام) [۶]



شکل ۳-۱ تولید ناخالص داخلی^۲ (میلیارد دلار) [۶]

^۱ TPES

^۱ GDP



شکل ۱-۴ نسبت عرضه کل انرژی اولیه به تولید ناخالص داخلی یا $TPES/GDP$ (تن معادل نفت خام بر هزار دلار) [۶]

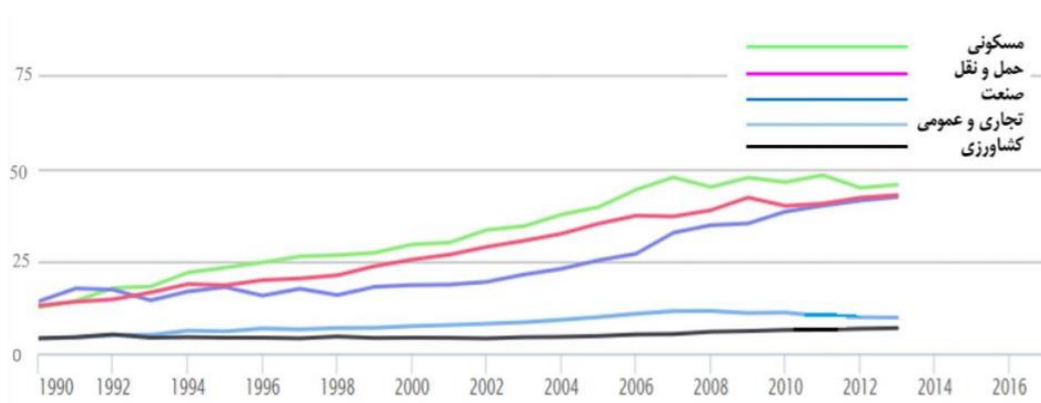
در دهه‌های گذشته رابطه مستقیمی میان نرخ رشد مصرف انرژی با نرخ رشد اقتصادی کشورها وجود داشت. اما در چند سال اخیر با توجه به گسترش استفاده از فناوری‌های نوین و سازگار با محیط زیست، این روند تغییر کرده است به گونه‌ای که کاهش نرخ رشد مصرف انرژی به ازای تولید ثروت را می‌توان به عنوان یکی از شاخص‌های نوین توسعه یافتگی قلمداد نمود. بدین ترتیب شدت انرژی به عنوان نسبت تولید ثروت به مصرف انرژی، یکی از معیارهای توسعه یافتگی قلمداد شده و متأسفانه کشور ما یکی از کم‌ترین مقادیر شدت انرژی در جهان را به خود اختصاص داده است [۶].

۴-۱- مشکل انرژی در ایران

امروزه در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته، چگونگی و میزان مصرف انرژی مورد توجه بسیار قرار گرفته است. به خصوص در بخش صنعت ساختمان، چرا که ساختمان‌های جدید و بیش‌تری مورد نیاز است و در نتیجه نیاز به منابع نفتی و سایر منابع برای تجهیز کردن امکانات گرمایشی، سرمایشی، روشنایی و غیره افزایش می‌یابد و بخش قابل توجهی از بودجه انرژی صرف آن می‌شود.

طبق آمارهای به دست آمده از سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت، ۳۹ درصد از کل انرژی تولیدی در ایران در بخش ساختمان‌های تجاری و مسکونی مصرف می‌شود. از این رقم حدود ۵۰ درصد در بخش‌های مختلف ساختمان هدر می‌شود [۵].

شکل ۱-۵ میزان افزایش مصرف انرژی در بخش‌های مختلف ایران تا سال ۲۰۱۳ توسط آژانس بین المللی انرژی نشان داده شده است.



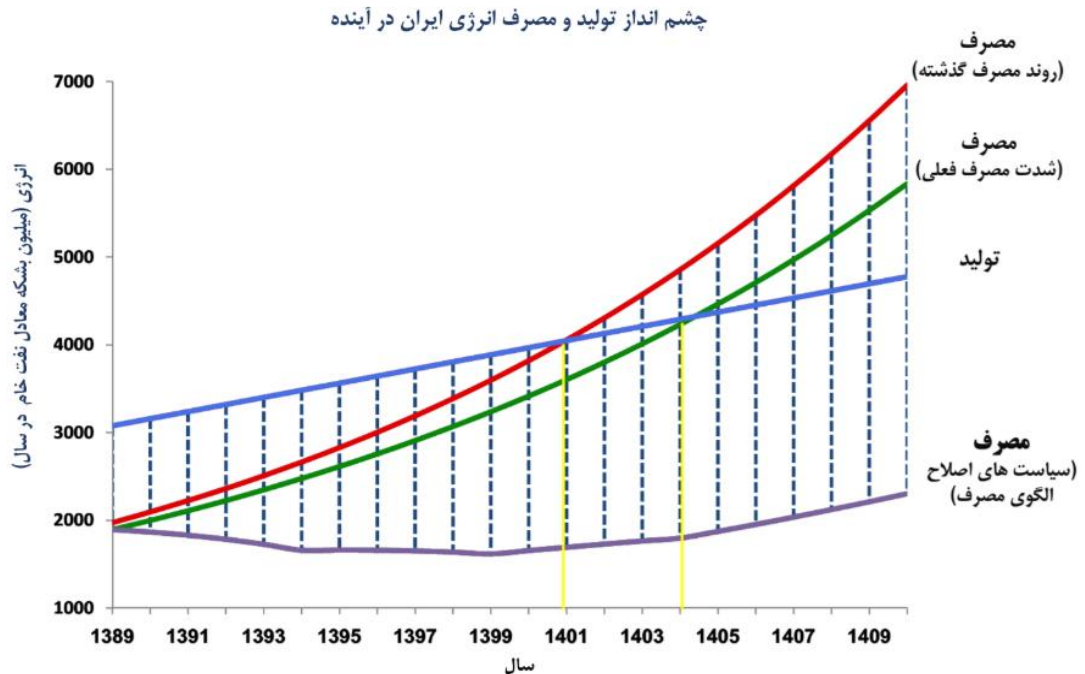
شکل ۱-۵ مصرف انرژی براساس میلیون تن معادل نفت خام به تفکیک بخش‌های مختلف در ایران [۵]

نه تنها بخش خانگی و تجاری سهم بالایی در مصرف انرژی کشور دارد، بلکه میزان مصرف نسبی انرژی ساختمان‌ها در ایران، در مقایسه با دیگر کشورها و استانداردهای جهانی بالاست. بنابراین کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها در ایران امری ضروری است؛ زیرا رشد سریع مصرف انرژی در دو دهه گذشته سبب شده، تا امنیت عرضه داخلی انرژی با مشکلات جدی مواجه شود.

همچنین افزایش قیمت‌های بین‌المللی انرژی از یک‌سو و نیاز به واردات بنزین، گازوئیل، گاز طبیعی و برق نیز سبب شده است تا بیش از هر زمان دیگر نیاز به صرفه‌جویی انرژی احساس شود.

این وضعیت تهدیدی جدی برای کشور محسوب می‌شود، چرا که وقوع چنین اتفاقی به معنای قطع درآمدهای نفتی و گازی کشور از یک‌سو و نیاز کشور به پرداخت مبالغ هنگفت برای خرید سوخت مورد نیاز است. بنابراین، در صورت کاهش نرخ رشد مصرف انرژی، می‌توان روند تبدیل ایران از صادرکننده انرژی به واردکننده را به تعویق انداخت. این مسئله در شکل ۱-۶ نمایش داده شده است. اگر شدت مصرف انرژی کنونی ادامه یابد، در سال ۱۴۰۴ شدت مصرف انرژی و تولید برابر شده و ایران به واردکننده

انرژی تبدیل خواهد شد [۷].



شکل ۱-۶ مصرف انرژی ایران در آینده [۷]

۵-۱- اتلاف انرژی در ساختمان

اتلاف انرژی در ساختمان علت‌های متنوع و متفاوتی دارد. این علت‌ها می‌توانند از طراحی نادرست در سبک شهرسازی، انتخاب زمین، جهت قرارگیری ساختمان و بناهای اطراف ساختمان شروع شود و به مصالح به کار رفته در آن و چینش نادرست اجزای داخلی آن توسعه یابد. از میان تلفات مربوط به تجهیزات روشنایی، امنیتی، بهداشتی و غیره، بیش‌ترین اتلاف انرژی مربوط به بخش گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع می‌باشد.

چه در کشورهای توسعه‌یافته و چه کشورهای در حال توسعه، برای کاهش مصرف انرژی از مواردی که در ادامه به صورت خلاصه اشاره خواهد شد، به صورت جزئی یا کامل استفاده می‌کنند. طی سال‌های اخیر، کشورها توجه خود را به صورت ویژه‌ای بر روی کاهش مصرف انرژی در بخش تاسیسات مکانیکی

ساختمان، به ویژه سرمایه‌گذاری گرمایش و تهویه مطبوع قرار داده‌اند.

۱-۶- راه‌های کاهش مصرف انرژی

کاهش مصرف انرژی در ساختمان را در پنج گروه زیر می‌توان تعریف کرد [۸]:

- شهرسازی و طراحی شهری
- معماری
- عناصر و اجزای ساختمانی
- سیستم‌های تاسیساتی (مکانیکی و الکتریکی)
- اجرا

۱-۶-۱- شهرسازی و طراحی شهری

در قسمت شهرسازی و طراحی شهری بایستی تمهیدات به گونه‌ای باشد، که بناهای هر منطقه، بر روی زمین مناسب، مطابق با استانداردهای گفته شده از واحد مربوطه و هماهنگ با سایر بناها و محیط، برنامه‌ریزی و ساخته شوند.

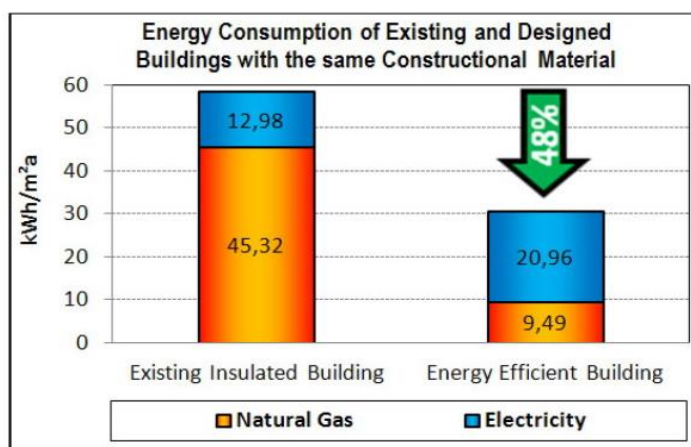
۱-۶-۲- معماری

نخستین گام در طراحی معماری ساختمان با هدف کاهش میزان مصرف انرژی، شناسایی دقیق و صحیح مشخصات آب و هوایی و اقلیمی منطقه‌ای است که ساختمان مورد نظر در آن طراحی و احداث می‌شود. اطلاعات اقلیمی مورد نظر را می‌توان با استفاده از نرم‌افزارهای تحلیلی اقلیمی معتبر استخراج نموده و با مطالعه دقیق آن‌ها خطوط راهنمای کلی لازم در خصوص شکل‌دهی به فرم معماری ساختمان را تعریف نمود. پارامترهایی مانند هندسه و حجم ساختمان، جهت قرارگیری در سایت، مشخصات بازشوها، شامل نسبت بازشو به دیوار، تناسبات بازشوها و هندسه آن‌ها، سایبان‌ها و مصالح مصرفی به خصوص در

جداره‌های خارجی ساختمان، از جمله مواردی هستند که در فاز طراحی معماری قابل تغییر خواهند بود. لذا ضروری است تا با شناخت صحیح تاثیر هر یک بر میزان مصرف انرژی، بتوان در فاز طراحی معماری به مدل‌سازی رفتار انرژی ساختمان و بهینه‌سازی هر یک از این پارامترها پرداخت [۸].

برای مثال جهت استقرار ساختمان یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در کیفیت شرایط حرارتی و محیطی فضای داخلی به شمار می‌رود. جهت استقرار ساختمان، به نوعی در تامین بسیاری از اهداف طراحی و نیازهای حرارتی آن تاثیر می‌گذارد. جلوگیری از گرم شدن فضاهای داخلی در مواقع گرم و استفاده هرچه بیشتر از انرژی خورشیدی در گرم کردن این فضاها در مواقع سرد، به وضعیت استقرار ساختمان نسبت به موقعیت سالانه خورشید در آسمان مربوط می‌شود. تامین این موارد مستلزم طراحی جهت ساختمان است. جهت ساختمان باید به‌گونه‌ای باشد که در مواقع سرد سال حداکثر و در مواقع گرم سال حداقل انرژی خورشیدی به نمای اصلی آن بتابد [۹].

شکل ۱-۷ میزان مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی دو ساختمان با شرایط و مصالح کاملاً مشابه و طراحی معماری متفاوت را در شهر تهران نشان می‌دهد. بر اساس نمودار مجموع میزان مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی یک ساختمان نمونه در شهر تهران از ۵۸/۳ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال، تنها با طراحی معماری مناسب، به ۳۰/۴۵ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال کاهش یافته است [۱۰].



شکل ۱-۷ مقایسه کاهش مصرف انرژی برای دو ساختمان با مصالح مشابه و معماری متفاوت در تهران [۱۰]

۱-۶-۳- عناصر و اجزای ساختمانی

در زمینه عناصر و اجزای ساختمانی، بیش‌تر از سایر موارد، مباحث عایق‌کاری و مبحث ۱۹ مطرح می‌باشد، که در این زمینه با معرفی ضریب انتقال حرارت و ظرفیت حرارتی مصالح، سعی در کاهش میزان انتقال و جذب حرارت از محیط پیرامون به ساختمان و همچنین از ساختمان به محیط می‌باشد.

مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، بیانگر راهکارها و تمهیداتی است که اجرای صحیح آن‌ها سبب کاهش بار سرمایش و گرمایش واقعی ساختمان می‌شود. علاوه بر آن اجرای مبحث نوزدهم، سبب افزایش سطح آسایش افراد در ساختمان نیز می‌گردد. با توجه به اختلاف زیاد بین مصرف انرژی داخلی در بخش ساختمان و استانداردهای جهانی، اجرای دقیق مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، نسبت به سایر مقررات ملی در ساختمان، از اهمیت بیش‌تری برخوردار است، که این روش‌های مفید برای کاهش مصرف انرژی می‌باشد.

حرارت به سه روش هدایت، همرفت و تابش انتقال پیدا می‌کند. در این روش تلاش می‌شود با استفاده از مصالح و عناصر عایق و پیشرفته، انتقال حرارت را به هریک از سه روش اشاره شده در بالا، کاهش داد [۸].

به عبارت دیگر مصالح به کار رفته ضریب انتقال حرارت پایینی داشته باشند، از کیفیت و طول عمر مناسبی برخوردار باشند و دارای مقاومت خوبی در برابر ضربات، گرما و سرما باشند. سقف‌ها، دیوارها، کف و لوله‌های تاسیساتی به‌صورت موثری عایق‌کاری شده باشند، فضای زیر بلوک بسته باشد و از پنجره‌های دوجداره استفاده گردد و درها و پنجره‌ها درزگیری شوند. در نهایت بهتر است دیوارهای استاندارد نظیر دیوار تری دی، درای وال، بلوک‌های سبک دانه عایق به کار برده شوند.

۱-۶-۴- سیستم‌های تاسیساتی و مکانیکی

همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، این بخش بیش‌ترین اتلاف انرژی در بخش ساختمان را دارا می‌باشد. در این قسمت موارد زیادی می‌تواند به کاهش مصرف انرژی کمک کند. برای مثال اولین نکته‌ای که می‌تواند بسیار مفید باشد، انتخاب سیستمی مناسب و با کیفیت می‌باشد، که بازدهی و طول عمر بالا و اتلاف انرژی کمی داشته باشد، اما قبل از آن بایستی به درستی محاسبات سرمایشی و گرمایشی انجام شود، طول لوله‌های مورد نیاز برای انواع بخش‌های مکانیکی و تاسیساتی اعم از لوله آب رسانی، فاضلاب، بهداشتی و غیره تعیین شود. همچنین لوله‌کشی مربوط به سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی برآورد و مهندسی شود و بنا به موقعیت و زیربنای خانه و با توجه به محیط و اقلیم اطراف خانه و محاسبات انجام گرفته، اندازه و نوع این دستگاه‌ها و لوله‌ها و مقدار آن‌ها انتخاب شوند.

از طرفی دیگر مرکز فناوری مدیریت انرژی و ساختمان آمریکا، طی پژوهشی، درصد کاهش مصرف انرژی بر اثر سرویس منظم^۱ را ۱۵ تا ۲۰ درصد اعلام کرده است. تعمیر و نگهداری و سرویس منظم سیستم تهویه مطبوع می‌تواند شامل تعویض قطعات، تعمیر و تمیزکاری تجهیزات، بررسی و برنامه‌ریزی طول عمر تجهیزات برای زمان‌بندی سرویس‌های بعدی باشد. بدیهی است که با فرسودگی هر یک از تجهیزات، راندمان آن‌ها و به طبع آن نسبت کارکرد مفید به انرژی مصرف شده در آن‌ها کاهش یابد. همچنین در آن دسته از تجهیزات تهویه مطبوع که از فیلترهای هوا استفاده می‌کنند، تجمع گرد و غبار و گرفتگی فیلترها می‌تواند منجر به تحت فشار کار کردن موتور فن‌ها و فشار آمدن به سیستم شود. از این رو، تعویض به موقع فیلترها، می‌تواند از اتلاف انرژی در این بخش پیشگیری کند.

در طی تحقیقی که در بیمارستان مرکزی شرکت نفت، طی ۴ ماه کارکرد آن انجام شده است، اقداماتی در بخش تاسیساتی و تجهیزات مکانیکی آن، برای کاهش مصرف انرژی صورت گرفته است که

^۱ HVAC

شامل استفاده از : هواساز مرکزی با سیستم بازیافت انرژی موتورخانه، مبدل‌های صفحه‌ای، شیرهای برقی و موتوری، پمپ‌های خطی با موتور دور متغیر تجهیزات برقی و کنترلی می‌باشند و نتیجه آن برای کاهش مصرف انرژی، طبق محاسبات انجام شده در جدول ۱-۱ بیان شده است [۱۱].

در این بخش هوشمندسازی ساختمان و اجرای سیستم‌های کنترلی نیز استفاده می‌شود که در ادامه به صورت مفصل به آن پرداخته خواهد شد.

جدول ۱-۱ درصد صرفه‌جویی در مصرف انرژی در مدت ۴ ماه [۱۱]

| | | |
|---------|--|-----------------|
| ۲۰ درصد | کنترل انرژی جهت گرمایش و سرمایش | تاسیسات برقی |
| | فرکانس کنورتور جهت تغییر دور فن و موتورها | |
| ۲۵ درصد | به کارگیری شیرهای کنترلی در ایربیم | تاسیسات مکانیکی |
| | استفاده از واحدهای سرمایش سقفی بدون فن | |
| | شیرهای کنترل جریان دو راهه و سه راهه | |
| | پمپ‌های دور متغیر | |
| | دستگاه بازیافت انرژی حرارتی و برودتی در هواساز | |

۱-۶-۵ اجرا

پس از انجام راهکارهای ارائه شده در قسمت‌های قبل که بیش تر مربوط به قبل از ساکن شدن افراد در

ساختمان می‌شود، به برخی از نکاتی که توسط خود ساکنین باید انجام شود اشاره می‌شود.

در این مرحله مهم است که دمای مورد نظر در خانه در حد مطلوبی باشد، به طوری که نیاز به باز کردن پنجره‌ها در زمستان نباشد، یا در تابستان با باز گذاشتن پنجره‌ها در ساعاتی خنک از شب، نیاز به استفاده مداوم از وسایل سرمایشی نباشد. در مواقعی که ساختمان یا بخشی از ساختمان خالی است نیاز به گرمایش و سرمایش آن فضا نیست، بنابراین نسبت به خاموش کردن وسایل الکترونیکی و مکانیکی اقدام شود.

توجه به نحوه درست استفاده از وسایل، سرویس دوره‌ای و منظم تجهیزات و حتی تعویض به موقع درزگیرها و تمیز کردن آن‌ها حائز اهمیت بسیاری است. همچنین مسدود نکردن جریان هوا توسط چیدمان منزل و در مواقع نیاز استفاده از نور و هوای مناسب بیرون، از جمله مواردی است که می‌تواند به صرفه‌جویی انرژی کمک کند.

اعمال هرگونه تغییر مثبت در هر زمینه‌ای، ابتدا نیازمند فرهنگ‌سازی و ارتقای درک جامعه از نیاز به آن تغییر است. از این رو لازم است دستگاه‌ها و نهادهای مختلفی که متولی فرهنگ در سطح جامعه هستند، از جمله صدا و سیما، آموزش و پرورش و غیره، به‌طور جدی در زمینه فرهنگ‌سازی صرفه‌جویی انرژی اهتمام ورزند. و مهم‌تر از آن مطالعه خود افراد جامعه و افزایش آگاهی در زمینه انرژی می‌باشد.

۱-۷- معایب راهکارهای کاهش مصرف انرژی ارائه شده

عیب اصلی راهکارهای گفته شده در بالا برای کاهش مصرف انرژی این است که می‌توانند به علت بافت قدیمی، کمبود جا، رعایت نکردن استانداردهای گفته شده توسط سازنده، کم‌توجهی و همچنین هزینه‌های بالا انجام نشوند. همان‌طور که اگر به بسیاری از ساختمان‌های در حال ساخت مراجعه نمایید، به خاطر هزینه‌های بالا ضعف مصالح، مناسب نبودن معماری، و رعایت نکردن خیلی از مواردی را که می‌تواند به بهبود امنیت و کارایی ساختمان کمک کند، مشاهده خواهید کرد.

عیب دیگر راهکارهای ارائه شده قبل، این است که اگر پس از اتمام مراحل ساخت، نیاز به تغییر یا بهبود در ساختمان باشد، یا این امکان وجود ندارد یا بسیار هزینه‌بر و وقت‌گیر است.

۸-۱- آشنایی با ترموستات

هوشمندسازی ساختمان از قرار دادن یک شیرکنترلی تا قراردادن ترموستات و حسگر می‌تواند آغاز شود و در آخر به نصب نرم‌افزارهای کنترلی و عملگرها توسعه یابد، که توسط کابل‌ها و یا حتی بدون سیم اطلاعات را دریافت، پردازش و تحلیل نماید و دستورات لازم را به عملگرها ارسال کند. و این کارکردها هم از راه نزدیک و هم از راه دور قابل انجام و کنترل است.

در این تحقیق، تغییرات مصرف انرژی در صورت قرار دادن یک ترموستات روی وسایل گرمایشی و سرمایشی و پیاده‌سازی الگوریتم کنترلی بر روی آن‌ها، که به‌طور خاص بر روی یک رادیاتور آلومینیومی و فن‌کوئل دو لوله قرار می‌گیرد، بررسی خواهد شد.

۱-۸-۱- تعریف ترموستات

کنترل کننده الکتریکی خودکار برای تنظیم دما در فضای بسته است، و معمولاً آن را به دستگاه‌های گرم یا سردساز متصل می‌کنند، تا با قطع و وصل دستگاه، آن فضا را در دمای تنظیم شده ثابت نگه دارد. ترموستات به روش‌های مختلفی ساخته می‌شود و می‌تواند از انواع سنسورها برای سنجش دما استفاده کند.

ترموستات‌ها در بخش‌های مختلف ساختمان، تاسیسات، شوفاژ خانه‌های مرکزی و کنترل دما در سیستم‌های هواساز، چیلر، فن‌کوئل و رادیاتور مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۲].

۹-۱- سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی

با پیشرفت و توسعه امکانات، وسایل گرمایشی و سرمایشی بسیار متنوع و زیادی تولید شده‌اند که هر کدام بنا به طراحی و ظرفیت خود، برای یک یا چند مکان خاص پرکاربردتر هستند.

هدف این پژوهش ساختمان‌های مسکونی است و در ادامه، سیستم تهویه مطبوع مناسب برای یک ساختمان نمونه، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۱۰- عوامل موثر بر انتخاب سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی

سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی را باید اصولی انتخاب نمود تا علاوه بر صرفه اقتصادی، گرمایش و سرمایش مطلوبی هم داشته باشند. اما فراموش نکنید که عواملی مانند هزینه مصرف انرژی، هزینه‌های سیستم گرمایش و سرمایش، متراژ و مساحت فضا و همچنین مدت زمان گرم و سرد نگه داشتن سیستم‌های گرمایش و سرمایش و غیره، در انتخاب مناسب سیستم نقش موثری دارند، که باید به آن توجه کرد، زیرا عدم توجه به عوامل ذکر شده باعث می‌شود تا سیستم گرمایشی و سرمایشی مناسبی انتخاب نشود و هزینه‌های زیادی را سبب شود.

با اینکه تمام عوامل ذکر شده از اهمیت بالایی برخوردار هستند، اما مهم‌ترین مسأله‌ای که در انتخاب نوع سیستم گرمایشی باید در نظر گرفته شود، مساحت محیطی است که نیاز است تا سیستم گرمایشی در آن فضا قرار گرفته و گرم شود. حتی اندازه خود سیستم هم از پارامترهایی است که نقش مهمی در کاهش هزینه‌های گرمایشی دارد.

در واقع اگر از دستگامی برای یک محیط استفاده کنید که ظرفیت بالایی دارد، نه تنها هزینه‌های اولیه را افزایش داده، بلکه به مرور زمان باعث ایجاد مشکل و عدم کارایی سیستم خواهد شد و اگر به صورت برعکس باشد و سیستمی با ظرفیت پایین در یک محیط بزرگ تعبیه شود، باید برای گرم و سرد نمودن فضا از حداکثر توان سیستم کار کشیده و این مسأله نه تنها مصرف انرژی را افزایش می‌دهد و از عمر سیستم می‌کاهد، بلکه هیچ تاثیری در گرم و سرد نمودن فضا هم نخواهد داشت.

۱-۱۱- سیستم‌های گرمایشی

بنا به تعداد طبقات و حجم مصرف ساختمان و همچنین فضای در دسترس برای نصب وسایل مورد نظر،

سیستم گرمایشی مورد استفاده در خانه‌های مسکونی معمولی می‌تواند متفاوت باشد که در ساختمان نمونه در نظر گرفته شده، پکیج انتخاب مناسبی می‌باشد.

۱-۱۱-۱- پکیج

دستگاهی که جایگزین موتورخانه‌های قدیمی است و سیستم گرمایش منزل و آب گرم مورد نیاز خانه را تامین می‌کند، پکیج نام دارد.

در بین پکیج‌های رایج در بازار، نوع فن‌دار آن مطابق با استانداردهای جهانی است و مورد تایید قرار می‌گیرد. این دستگاه علاوه بر گرمایش منزل، آب گرم مصرفی را نیز به صورت فوری و سریع در اختیار قرار می‌دهد. پکیج گازی مورد استفاده به دو صورت دیواری و زمینی بدون صدا موجود است.

پس از نصب پکیج‌ها نیاز به لوله‌کشی می‌باشد تا از طریق آن به وسیله پخش کننده گرما متصل شود و آب داغ را به داخل لوله‌ها بفرستد و از طریق رادیاتورها یا فن‌کویل‌ها محیط را گرم نماید.

۱-۱۱-۲- رادیاتور

به‌طور کلی یکی از روش‌های معمول گرمایش در آپارتمان‌های مسکونی، اداری و فروشگاه‌ها، استفاده از انواع رادیاتور آلومینیومی، برقی، فولادی و غیره می‌باشد. رادیاتور شامل یک محفظه فلزی توخالی آب‌بندی شده است که به صورت گرانشی، به وسیله‌ی یک پمپ فشاری و یا جابه‌جایی حرارتی با آب داغ تغذیه می‌شود. این آب توسط سیستم حرارت مرکزی ساختمان (موتورخانه) یا پکیج، گرم می‌شود و آب گرم‌شده توسط پمپ و لوله‌ها به قسمت‌های مختلف ساختمان هدایت شده و وارد رادیاتورهای هر قسمت می‌شود. آب گرم زمانی که گرمای خود را از دست داد، دوباره به موتورخانه و پکیج هدایت می‌شود تا گرم شده و این چرخه بارها تکرار می‌گردد. اغلب یک وسیله ضد ضربه قوچ برای جلوگیری از ضربه دیدن لوله‌های آب گرم رادیاتور نصب می‌شود.

نحوه گرم شدن اتاق با رادیاتور به صورت جابجایی آزاد یا طبیعی می‌باشد. هوای بالای رادیاتور غالباً

به دلیل گرم شدن سبک شده و به طرف بالا حرکت می‌کند. و هوای سرد طرف مقابل اتاق جایگزین آن می‌شود. به همین ترتیب یک چرخش طبیعی در جریان هوای اتاق به وجود آمده و دمای تمامی نقاط اتاق بالا رفته و اتاق گرم می‌شود.

رادیاتور یا شوفاژ بدون هرنوع موتور یا وسیله برقی است. پس نمی‌توان توسط رادیاتور دمای اتاق را کنترل کرد.

علاوه بر دلیل گفته شده، همچنان استفاده از رادیاتور برای گرمایش فضاها، به جای وسایل به روزتر بیش‌تر رایج است، در نتیجه برای نزدیک‌تر بودن به یک نمونه واقعی، در این پایان‌نامه با پیاده‌سازی الگوریتم کنترلی و هوشمندسازی آن، دمای اتاق در زمستان کنترل خواهد شد و میزان کاهش مصرف انرژی قبل و بعد از هوشمندسازی بررسی خواهد شد.

۱-۱۱-۲-۱- انتخاب رادیاتور

پس از بررسی‌های انجام گرفته، رادیاتور پره‌ای آلومینیومی انتخاب شده است که در ادامه علت آن بیان خواهد شد.

رادیاتور پره‌ای قدیمی‌ترین نوع رادیاتور است و همان‌طور که از اسمش مشخص است، از کنار هم قرار گرفتن تعدادی پره تشکیل شده است. هرچه تعداد پرها بیش‌تر باشد، قدرت گرمادهی آن هم بیش‌تر خواهد بود. رادیاتور پره‌ای از آلومینیوم یا فولاد ساخته شده است.

این نکته را باید بدانید که آلومینیوم ضریب هدایت حرارتی بالاتر از فولاد دارد و به همین دلیل هم گرمادهی بیش‌تری دارد، سبک‌تر است، در رطوبت بالا قابل استفاده است و در هنگام تولید و استفاده از مواد اولیه، آلاینده‌های کم‌تری تولید می‌کند، اما قیمت بالاتری دارد. اما این تفاوت قیمت طی مدت استفاده، به دلیل گرمادهی بیش‌تر و کاهش مصرف انرژی جبران می‌شود.

همچنین رادیاتور پره‌ای قابلیت اضافه کردن و تعویض پره، بعد از نصب را دارد، در صورتی که در نمونه پنبلی، این امکان وجود ندارد.



شکل ۱-۸ رادیاتور آلومینیومی

۱۱-۲-۲- انتخاب محل نصب رادیاتورها

معمولا سردترین مکان در اتاق نزدیک پنجره است و علاوه بر آن از طریق درزهای پنجره، امکان نفوذ هوا به داخل اتاق وجود دارد، جایگاه و اندازه رادیاتورها با توجه به موقعیت پنجره مشخص می‌شود. از این رو بهترین توزیع دما در اتاق و بهترین جبران برای هدررفت گرما، وقتی رخ می‌دهد که رادیاتور زیر پنجره نصب شود. اگر رادیاتور که حدود ۶۰ درصد گرما را به صورت جابجایی منتقل می‌کند، به صورت آزاد جلوی دیوار بیرونی زیر پنجره نصب شود، نیروی شناوری هوای گرم آن، به قدری بزرگ خواهد بود، که امکان نفوذ هوای سرد شده روی وجه داخلی پنجره و هوای سرد وارد شده از درزهای پنجره، به درون اتاق را منتفی بسازد، با این کار جریان هوا در اتاق (گردش هوای اتاق) برقرار خواهد شد.

هرگاه رادیاتور زیر پنجره نصب شود طول آن باید معادل پهنای پنجره انتخاب شود. با این کار جریان عمودی هوا متعادل می‌شود و گرمای تابشی رادیاتور بیش تر می‌شود.

۱۲-۱- سیستم‌های سرمایشی

سامانه‌های سرمایشی متفاوتی برای ایجاد برودت در منازل و ادارات مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از طرفی برخی سیستم‌ها عمل سرمایش و گرمایش را با هم انجام می‌دهند. در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته خواهد شد.

۱-۱۲-۱- چیلر

حرارت توسط چیلر از مایع یا مبرد بر اساس سیکل تبرید تراکم بخار و یا جذبی گرفته می‌شود. این مایع می‌تواند برای سرد کردن هوای محیط یا دستگاه‌ها استفاده شود. و حرارتی را که از مایع جذب شده، یا باید به محیط خارج دفع شود یا توسط تدابیر در نظر گرفته شده، برای مقاصد گرمایی دیگر مورد استفاده قرار گیرد.

چیلرها به دو دسته کلی چیلرهای جذبی و چیلرهای تراکمی دسته بندی می‌شوند.

در بسیاری از منازل، مشکل کافی نبودن سرمایش حاصل از کولرهای آبی و یا هزینه‌ی زیاد کولرهای گازی موجب شده است که چیلرها به عنوان یکی از بهترین گزینه‌های موجود برای سرمایش به شمار آیند. همچنین در مجتمع‌های اداری به دلیل بالا بودن ابعاد ساختمان، چیلرها می‌توانند بهترین سرمایش را به صورت یکنواخت برای کاربران ایجاد کنند.

در یکی از روش‌های معمول برای سرمایش، چیلرها با فرستادن آب سرد از طریق لوله‌کشی به فن‌کوئل‌ها، به سرمایش فضا می‌پردازند.

۱-۱۲-۲- فن‌کوئل

فن‌کوئل آخرین بخش از یک سیستم تهویه مطبوع است که به صورت مستقیم در ساختمان‌های مسکونی، تجاری و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این دستگاه شامل یک فن دمنده و یک مبدل حرارتی (کوئل سرد و گرم) است، تا عمل انتقال حرارت و تهویه هوا را به صورت جابه‌جایی اجباری انجام دهد. به هر کوئل دو لوله متصل می‌شود، که یکی لوله ورود آب گرم از بویلر در زمستان یا لوله ورود آب سرد چیلر در تابستان و دیگری لوله مخصوص برگشت آب به موتورخانه مرکزی است. فن‌کوئل‌ها

می‌توانند هم به صورت دستی توسط سوئیچ دستی و هم از طریق ترموستات کنترل شوند و به دلیل سادگی و انعطاف‌پذیری در نصب و راه اندازی، می‌توانند نسبت به دیگر سیستم‌های تهویه مطبوع مشابه، اقتصادی‌تر و کاربردی‌تر باشند.

۱-۱۲-۱- انتخاب فن کویل

فن‌کویل‌ها دارای انواع مختلف سقفی، دیواری و غیره هستند که در ساختمان‌های مسکونی، به خصوص خانه‌هایی که دارای سیستم گرمایش غیر از فن‌کویل هستند، از فن‌کویل دو لوله‌ای زمینی استفاده می‌شود، چرا که هنوز بسیاری از خانه‌ها دارای سقف کاذب نیستند و بسیاری به مدل دیواری علاقه ندارند. همچنین با توجه به ظرفیت این مدل و بار برودتی مورد نیاز، استفاده از فن‌کویل زمینی در این تحقیق نسبت به سایر مدل‌ها پیشنهاد می‌شود.

فن‌کویل‌های زمینی معمولاً مکش هوا را از پایین و دهش هوا را از بالای دستگاه انجام می‌دهند. در مکان‌هایی که نیاز به بازسازی دارند و امکان شکافتن سقف و جانمایی فن‌کویل‌های سقفی وجود ندارد، استفاده از فن‌کویل‌های زمینی می‌تواند گزینه بسیار مناسبی باشد. فن‌کویل‌های زمینی معمولاً در ظرفیت‌های ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ فوت مکعب بر دقیقه تولید می‌شوند.



شکل ۱-۹ فن‌کویل زمینی

۱-۱۳- پرده برقی

یک طراحی پویای هوشمند، که در نمای ساختمان قرار داده می‌شود و پرده برقی نام دارد، از دیگر وسایلی است، که برای کاهش مصرف انرژی و هوشمندسازی ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۳].

در تابستان میزان تشعشع خورشید بالاست و با عبور مقدار زیادی از آن از پنجره‌ها، دمای داخل خانه افزایش می‌یابد. و همین امر باعث کارکرد بیش‌تر وسایل سرمایشی می‌شود.

به‌طور کلی باز و بسته شدن پرده‌های برقی توسط ریموت انجام می‌گیرد. همه پرده برقی‌ها دارای یک موتور قدرتمند هستند که در انتهای ریل آن‌ها قرار می‌گیرد و سیستم کنترلی آن‌ها، می‌تواند بر روی دیوار هم نصب شود.

پرده برقی‌ها در انواع مدل و جنس وجود دارند و به دو صورت عمودی و افقی باز و بسته می‌شوند. پرده‌هایی که به‌صورت عمودی باز و بسته می‌شوند معمولاً بدون چین هستند. این پرده‌ها در قسمت بالایی، بخشی برای رول شدن پرده دارند.

پرده‌های برقی افقی یا کناری، مشابه پرده‌های چین دار ساده هستند که در اکثر منازل وجود دارد. پرده برقی افقی، دارای ریلی است که به‌صورت افقی عمل می‌کند. گیره‌های پرده که درون ریل قرار گرفته‌اند، توسط موتور، جابه‌جا می‌شوند.

برای پرده برقی به‌راحتی می‌توانید، ساعت دلخواهی را جهت باز و بسته شدن، تعریف نمایید. یا اگر در نظر دارید نحوه باز و بسته شدن پرده از طریق فوتوسل صورت بگیرد، می‌بایست از روی مانیتور لمسی هوشمند خود کلید فوتوسل را لمس نمایید. که در این صورت پرده‌ها با توجه به نور خورشید در ابتدای روز باز شده و در هنگام غروب بسته خواهند شد.

در صورتی که قصد داشته باشید پرده‌ها در ساعت خاصی باز یا بسته شوند می‌توانید با فعال نمودن

کلید ساعت، از روی مانیتور، زمان دلخواه خود را برنامه‌ریزی نمایید و یا به‌وسیله اپلیکیشن نصب‌شده بر روی گوشی و تبلت خود در سناریوهای متفاوت، از راه دور یا نزدیک میزان نور وارد شده به منزل را تنظیم و کنترل نمایید.

۱-۱۴- مروری بر فصل های پایان نامه

در فصل اول، به بحران انرژی در جهان و ایران، و تاثیر آن بر زندگی و اقتصاد و محیط پرداخته شد. سپس راه حل های پیشنهادی برای کاهش مصرف انرژی گفته شد. سپس برخی از وسایل گرمایشی و سرمایشی متداول در ساختمان ها معرفی شدند.

در فصل دوم، به راهکار نسبتا جدیدی که در طی ۵۰ سال اخیر رواج یافته است اشاره می شود، که همان هوشمندسازی یا مدیریت انرژی ساختمان نام دارد و مزایای آن نام برده می شود. در ادامه به مروری بر مطالعات و پژوهش های پیشین در زمینه هوشمندسازی ساختمان پرداخته شده است. در انتها معرفی و ضرورت و نوآوری تحقیق حاضر بیان می شود.

در فصل سوم، مدل سازی فضای مورد نظر انجام گرفته است و معادلات بقای انرژی در آن بسط داده شده است. و با استفاده از روش ظرفیت فشرده، معادلات دیفرانسیلی حاکم بر توزیع دما، بر دیوارها و داخل و خارج اتاق ساختمان به دست آمده است. و با نرم افزار متلب برنامه نویسی الگوریتم کنترلی آن انجام شده است.

در فصل چهارم، ابتدا اعتبارسنجی پژوهش حاضر با نرم افزارهای مرتبط، مانند هپ کریر مورد بررسی قرار می گیرد، سپس نتایج و نمودارهای حاصل از بررسی دو حالت وجود و عدم وجود الگوریتم کنترلی، عایق و پرده برقی ارائه می شود.

در فصل پنجم نیز، نتایج حاصل از این تحقیق ارائه و بررسی شده است و پیشنهادهایی برای تحقیقاتی که در آینده می توانند انجام شوند، ارائه شده است.

۲- فصل دوم

مروری بر پژوهش‌های پیشین

۱-۲- مقدمه

سرمایش و گرمایش، از جمله مهم‌ترین نیازهای بشر است. از زمانی که انسان توانایی کنترل گرمایش و سرمایش محیط اطراف خود را پیدا کرد، به فکر ایجاد دمای مطلوب، در اطراف خود پرداخت. سیستم‌های زیادی، از گذشته تا به امروز ایجاد و مورد استفاده قرار گرفته‌اند و برخی از رده خارج شده‌اند، و این روند رو به تکامل ادامه دارد.

کاهش مصرف انرژی در بخش مسکونی، یکی از اولویت‌های کشورهای توسعه‌یافته است، که به الزامات مندرج در دستورالعمل اتحادیه اروپا مربوط می‌شود. با توجه به این موضوع، اقدامات اصلی بر کاهش مصرف انرژی، در ساختمان‌های از پیش ساخته شده تمرکز می‌کنند، چرا که ساختمان‌های جدید، کم مصرف‌تر هستند و از طرفی آگاهی مردمی که قرار است در این ساختمان‌ها ساکن شوند افزایش یافته است [۱۴، ۱۵] و همچنین با سیستم‌های کنترلی اضافی تجهیز شده‌اند [۱۶، ۱۷].

در این فصل، ابتدا به معرفی ماهیت هوشمندسازی و مزایای آن پرداخته می‌شود، در ادامه مطالعات و پژوهش‌های پیشین انجام گرفته در زمینه کنترل دما، از گذشته تا به امروز، توسط ترموستات، و سپس برخی پژوهش‌های انجام شده، به منظور بهبود عملکرد بر روی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی و هوشمندسازی آن‌ها، بیان می‌شود. و در نهایت معرفی و ضرورت انجام تحقیق حاضر بیان می‌شود.

۲-۲- هوشمندسازی

در ساختمان‌ها برای کاهش مصرف انرژی روش‌های مختلفی ارائه شده است که در طی ۵۰ سال اخیر با پیدایش سیستم‌های هوشمند کنترل دما، روشنایی، تهویه مطبوع و غیره، کاهش مصرف انرژی در ساختمان به میزان موثری امکان پذیر شده است.

کلمه "هوشمند" برای اولین بار برای توصیف ساختمان‌ها در ایالات متحده، در ابتدای دهه ۱۹۸۰ استفاده می‌شد. مفهوم "ساختمان هوشمند" با توسعه فناوری اطلاعات و تقاضای رو به افزایش برای زندگی راحت و کنترل امنیت ساکنان روی کار آمد [۱۸].

به کارگیری امکاناتی که خانه را در اصطلاح هوشمند^۲ می‌کند، همواره یکی از مواردی بوده است که بشر توجه زیادی به آن داشته است. خانه هوشمند به خانه‌ای گفته می‌شود که ساکنین آن امکان تنظیم و کنترل تجهیزات الکترونیکی منزل خود را از راه دور و نزدیک داشته باشند و نیز بتوانند برنامه‌های مختلف و سناریوهای متنوعی را برای آن تجهیزات تعریف و اجرا نمایند.

و بطور کلی هوشمندسازی ساختمان، به مجموعه تجهیزاتی که به منظور افزایش کارایی، بهره‌وری و ایجاد محیطی مطبوع برای ساکنین آن طراحی و اجرا می‌گردند، نامیده می‌شود.

با ورود سیستم‌های جدید از قبیل ترموستات، کنترلر دما، کنترل روشنایی، پرده برقی، موتورخانه، اعلام حریق، کنترل دسترسی، دوربین مدار بسته و غیره در ساختمان‌ها و لزوم کنترل مرکزی آن‌ها، وجود یک سیستم یکپارچه و قابل برنامه‌ریزی احساس می‌گردد. و این سیستم کنترل مرکزی مدیریت انرژی ساختمان نام دارد.

¹ Intelligent Building

² Smart

۳-۲- مدیریت انرژی ساختمان^۱

سامانه مدیریت یکپارچه و هوشمند ساختمان، به مجموعه سخت‌افزارها و نرم‌افزارهایی اطلاق می‌شود که به منظور پایش و راهبری یکپارچه قسمت‌های مهم و حیاتی ساختمان نصب می‌شوند. وظیفه این مجموعه، پایش مداوم بخش‌های مختلف ساختمان و اعمال فرمان به نحوی است که عملکرد اجزای مختلف ساختمان متعادل با یکدیگر و در شرایط بهینه باشد، مصارف ناخواسته کاهش یابند و محیطی مطبوع و امن ایجاد شود. این سیستم، مدیریت و کنترل وضعیت ساختمان از طریق سیستم خودکار کنترل روشنایی، کنترل تردد ورودی‌ها و خروجی‌ها، کنترل سرمایش و گرمایش، اعلام اطفای حریق، کنترل موتورخانه و ارتباط منطقی این سیستم‌ها را امکان پذیر می‌سازد [۵]. و از طریق اجزای خود کنترل قسمت‌های مختلف ساختمان و نمایش خروجی‌های مناسب را برای کاربر امکان پذیر می‌نماید.

قسمت‌های مختلف تحت کنترل معمولاً شامل تاسیسات مکانیکی و سیستم تهویه مطبوع (HVAC) و تجهیزات روشنایی بوده که می‌تواند به سیستم‌های ایمنی، آتش‌نشانی، تنظیم دسترسی، تامین برق اضطراری و غیره، نیز گسترش یابد. به‌طور کلی هدف از استفاده از سیستم‌های BMS^۱ در ساختمان تطبیق شرایط کارکرد اجزای مختلف با توجه به شرایط محیطی و نیاز ساختمان در آن زمان است.

در سیستم مدیریت ساختمان بسیاری از اعمالی که ساکنان از روی عادت و به‌صورت غیر ارادی انجام می‌دهند، توسط سیستم‌های هوشمند انجام می‌گردد، که باعث صرفه‌جویی در زمان و هزینه نیروی انسانی شده و به علاوه کاهش مصارف انرژی، کاهش هزینه‌های انرژی، کاهش خطاپذیری و افزایش اثربخشی سیستم را به دنبال دارد. با به کارگیری انواع حسگرها در داخل و خارج ساختمان و با به کارگیری یک سیستم واحد می‌توان به‌صورت لحظه‌ای، کنترل تمامی شرایط آسایشی و امنیتی را در

^۱ Building Management Systems

اختیار داشت و از آن‌ها در جهت رسیدن به شرایط ایده‌آل استفاده کرد. برای این منظور، نیاز به تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری خاص می‌باشد که با گردآوری اطلاعات محیطی و انتقال داده‌ها به سیستم مرکزی، روند کنترل و مدیریت ساختمان اجرا می‌گردد.

در ساختمان‌های هوشمند با استفاده از سیستم خودکار کنترل روشنایی ساختمان، کنترل سیستم سرمایش و گرمایش، کنترل دوربین‌های مدار بسته، کنترل درها، کنترل وضعیت‌های اضطراری همچون آتش‌سوزی، زلزله و بسیاری کنترل‌های هوشمند دیگر، مصرف انرژی به نحو چشمگیری کاهش می‌یابد. سیستم مدیریت انرژی ساختمان هم اکنون بخش مهمی از ساختمان‌های مدرن است، هرچند که پتانسیل آن در عمل به‌صورت کامل درک نشده است. البته با توجه به توسعه ریزپردازنده‌های کامپیوترها و ارتباطات، سهم آن افزایش خواهد یافت [۱۹].

۲-۴- مزایای کلی استفاده از BMS

از مزایای سیستم مدیریت انرژی ساختمان، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۲۰].

۱. حذف مصارف ناخواسته در ساختمان :
 ۲. کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری
 ۳. پایش دائمی کلیه اجزای ساختمان
 ۴. حذف خطاهای اپراتوری
 ۵. اعلام وضعیت اجزا برای جلوگیری از خرابی و وقفه در کار اجزای ساختمان
 ۶. مدیریت ساختمان هنگام بروز حوادث
 ۷. اولویت بندی هوشمندانه مصارف هنگام اضطرار
- از سایر مزایای هوشمندسازی ساختمان می‌توان به افزایش ایمنی ساختمان، راندمان بالای تاسیسات،

وجود محیطی مطبوع و راحت، کاهش مصرف انرژی و در نتیجه کاهش هزینه‌ها نام برد.

مقالات و منابع مختلف بنا به میزان و نوع استفاده از وسایل هوشمندسازی، مقادیر متفاوتی را برای میزان کاهش مصرف انرژی در هنگام هوشمندسازی ساختمان بیان کرده اند، که اکثرا این میزان درصد بین ۲۰ تا ۴۰ درصد برآورد شده است.

در هنگام ساخت ساختمان یا بعد از آن، مسئولین مربوطه به دلایل مختلف حاضر به هوشمندسازی ساختمان نیستند و مهم‌ترین دلیل آن‌ها میزان هزینه‌ی اولیه‌ای است که بایستی در ابتدای کار برای این کار خرج کنند.

اما این تفکر بسیار اشتباه است، چرا که این هزینه در کل متراژ ساختمان و سایر هزینه‌ها، آن‌چنان زیاد نیست، ضمن آن‌که بنا به مورد مربوطه، طی ۱ تا ۵ سال طی صرفه‌جویی‌هایی که در مصرف انرژی می‌شود، هزینه اولیه به‌صورت کامل جبران می‌شود.

۵-۲- مروری بر تاریخچه ترموستات

از آنجا که اولین آتش در یک غار روشن شده است، گرمایش و سرمایش برای فراهم کردن راحتی و آسایش در خانه‌ها به مداخله انسان‌ها نیاز دارد [۲۱, ۲۲].

رومی‌ها نخستین کسانی بودند که از مفهوم ساده آتش به سمت سیستمی با حرارت مرکزی پیش رفتند. بدین صورت که از جریان هوای داغ چوب‌های در حال سوختن، که در اتاق‌های زیرزمینی یا حوضچه‌ها قرار داشتند برای گرمایش خانه‌ها و سایر مکان‌ها استفاده می‌کرده‌اند [۲۳].

در واقع کلمه ترموستات از دو واژه یونانی ترموس^۱ (گرم) و استیتوس^۲ (وضعیت) گرفته شده است.

کورنلیوس ون دربل^۳ [۲۱] (متولد ۱۵۷۲-آلکاماز-هلند) معمولاً برای اختراع ترموستات اتوماتیک کنترل دما، به شکل یک دستگاه مکانیکی شناخته می‌شود. به عبارت دیگر اختراع ون دربل قادر به تنظیم درجه حرارت اجاق‌های کوره بود.

تاریخچه مدرن ترموستات در آمریکا، شامل دو شرکت جانسون کنترل^۴ و هانی ول^۵ می‌شود، که هنوز هم در زمینه ساخت کنترلرهای گرمایی ساختمان‌های امروزی فعالیت دارند.

در سال ۱۸۸۳، وارن اس جانسون^۶ [۲۲] حق ثبت اختراع را، برای اولین ترموستات الکتریکی اتاقی دریافت کرد. پس از مرگ جانسون، شرکت جانسون تمرکز خود را بر روی کنترل دمای ساختمان‌های

¹ Thermos

² Status

³ Cornelius van Drebbel

⁴ Johnson Controls

⁵ Honeywell

⁶ Warren S. Johnson

غیر مسکونی قرار داد.

در سال ۱۸۸۵، آلبرت بتز^۱ یک تنظیم کننده^۲ کوره با استفاده از یک کنترل کننده^۳ دمپر توسعه داد، تا هوای ورودی به کوره را کنترل کند. و شرکت آلبرت، تنظیم کننده گرمایش الکتریکی^۴، در نهایت هانی ول نام گرفت.

در سال ۱۹۰۶، هانی ول اولین ترموستات قابل برنامه‌ریزی را که از یک ساعت استفاده می‌کرد، تولید کرد. بدین صورت که در شب دما را کم و در روز دما را افزایش می‌داد.

در سال ۱۹۲۴، اولین ترموستات کنترل کننده یک سیستم حرارت مرکزی، که از یک وسیله مکانیکی حساس به دما، برای محاسبات تغییرات دما و همچنین جیوه در یک لوله کج لرزان، که برای برقراری تماس با الکترودهای درون لوله‌ای که کوره را کنترل می‌کند به کار می‌رود، ساخته شد. در حالی که رابط ترموستات معمولی یک جعبه مستطیلی ساده روی دیوار بود که از اهرم‌های کشویی برای کنترل دما استفاده می‌کرد.

مدل گرد هانی ول^۵ که همه جا وجود دارد، در سال ۱۹۵۳ به بازار آمد و همچنان در دسترس است، نیاز دارد تا استفاده کننده آن را بچرخاند. این مدل از ترموستات‌ها، ترموستات‌های دستی، استاندارد و یا مکانیکی نامیده می‌شوند. و در آن دو دمای فعلی و هدف، در یک مقیاس آنالوگی نشان داده می‌شوند.

در طول ۴۰ سال گذشته خط مشی‌های گوناگون باعث توسعه ویژگی‌ها و قابلیت‌های موجود در

¹ Albert Butz

² regulator

³ flapper

⁴ The Electric Heat Regulator Co.

⁵ The ubiquitous Honeywell Round

ترموستات‌ها شده است. برای مثال اولین بحران نفتی در سال ۱۹۷۳ اتفاق افتاد، و اولین برنامه و استاندارد انرژی را ایجاد کرد (استانداردهای بازدهی انرژی ساختمان^۱).

در سال ۱۹۷۸، در برخی خانه‌های تازه ساخت کانادا، ترموستات‌های ساعتی مورد استفاده قرار گرفتند. این ترموستات‌ها برای ذخیره انرژی، نقطه تنظیم شده دما^۲ را هنگامی که افراد در خواب هستند کم کند.

مطالعات انجام شده دهه ۷۰ بر جریان‌های انرژی داخل خانه، بیان کرده است که: کاهش دما به اندازه ۱ درجه فارنهایت، توسط ترموستات ساعتی برای ۸ ساعت شب، در ۲۴ ساعت یک شبانه روز، میزان مصرف گاز طبیعی را ۱ درصد کاهش می‌دهد [۲۴].

در سال ۱۹۹۵، برنامه حفاظت محیطی آژانس ستاره انرژی^۳ اعلام کرد که صاحبان خانه ای که از ترموستات قابل برنامه‌ریزی استفاده می‌کنند، سالانه ۱۸۰ دلار صرفه‌جویی خواهند کرد [۲۵].

ویژگی‌های ستاره انرژی شامل صرفه‌جویی انرژی، تنظیم راحت درجه حرارت، بهبود کارایی سیستم‌ها و غیره می‌باشد. به همین دلیل پس از مدتی مصرف‌کنندگان متوجه شدند که علامت ستاره انرژی بر روی یک دستگاه، کارایی موثر تجهیزات در مصرف انرژی را نشان می‌دهد و تولیدکنندگان مجبور شدند با الزامات ستاره انرژی آشنا شوند و آن‌ها را رعایت کنند.

همچنین در دهه ۹۰، برنامه‌ریزی‌های پیچیده‌تری به بازار آمد که برای آخر هفته و طول هفته، ترموستات برای کنترل دما متفاوت عمل کند.

¹ Building Energy Efficiency Standards

² setpoint

³ Energy Star

در قسمتی از استانداردهای بهره‌وری انرژی ساختمان کالفرنیا در سال ۲۰۰۸، که مرجع شماره ۲۴ نامیده می‌شود، گفته شده است که ترموستات‌ها باید توانایی برنامه‌ریزی دمایی برای حداقل ۴ سناریو مختلف را در روز داشته باشند.

با پیشرفت و افزایش امکانات تلفن‌های همراه و اینترنت خانگی، کنترل از راه دور ترموستات‌ها امکان پذیر شده است. از جمله برنامه‌هایی که برای ترموستات توسط موبایل توسعه داده شدند، سیستم موقعیت‌یابی جهانی^۱ است، که موقعیت مکانی را اطلاع می‌دهد و زمان رسیدن به خانه را اطلاع داده و بر این اساس دمای خانه توسط ترموستات تنظیم می‌شود [۲۶].

ترموستات‌های برنامه‌ریزی شده‌ای که به شبکه اینترنت متصل اند در حال حاضر توسط اپریلر^۲، پرولیفیکس^۳ و ایکوبی^۴ ساخته شده اند.

اتصال به اینترنت باعث به وجود آمدن شرکت‌هایی نظیر اکوفکتور^۵ شده است، که سرویس ترموستات‌های صرفه‌جوی انرژی را به فروش می‌رسانند [۲۷].

از طرفی شرکت‌هایی نظیر کنترل فور^۶ که در زمینه اتوماسیون‌های خانگی متخصص هستند، تابعی تعریف کردند تا از طریق تلویزیون یا صفحه نمایشگر تبلت، ترموستات را توسط اینترنت کنترل کنند.

ترموستات‌ها راه درازی را از کنترل ساده گرما و سرما و تنظیم دما شروع کردند، تا امروز که می‌توانند

¹ GPS

² Aprlaire

³ Proliphix

⁴ Ecobee

⁵ Ecofactor

⁶ Control4

تهویه فن‌ها و مقدار رطوبت را به صورت یک یا چند منطقه‌ای کنترل کنند. این روند، ترموستات‌ها را از یک وسیله سیمی برای سیستم سرمایش و گرمایش به یک محصول جداگانه و قابل اتصال به نرم‌افزار و همچنین قابل برنامه‌ریزی تبدیل کرده است.

۲-۶- تحقیقات انجام شده برای هوشمندسازی و بهبود عملکرد رادیاتور

در ساختمان‌های جدید در کشورهای اروپایی و آمریکا، استراتژی کنترل سیستم‌های گرمایشی، از حداقل مقررات مرکزی پیروی می‌کند و تنظیمات خود را براساس دمای بیرون قرار می‌دهد و از شیرهای ترموستاتیک، برای کنترل دما و یا سایر روش‌های پیچیده‌تر، نظیر مدل کنترل پیش بین^۱ استفاده می‌کنند، که نه تنها باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود [۲۸]، بلکه نقطه مصرف پیک انرژی را کاهش می‌دهد [۲۹].

تاهریسم^۲ و همکاران [۳۰]، یک کنترلر بر اساس پارامتر خطی پیشنهاد شده^۳، به منظور بهبود پایداری رادیاتور در شرایطی که تقاضا کم باشد طراحی کرده‌اند.

ژو^۴ و همکاران [۳۱]، یک مدل برای شبیه‌سازی حرارتی و هیدرولیکی سیستم‌های گرمایش هوا با رادیاتور، که دارای شیر ترموستاتیک هستند را، در ساختمان‌های چند طبقه، توسعه دادند. سپس آن‌ها این بررسی در این زمینه را ادامه دادند [۳۲]، و در نهایت مدلی را ارائه دادند که در آن آب عبوری از رادیاتور به صورت روزانه، بر اساس عملکرد جریان سیستم قابل تغییر است.

¹ Model Predictive Control

² Taherisma

³ LPV

⁴ Xu

سیفرت^۱ و همکاران [۱۲]، یک راه حل تحلیلی برای کنترل حلقه دمایی اتاق پیشنهاد کردند که فقط به چند پارامتر ورودی نیاز داشت.

۷-۲- پژوهش‌های انجام شده برای هوشمندسازی و ارتقاء عملکرد فن کویل

واحدهای فن کویل به صورت گسترده‌ای در دفاتر اداری، ساختمان‌های مسکونی و هتل آپارتمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند و مصرف کلی انرژی آن به علت استفاده زیاد و مدت زمان کار طولانی قابل توجه است [۳۳].

ژو^۲ و همکاران [۳۴]، یک روش کنترل فازی نسبی، برای یک فن کویل دو لوله، با تابع سرعت برای سه حالت، برای کنترل شیر آب و میزان هوادهی فراهم کردند. و با بررسی با حالت معمولی استفاده از یک فن کویل، به این نتیجه رسیدند که میزان روشن بودن فن کویل و حجم هوادهی با روش فازی کاهش می‌یابد.

چو^۳ و همکاران [۳۵]، روش تخمین حداقلی، برای آنتالپی پیشنهاد دادند تا با پیش بینی آنتالپی درون اتاق و همچنین ترکیب با کنترل فازی و اجرا بر روی برنامه عملکردی فن کویل، بازدهی و ضریب اطمینان آن را بهبود ببخشند.

کی^۴ و همکاران [۳۶]، یک روش جدید بر مبنای دمایی هوا متغیر و حجم هوادهی متغیر، برای فن کویل ارائه دادند، که با باز و بسته کردن بایپس دمپر، به منظور تنظیم کردن مقدار و مخلوط کردن حجم هوای اولیه و هوای برگشتی، انجام می‌شود. در این حالت تغییرات دمایی در قسمت آب سرد کویل

¹ Seifert

² Zhao

³ Chu

⁴ Ke

سرمایش بهبود می‌یابد و به طبع آن مصرف انرژی نیز کاهش می‌یابد.

کم^۱ و همکاران [۳۷]، با معرفی روش تهویه متوسط زمانی، برای دمپر به صورت تعویض حالت تا قسمتی باز و کاملاً بسته برای سیستم حجم متغیر، برای هر فضا، روشی را در پیش گرفتند که برای هر فضا، میانگین جریان هوای ساعتی، با مقدار هوای مورد نیاز تهویه، در هر منطقه تک‌واحدی منطبق باشد. در نتیجه، مصرف برق فن به میزان ۱۵ درصد کاهش می‌یابد.

لی^۲ و همکاران [۳۸]، یک برنامه کاری متصل به شبکه، برای کنترل فازی اجرایی روی فن‌کویل‌ها به وجود آوردند، که دارای گرافیک بالا و رابط کاربری همه پسندی بود. و مطابق انتظار، استفاده از این شبکه نشان داد که استفاده آن، بر روی فن‌کویل‌های دارای کنترل فازی، بهره‌وری بالاتر انرژی آن‌ها را سبب می‌شود.

۲-۸- تاثیر استفاده از پرده برقی بر کاهش مصرف انرژی

امروزه استفاده از پرده‌های برقی و سایه‌بان برقی در نمای ساختمان، مورد توجه قرار گرفته است. در طول دوازده سال گذشته، مطالعات تجربی و شبیه‌سازی گسترده‌ای برای بررسی انواع مختلف نمایه‌های پویا انجام شده است [۱۳].

استفاده از نمای خارجی متحرک از دهه ۱۹۶۰ ارائه شده است. یکی از اولین نمونه‌های خوب و سازنده، توسط ریچارد نوترا^۳ در سال ۱۹۶۲ در لس آنجلس طراحی شد [۳۹].

القازی^۴ و همکاران [۴۰]، شبیه‌سازی بر روی نمای جنوبی اتاق یک دفتر در شهر اسوان مصر انجام

¹ Kaam

² Le

³ Richard Neutra

⁴ Elghazi

دادند. آن‌ها از یک صفحه متحرک برای عبور نور به صورت ماهانه و سالانه استفاده کردند تا تحت تاثیر تغییر شرایط آب و هوایی، استفاده به صرفه نور را، در صورت وجود حالت متحرک بررسی کنند و نتیجه آن شد که نسبت به حالت پرده ثابت، عملکرد بهتری از خود نشان داد.

لونن^۱ و همکاران [۴۱]، پوسته جدیدی با نام، پوسته سازگار با محیط زیست^۲، طراحی کردند که قابلیت تغییر وضعیت هوشمند، براساس تقاضا و شرایط محیط را دارا بود.

همچنین لونن و هسن^۳ [۴۲]، در مورد الزامات، چالش‌ها و راه حل‌ها، برای بهینه‌سازی طراحی مبتنی بر شبیه سازی CABS و مطالعه متمرکز بر دستیابی به صرفه‌جویی انرژی، در حالی که افزایش کیفیت محیطی و عملکرد نور روز و راحتی را در برداشته باشد بحث کردند.

کنسک^۴ و هانسوات^۵ [۴۳]، تاثیر سیستم‌های متحرک را برای ۴ المان مختلف (تاشو، سایه‌بان، پنجره عمودی و افقی) را مورد بررسی قرار دادند و متوجه شدند که هر چهار سیستم گفته شده، بهبود مستمری داشته اند و نسبت به حالت بدون سایه‌بان، در قسمت گرمایش، بین ۲۸ تا ۳۰ درصد کاهش مصرف انرژی داشته است و در بخش سرمایش مقدار کاهش مصرف انرژی به ۳۳ درصد می‌رسد.

لازم به ذکر است که تحقیقات انجام شده بر روی رادیاتور و فن کویل دو لوله سرمایشی کم بوده و تحقیقات انجام شده، دارای شرایط حاکم و پارامترهای ورودی متفاوتی بوده اند.

ضمن آن‌که از روش‌های متفاوتی برای شبیه‌سازی استفاده شده است و نمونه‌های مورد بررسی

¹ Loonen

² CABS

³ Hensen

⁴ Kensek

⁵ Hansanuwat

ملموس و رایج نبوده‌اند. در ادامه، علاوه بر استفاده از الگوریتم کنترلی، با اضافه کردن عایق، جای خالی این بررسی در مطالعات، پر خواهد شد.

۹-۲- معرفی تحقیق حاضر

در این تحقیق به بررسی و مدل‌سازی یک ساختمان نمونه، قبل و بعد از هوشمندسازی آن در دو فصل زمستان و تابستان پرداخته می‌شود. این اتاق با ابعاد ۳ در ۴ متر، و دارای یک پنجره و در، در شهر مشهد قرار دارد.

در تحقیق حاضر ابتدا معادلات حاکم بر انتقال حرارت ساختمان از روش ظرفیت حرارتی فشرده و قرار دادن در معادلات بقای انرژی استخراج می‌شوند، و با بردن به فضای حالت و استفاده از روش حل تقریب تفاضل معادلات پیشرو در نرم‌افزار متلب، دماهای مجهول مورد نظر به دست می‌آید. در روش اول میزان مصرف انرژی در حالت استفاده معمول و همیشه روشن رادیاتور در خانه بررسی می‌شود، بعد از آن، با پیاده‌سازی روش الگوریتم کنترلی بر روی رادیاتور، میزان مصرف انرژی بررسی می‌شود و مقدار کاهش مصرف انرژی میان این دو روش مشخص می‌شود و میزان درصد کاهش مصرف به دست می‌آید. برای اعتبار سنجی نیز از نرم‌افزار هپ کریر استفاده می‌شود. سپس با اضافه کردن عایق به نمونه مورد نظر، تاثیر استفاده از عایق در دو حالت گفته شده بررسی خواهد شد.

در ادامه، محاسبات سرمایه‌یابی برای روز طرح و دوره دو ماهه تابستان انجام می‌شود و دو حالت استفاده یا عدم استفاده از الگوریتم کنترلی، بر روی فن‌کوئل زمینی انجام می‌گردد. سپس اثرگذاری افزودن عایق در دو حالت، مطالعه و رسیدگی می‌شود. در انتها استفاده از پرده برقی در کاهش مصرف انرژی، در فصل تابستان، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۱۰- ضرورت تحقیق حاضر

همان‌طور که پیش‌تر در مقدمه گفته شد، افزایش مصرف انرژی و آلودگی در جهان و به‌خصوص در ایران، بحران انرژی را در سال‌های آتی به وجود خواهد آورد. به همین دلیل بایستی از کوچک‌ترین موارد موثر در کاهش مصرف انرژی به خصوص در بخش ساختمان که بیش‌ترین سهم مصرف انرژی را داراست استفاده کرده و مصرف انرژی را کاهش داد. به راه‌های سنتی کاهش مصرف انرژی اشاره شد. اما این راه‌ها کافی نیستند و پس از ساخت ساختمان نیز قابل اجرا نخواهند بود، بنابراین بایستی هوشمندسازی ساختمان در مقیاس کوچک، که برای همه ساختمان‌ها با هر طراحی، مختصات، در هر مرحله‌ای از ساخت و بعد از آن و با هر وضعیت مالی‌ای قابل اجرا باشد انجام گیرد، در نتیجه در این تحقیق، این نیاز مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

از طرفی هدف از انتخاب ساختمان مستقل برای بررسی، آن است که این محاسبات و برآوردها به هر ساختمان با هر مختصات و شرایطی تعمیم‌پذیر باشد.

۲-۱۱- نوآوری تحقیق حاضر

بسیاری از آپارتمان‌ها و خانه‌های مسکونی مورد استفاده، قدیمی‌ساز هستند و تفکر افراد جامعه برای هوشمندسازی مرکزی آماده نیست. در نتیجه با قرار دادن وسایل هوشمندساز بر روی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی موجود، علاوه بر آن که هزینه بالایی ایجاد نمی‌شود، مورد استقبال بیش‌تر قرار خواهد گرفت و کاهش مصرف انرژی را به دنبال خواهد داشت.

محاسبات و برآورد کمی کاهش مصرف انرژی، قبل و بعد از قرار دادن الگوریتم کنترلی، به‌صورت خاص بر روی سیستم‌های تهویه مطبوع، با پارامترهای ورودی دمای اتاق و دمای هوای بیرون، برای مکان‌های مسکونی مورد تحقیق و پژوهش قرار نگرفته است. از طرفی مقدار کاهش انرژی با قرار دادن

عایق برای ساختمان با حضور الگوریتم کنترلی، در فصل زمستان و تابستان مورد بررسی قرار خواهد گرفت، که نشان خواهد داد با بهره‌گیری و ترکیب موارد جزئی مرتبط به مصالح و اجزای کنترلی، میزان تاثیرگذاری چه قدر خواهد بود.

از طرفی در فصل تابستان، میزان تشعشع خورشید بالا است و همین امر باعث می‌شود گرمای اضافی به خانه وارد شود. با استفاده از یکی دیگر از وسایل هوشمند، قرار دادن پرده برقی بر روی پنجره موجود، کاهش مقدار مصرف انرژی مشخص می‌شود.

۳- فصل سوم

معادلات حاکم و مدل سازی فرآیندها

۱-۳- مقدمه

هرگاه در یک محیط (یا میان دو محیط) اختلاف دما وجود داشته باشد، انتقال گرما روی می‌دهد. در سیستم‌های تهویه مطبوع، انتقال گرما و بار هدررفت، نقش مهمی در انتخاب نوع سیستم، مقدار مصرف و آسایش ساکنین ایفا می‌کند. هدف از این فصل، بسط معادلات ریاضی مورد نیاز برای مدل‌سازی و کنترل سیستم‌های در نظر گرفته شده، برای اتاق ساختمان نمونه می‌باشد. در همین راستا برای محاسبه گرمای هدررفت و سپس به دست آوردن دماهای مجهول، ابتدا معادله بقای انرژی و سایر معادلات حاکم در انتقال حرارت، برای محاسبات بارهای گرمایشی معرفی می‌شوند. به فضای حالت برده می‌شوند تا با استفاده از این مدل‌سازی بتوان میزان درصد کاهش مصرف انرژی را محاسبه کرد.

گرما به سه روش جابه‌جایی، هدایت و تشعشع بین دیوارها، فضای داخل و هوای بیرون منتقل می‌شود و طی محاسبات هر سه این معادلات، در صورت وجود برای هر قسمت لحاظ شده‌اند.

از آن جا که قرار است ضریب انتقال حرارت دیوارها محاسبه شوند، از روش رایج مقاومت حرارتی (ظرفیت حرارتی فشرده) برای معادل‌سازی و نوشتن معادلات حاکم، برای نمونه مورد نظر استفاده می‌شود. و در صورت لزوم با استفاده از برخی فرضیات ساده‌سازی انجام می‌گیرد.

سپس با موازنه حرارتی معادلات، به یک چند معادله چند مجهول منجر خواهد شد، که با حل همزمان آن‌ها برحسب زمان مقادیر دماها به دست می‌آید.

۲-۳- معرفی معادلات حاکم در انتقال حرارت ساختمان

قانون بقای انرژی به صورت معادله (۳-۱) بیان می شود.

$$\dot{Q} - \dot{W} = \frac{dE}{dt} \quad (۳-۱)$$

ΔE تغییر انرژی داخل سیستم، Q گرمای انتقال یافته و W کار انجام شده است.

در بازه زمانی Δt ، افزایش انرژی ذخیره شده در حجم کنترل برابرست با انرژی ورودی به حجم کنترل، منهای انرژی خروجی از حجم کنترل، که ورودی و خروجی انرژی در یک حجم کنترل به صورت گرما و کار روی می دهد [۴۴، ۱۵].

معادله (۳-۲) حالت باز شده معادله (۳-۱) می باشد.

$$\dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{out} - 0 = mC_p \frac{dT}{dt} \quad (۳-۲)$$

Q_{out} گرمایی است که از فضا خارج می شود، Q_{in} گرمایی است که به فضا وارد می شود. یکای گرمای مورد نظر W می باشد و مقدار کار انجام شده در این تحقیق به دلیل نداشتن تغییر حجم و نیروی مقاوم (اصطکاک یا فشار)، صفر می باشد.

m جرم هوا یا دیوار یا سقف، با یکای kg است، C_p ظرفیت گرمایی ویژه هوا برحسب $\frac{J}{kgK}$ است.

معادله (۳-۲) به صورت کلی تر در معادله (۳-۳) نوشته و خلاصه می شود :

$$\sum q = mC_p \frac{dT}{dt} \quad (۳-۳)$$

$\sum q$ مجموع گرماهای وارد شده، خارج شده و تولید شده داخل فضا، اعم از جابه جایی، هدایت و

تشعشعی است.

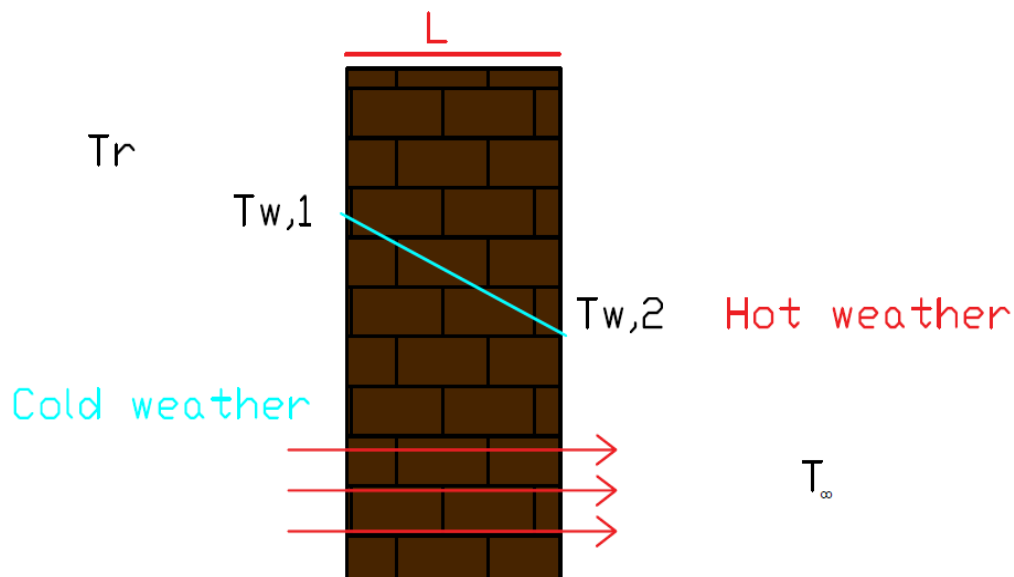
در رابطه (۳-۴) مقاومت حرارتی هدایتی بیان شده است.

$$R_{T.cond} = \frac{T_1 - T_2}{q_x} = \frac{L}{KA} \quad (۳-۴)$$

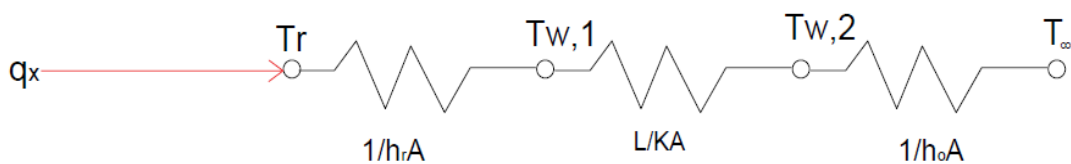
در رابطه (۳-۵) نیز مقاومت حرارتی جابه جایی تعریف شده است.

$$R_{T.conv} = \frac{T_1 - T_\infty}{q} = \frac{1}{hA} \quad (5-3)$$

برای درک بهتر، یک دیوار که از یک طرف با فضای داخل اتاق در ارتباط است و از طرف دیگر با هوای بیرون در ارتباط است، در نظر گرفته شده است. و در شکل ۱-۳ نمایش داده شده است، و مدار مقاومتی آن در شکل ۲-۳ دیده می‌شود.



شکل ۱-۳ نمونه یک دیوار که با هوای داخل اتاق و هوای بیرون در ارتباط است



شکل ۲-۳ مدل مقاومتی دیوار شکل ۱-۳ بدون در نظر گرفتن جرم دیوار

حال مقدار انتقال گرما را که بین نقطه های داده شده ثابت است، می‌توان به صورت رابطه (۳-۶)

بیان کرد:

$$q_x = \frac{T_r - T_{w,1}}{1/Ah_r} = \frac{T_{w,1} - T_{w,2}}{L/KA} = \frac{T_{w,2} - T_\infty}{1/Ah_\infty} \quad (6-3)$$

همچنین می توان رابطه (۶-۳) را برابر با رابطه (۷-۳) قرار داد، چرا که مقدار q ثابت است :

$$q_x = \frac{T_r - T_\infty}{R_{tot}} \quad (7-3)$$

در نتیجه مقدار مقاومت حرارتی کل با یکای $(\frac{K}{W})$ برابر است با :

$$R_{tot} = \frac{1}{h_r A} + \frac{L}{KA} + \frac{1}{h_\infty A} \quad (8-3)$$

K ضریب هدایت گرمایی بر حسب $(\frac{W}{m.K})$ ، L طول دیواره بر حسب m و A مساحت جسم جامد

بر حسب متر مربع است. همچنین h ضریب انتقال حرارت جابه جایی بر حسب $(\frac{W}{m^2.K})$ است.

جرم برابرست با حاصلضرب چگالی $(\frac{kg}{m^3})$ در حجم (m^3) و برای هوای داخل اتاق و دیوار و هوای

بیرون متفاوت است و به ترتیب گفته شده در زیر آمده است.

$$C_r = m_r C_{p,r} \quad (9-3)$$

$$m_r = \rho_r V_r \quad (10-3)$$

$$C_{wi} = m_{wi} C_{p,wi} \quad (11-3)$$

$$m_{wi} = \rho_{wi} V_{wi} \quad (12-3)$$

$$C_o = m_o C_{p,o} \quad (13-3)$$

پس از معرفی گرمای هدایت و جابه جایی به بررسی گرمای تشعشعی پرداخته می شود.

برای محاسبه مقدار تابش چند حالت وجود دارد :

۱. از رابطه ساده سازی شده

$$Q = \varepsilon \sigma T_{radiation}^4 \quad (14-3)$$

که در آن ε ضریب گسیل نام دارد و σ ثابت استفان بولتزمن $(\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2.k^2})$ و T_{rad}

دمای سطح تابش کننده است استفاده می شود [۴۵].

۲. میزان تشعشع خورشید تابعی از ارتفاع و عرض جغرافیایی مکان ساختمان، جهت جغرافیایی

دیوار یا پنجره مدنظر، شرایط آب و هوایی بیرون، روز از سال و اینکه چه زمانی از روز باشد،

است. تابش خورشیدی کل، از طلوع خورشید تا غروب خورشید، که در بالای جو زمین می تابد

تابعی از عرض جغرافیایی است و برحسب $\frac{J}{m^2}$ می باشد که از طریق روابط زیر به دست می آید :

$$H_o = \frac{24 \times 3600 G_{sc}}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos\left(\frac{360N}{365}\right) \right] + [\cos(L)\cos(\delta)\sin(h_{ss})] \quad (15-3)$$

$$+ \left(\frac{\pi h_{ss}}{180}\right) \sin(L)\sin(\delta)]$$

در رابطه بالا G_{sc} ثابت خورشیدی است که آهنگ انرژی خورشیدی دریافت شده روی یک مترمربع

از سطح عمود بر جهت پرتو مستقیم در خارج از جو است، که مقدار آن ۱۳۵۰ تا ۱۳۶۷ وات بر مترمربع

گزارش شده است. N روز از سال نسبت به اول ژانویه است، L عرض جغرافیایی و δ زاویه انحراف خورشید

است که از طریق رابطه (۳-۱۶) بدست می آید :

$$\delta = 23.45 \sin[284 + N] \quad (16-3)$$

h_{ss} ساعت غروب خورشید بر حسب درجه است که با استفاده از رابطه (۳-۱۷) محاسبه می شود :

$$\cos(h_{ss}) = -\tan(L)\tan(\delta) \quad (17-3)$$

به دلیل وجود پدیده هایی مانند اثر پخش و جذب اتمسفری، قسمتی از تابش خورشیدی از بین

می رود. به خصوص زمانی که آسمان ابری و یا آلوده باشد. بنابراین مقدار تابش وارد شده به یک سطح

افقی، در زمان های مختلف و به خصوص با تغییر شرایط اتمسفر متفاوت می باشد [۴۷،۴۶].

۳. از طرفی مقادیر تشعشع خورشید، برای جهات جغرافیایی و ساعات مختلف، در کتاب محاسبات

تاسیسات ساختمان طباطبایی آمده است که با اعمال ضرایب مورد نظر، مورد استفاده قرار

می گیرند [۴۸].

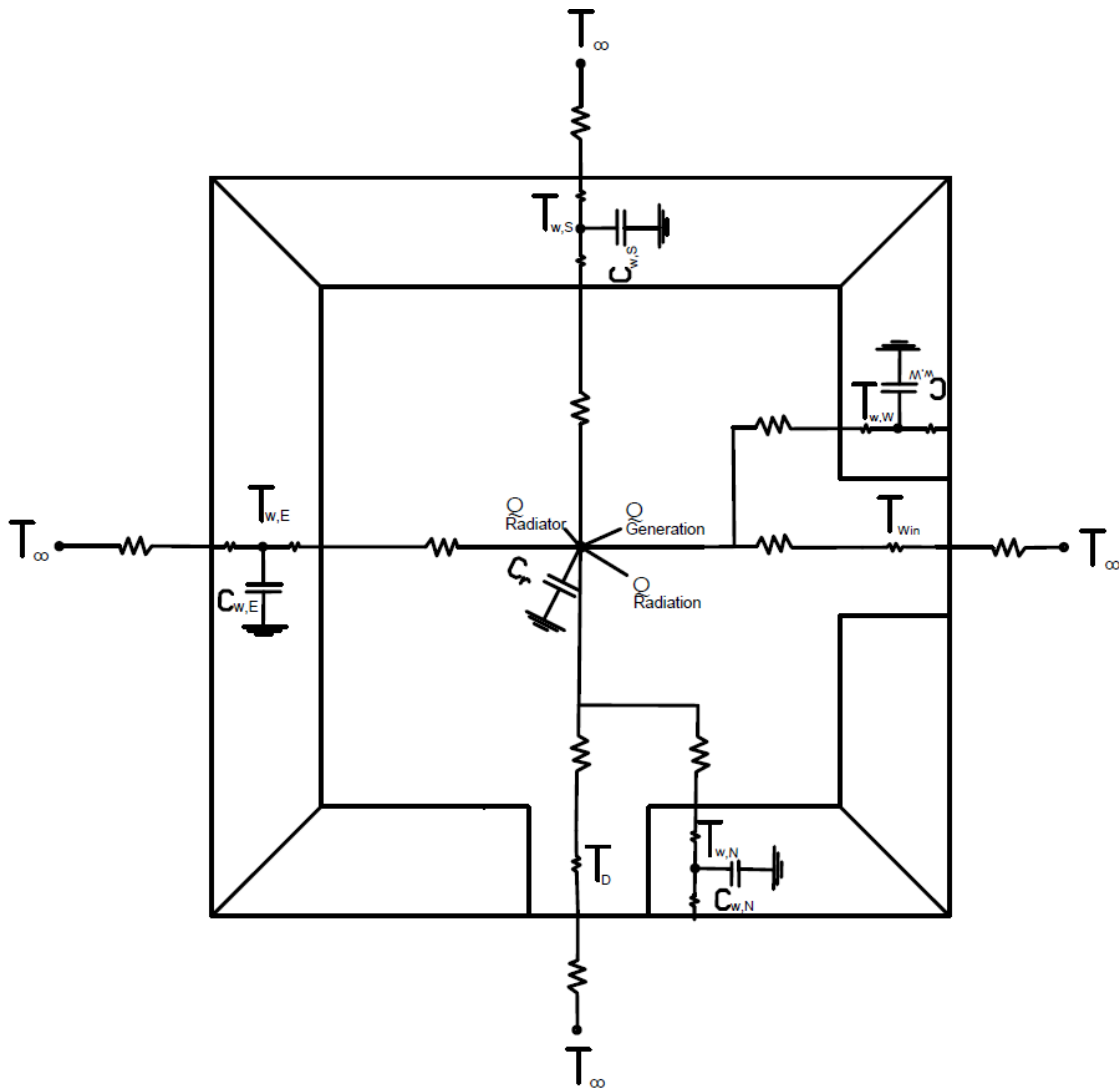
۳-۳- مدل سازی حرارتی ساختمان

یک ساختمان ساده که از پنج جهت با بیرون در ارتباط می باشد، در نظر گرفته شده است و با نرم افزار اتوکد نمای بالای آن کشیده می شود. دیوار شمالی دارای یک درب و روی دیوار غربی یک پنجره قرار دارد.

شایان ذکر است که محاسبات بار هدررفت برای حالت ماکزیمم اختلاف دما در روز طرح، در نظر گرفته شده است، تا در همه زمان ها بسته به نیاز، پاسخگو باشد. همچنین از برخی موارد به دلیل تاثیرگذاری اندک، و کف به دلیل داشتن ایزوگام و همچنین کاهش محاسبات، همان طور که در سایر مراجع نیز دیده شده است، صرف نظر شده است. همچنین به دلیل متغیر بودن تشعشع و دما بر حسب زمان در طول شبانه روز، تاثیر ارتفاع و جهات جغرافیایی، لحاظ شده اند.

این اتاق توسط رادیاتور آلومینیومی، گرم می شود و توسط فن کویل زمینی در تابستان، خنک می شود. دلیل استفاده از دو سیستم متفاوت، بررسی بیش تر و محاسبه کاهش مصرف انرژی سیستم های رایج مورد استفاده است، در غیر این صورت برای نمونه مورد نظر، استفاده از فن کویل چهارلوله توصیه می شود. مدار حرارتی ساختمان نمونه در شکل ۳-۳ آمده است. معادله بقای انرژی با استفاده از روابط بیان شده در قسمت ۲-۳- برای تمام دیوارها و سقف نوشته خواهد شد و با استفاده از موازنه حرارتی به یک چند معادله چند مجهول منجر خواهد شد.

دمای داخل اتاق تابعی از زمان و وابسته به دمای دیوارها، دمای هوای بیرون از خانه و ویژگی های حرارتی دیوارها و پنجره می باشد.



شکل ۳-۳ مدار حرارتی ساختمان مورد نظر

در این تحقیق، مدل سازی به صورت مدل حرارتی RC انجام داده می شود. این مدل مستقیماً مشابه به یک مدار الکتریکی مقاومت-خازن (RC)^۱ می باشد. هر جزء سیستم (دیوارها، هوای داخل اتاقها) یک مقاومت حرارتی و ظرفیت دارند، که دینامیک چگونگی جریان یافتن حرارت در ساختمان را دیکته می کنند. وقتی که خصوصیات این مواد شناخته شدند، یک سری معادلات دیفرانسیل برای توضیح انتقال حرارت در طول زمان، نوشته می شود. مدل حرارتی RC معمولاً برای مدل سازی انتقال حرارت

^۱ Resistor-Capacitor

در ساختمان‌ها به کار برده می‌شود [۴۵].

انتقال حرارت از درون هر ماده می‌تواند با توجه به مقاومت حرارتی و ظرفیت مواد، مدل سازی شود. این مدل بر اساس مقاومت حرارتی و ظرفیت دیوارها و اتاق‌های ساختمان، بنا نهاده شده است. برای پنجره‌های چند قابه^۱ و دیوارهای لایه لایه، خصوصیات حرارتی هر لایه، به صورت سری ترکیب شده تا مجموع مقاومت حرارتی و ظرفیت کل را بدهد. نرخ تبادل دما بر پایه دمای گره‌های مجاور و مقاومت و ظرفیت دیوار می‌باشد. این مدل انتقال حرارتی است که به عنوان پایه مدل دینامیکی برای مدل کنترلی استفاده می‌شود. بخش‌های اضافی که باید به مدل اضافه شوند، ورودی‌ها از سیستم گرمایشی می‌باشند [۱۶].

انتقال حرارت از درون یک دیوار برابر معادله (۳-۱۸) می‌باشد :

$$C_{W,i} \frac{dT_{W,i}}{dt} = \sum_{j \in N_{r_i}} \frac{T_j - T_{W,i}}{R_{i,j}} + q_{radiation,i} \quad (۳-۱۸)$$

در رابطه بالا، $T_{W,i}$ دمای دیوار i ، $C_{W,i}$ ظرفیت گرمایی دیوار $R_{i,j}$ مقاومت حرارتی کلی میان دیوار i و گره j است.

به طریقه مشابه، توزیع دمای اتاق i ام با رابطه زیر به دست می‌آید :

$$C_{r,i} \frac{dT_{r,i}}{dt} = \sum_{j \in N_{r_i}} \frac{T_j - T_{r,i}}{R_{i,j}} + q_{radiator} + q_{generation} + q_{radiation,i} \quad (۳-۱۹)$$

در رابطه (۳-۱۹) N_{r_i} مجموع همه گره‌هایی است که با اتاق i همسایه هستند و q_{in} گرمای تولیدی

داخلی در اتاق i است [۴۶].

با نوشتن معادله بقای انرژی برای هر قسمت داریم :

توزیع دما برای هوای داخل اتاق :

¹ Multi-paned

$$C_r \frac{dT_r}{dt} = \frac{T_{w,N} - T_r}{R_{N,r}} + \frac{T_{w,E} - T_r}{R_{E,r}} + \frac{T_{w,W} - T_r}{R_{W,r}} + \frac{T_{w,S} - T_r}{R_{S,r}} + \frac{T_{w,C} - T_r}{R_{C,r}} \quad (20-3)$$

$$+ \frac{T_\infty - T_r}{R_{wir}} + \frac{T_\infty - T_r}{R_{D,r}} + q_{radiator} + q_{generation}$$

$$+ \tau_{win} A_{win} q''_{radiation}$$

توزیع دما برای دیوار شمالی :

$$C_N \frac{dT_{w,N}}{dt} = \frac{T_r - T_{w,N}}{R_{N,r}} + \frac{T_\infty - T_{w,N}}{R_{\infty,N}} + q_{radiation,N} \quad (21-3)$$

توزیع دما برای دیوار شرقی :

$$C_E \frac{dT_{w,E}}{dt} = \frac{T_r - T_{w,E}}{R_{E,r}} + \frac{T_\infty - T_{w,E}}{R_{\infty,E}} + q_{radiation,E} \quad (22-3)$$

توزیع دما برای دیوار غربی :

$$C_W \frac{dT_{w,W}}{dt} = \frac{T_r - T_{w,W}}{R_{W,r}} + \frac{T_\infty - T_{w,W}}{R_{\infty,W}} + q_{radiation,W} \quad (23-3)$$

توزیع دما برای دیوار جنوبی :

$$C_S \frac{dT_{w,S}}{dt} = \frac{T_r - T_{w,S}}{R_{S,r}} + \frac{T_\infty - T_{w,S}}{R_{\infty,S}} + q_{radiation,S} \quad (24-3)$$

توزیع دما برای سقف :

$$C_C \frac{dT_C}{dt} = \frac{T_r - T_{w,C}}{R_{C,r}} + \frac{T_\infty - T_{w,C}}{R_{\infty,C}} + q_{radiation,C} \quad (25-3)$$

۳-۴- فضای حالت

سیستم‌های مهندسی دارای پیچیدگی در انجام وظایف خود هستند و به دقت خوبی هم نیاز دارند. از طرفی سیستم‌های پیچیده، دارای چندین ورودی و خروجی هستند، برای تحلیل و طراحی این سیستم‌ها، از مفهوم حالت استفاده می‌شود.

به کنترلی که براساس مفهوم حالت شکل گیرد، کنترل مدرن می‌گویند و در آن از سیستم‌های چند ورودی چند خروجی خطی، یا غیر خطی و متغیر یا نامتغیر با زمان استفاده می‌گردد.

برای اهداف کنترلی در نرم‌افزار متلب، برای سیستم موردنظر، که دارای چند ورودی و خروجی است و همچنین متغیر با زمان است، مدل به فضای حالت برده می‌شود.

متغیرهای حالت، که حالت و وضعیت سیستم را بیان می‌کنند و در اینجا مقادیر دما را نشان می‌دهند به صورت ماتریس $m \times 1$ تعریف می‌شوند.

$$x = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6] = [T_r, T_{w,N}, T_{w,E}, T_{w,W}, T_{w,S}, T_C]^T \quad (۲۶-۳)$$

بردار مقادیر ورودی مانند گرمای داده شده، با بردار u تعریف می‌شود، یا به عبارتی به وسیله آن می‌توان رفتار یک سیستم دینامیکی را در طول زمان کنترل نمود. و ابعاد بردار به صورت $n \times 1$ است. مقادیر خروجی شامل دمای اتاق، توسط بردار y با ابعاد $r \times 1$ نمایش داده می‌شوند.

$$y(t) = Cx \quad (۲۷-۳)$$

در رابطه (۲۷-۳) بردار C با ابعاد $r \times m$ وظیفه دارد تا با مقادیر 0 و 1 ، متغیر حالت خروجی را از بین سایر متغیرهای موجود مشخص کند.

ماتریس C به شکل زیر است :

$$C = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

معادلات فضای حالت، معادلات دیفرانسیل مرتبه اولی هستند که رابطه بین متغیرهای ورودی و کنترلی را بیان می‌کنند. و به صورت رابطه (۲۸-۳) بیان می‌شود :

$$\dot{x}_1(t) = Ax + f(x, u) \quad (۲۸-۳)$$

در رابطه (۲۸-۳) ماتریس A با ابعاد $m \times m$ و بردار $f(x, u)$ با ابعاد $m \times 1$ ، تابعی از متغیرهای حالت و ورودی‌ها می‌باشد.

ماتریس A از معادلات نوشته شده برای اتاق و دیوارها و سقف، به صورت زیر به دست می آید :

$$A = \begin{pmatrix} \frac{-1}{C_r} \left(\frac{1}{R_{Nr}} + \frac{1}{R_{Er}} + \frac{1}{R_{Wr}} + \frac{1}{R_{Sr}} + \frac{1}{R_{Cr}} + \frac{1}{R_{Win,\infty}} + \frac{1}{R_{D,\infty}} \right) & \frac{1}{C_r R_{Nr}} & \frac{1}{C_r R_{Er}} & \frac{1}{C_r R_{Wr}} & \frac{1}{C_r R_{Sr}} & \frac{1}{C_r R_{Cr}} \\ \frac{1}{C_N R_{Nr}} & \frac{-1}{C_N} \left(\frac{1}{R_{Nr}} + \frac{1}{R_{N,\infty}} \right) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{C_E R_{Er}} & 0 & \frac{-1}{C_E} \left(\frac{1}{R_{Er}} + \frac{1}{R_{E,\infty}} \right) & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{C_W R_{Wr}} & 0 & 0 & \frac{-1}{C_W} \left(\frac{1}{R_{Wr}} + \frac{1}{R_{W,\infty}} \right) & 0 & 0 \\ \frac{1}{C_S R_{Sr}} & 0 & 0 & 0 & \frac{-1}{C_S} \left(\frac{1}{R_{Sr}} + \frac{1}{R_{S,\infty}} \right) & 0 \\ \frac{1}{C_C R_{Cr}} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-1}{C_C} \left(\frac{1}{R_{Cr}} + \frac{1}{R_{C,\infty}} \right) \end{pmatrix}$$

و ماتریس $f(x,u)$ به صورت زیر است :

$$f(x, u) = \begin{pmatrix} q_{radiator} + q_{radiation} \\ q_{radiation,N} \\ q_{radiation,E} \\ q_{radiation,W} \\ q_{radiation,S} \\ q_{radiation,C} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_{radiator} + \tau_{win} A_{win} q''_{radiation} \\ \alpha_N A_N q''_{radiation,N} + \alpha_D A_D q''_{radiation} \\ \alpha_E A_E q''_{radiation,E} \\ \alpha_W A_W q''_{radiation,W} + \tau_{win} A_{win} q''_{radiation} \\ \alpha_S A_S q''_{radiation,S} \\ \alpha_C A_C q''_{radiation,H} \end{pmatrix}$$

در ادامه برای وارد کردن و حل معادلات و ماتریس های گفته شده به متلب، از روش حل تقریب تفاضل معادلات پیشرو استفاده می شود و با تعریف کردن مقادیر شرایط اولیه، معادلات حل خواهد شد. در ادامه به روابط مورد استفاده برای محاسبه بار حرارتی و برودتی داده شده به ساختمان نمونه در نظر گرفته شده پرداخته می شود.

۵-۳- روابط حاکم بر محاسبات بخش گرمایش

برای تامین گرمایش یکنواخت در طول شبانه روز با توجه به بررسی های انجام شده در بخش ۱-۱۱-۱- سیستم گرمایشی پکیج - رادیاتور انتخاب شد. در حالت اولیه فرض بر آن است که رادیاتور به صورت شبانه روزی در سردترین روز سال روشن است و گرمای یکنواختی را به داخل اتاق می دهد و اتاق را تا دمایی بالاتر از دمای آسایش گرم می کند.

مقدار گرمایی که به صورت هدررفت از ساختمان خارج می شود را می توان با در نظر گرفتن حاصلضرب اختلاف دمای هوای بیرون و دمای آسایش برای داخل اتاق، در ضریب انتقال حرارتی کل در مساحت دیوارها و جمع با مقدار هوای نفوذی به دست آورد. از طرفی با قرار دادن کمینه دمای بیرون در این رابطه، حداکثر گرمای هدررفت به دست می آید که با انتخاب یک رادیاتور آلومینیومی مشخص، مقدار توان خروجی هر پره، از کاتالوگ آن برداشته می شود و با تقسیم مقدار گرمای ماکزیمم بر گرمای یک پره، تعداد پره مورد نیاز به دست آمده و گرمای مورد نظر تامین می شود.

$$Q = UA(T_c - T_\infty) \quad (29-3)$$

$$Q_{infiltration} = V \times 0.0749 \times 0.241 \times (T_c - T_\infty) \quad (30-3)$$

در رابطه (۳۰-۳)، V حجم هوای نفوذی برحسب $(\frac{ft^3}{hr})$ و Q برحسب $(\frac{BTU}{hr})$ می باشد، که پس از محاسبه، با تبدیل یکا به وات تبدیل خواهد شد و در محاسبات بار لحاظ می شود.

یک رادیاتور آلومینیومی به مشخصات " رادیاتور ایران نوین مدل KALLER 500 " انتخاب می شود، که در زیر پنجره نصب می شود. مشخصات کاتالوگی رادیاتور در جدول ۳-۱ آمده است.

تعداد پره در ظرفیت حرارتی رادیاتور ضرب می شود تا بیشینه گرما به دست آید، چراکه در حالت بیشینه بار نیز پاسخگو باشد.

جدول ۳-۱ مشخصات کاتالوگی رادیاتور

| مشخصات فنی | | | | |
|------------|-------------------|--------------|-------------|-------------|
| مدل | توان خروجی به وات | ارتفاع پره | عرض پره | عمق هر پره |
| Kaller 500 | ۱۶۸/۶ وات | ۵۷۰ میلی متر | ۸۵ میلی متر | ۷۷ میلی متر |

در حالت دوم فرض می‌شود که دمای اتاق ثابت است و میزان گرمای دریافتی اتاق متغیر است، تا بتواند دمای اتاق را همیشه بر روی یک دمای ثابت (دمای آسایش) نگه دارد. این امکان با هوشمند شدن رادیاتور توسط ترموستاتی که روی آن قرار داده شده است و سنسورهای دمای موجود در داخل اتاق و محیط بیرون و پیاده‌سازی الگوریتم کنترلی امکان‌پذیر می‌شود.

میزان گرمایی که توسط رادیاتور داده می‌شود از رابطه گرمای لگاریتمی محاسبه می‌شود که به صورت رابطه (۳-۳۱) بیان می‌شود:

$$Q = UA\Delta T_{lm} = UA \frac{\Delta T_o - \Delta T_i}{\ln \frac{\Delta T_o}{\Delta T_i}} \quad (3-31)$$

که در آن A ، مساحت سطح پره‌ها است و به دلیل آن‌که از هر دو سمت پره تبادل حرارت صورت می‌گیرد بایستی مساحت در ضریب ۲، ضرب شود.

اختلاف دما به صورت رابطه (۳-۳۲) محاسبه می‌شود.

$$\frac{\Delta T_o}{\Delta T_i} = \frac{T_r - T_{outR}}{T_r - T_{inR}} \quad (3-32)$$

در رابطه (۳-۳۲)، T_{outR} ، دمای آب برگشتی از رادیاتور، و T_{inR} دمای آب ورودی به رادیاتور می‌باشد. با نوشتن معادلات بقای انرژی و معادلات حاکم بر دیوارها، همچنین معادله گرمای داده شده در نرم‌افزار متلب، و تعریف روش حل معادلات برای آن، مسیر حل مشخص شده است.

سپس با وارد کردن شرایط اولیه و مقادیر معلوم، مجهولات مورد نظر به دست می‌آیند.

در ادامه با استفاده از مقادیر به دست آمده ابتدا برای یک روز و سپس بازه زمانی ۴۰ روزه، مقدار کاهش مصرف انرژی در حالت‌های وجود عایق، استفاده از الگوریتم کنترلی و به کاربردن همزمان عایق

و الگوریتم کنترلی نسبت به حالت عدم وجود این دو ویژگی محاسبه می‌شود.

۳-۶- روابط مورد نیاز برای بخش سرمایه‌ش

در فصل تابستان از وسایل سرمایه‌ش مختلفی استفاده می‌شود. این وسایل از کولر آبی تا سیستم‌های VAV^۱ متفاوت اند. با توجه به شرایط و مورد شبیه‌سازی در نظر گرفته شده فن کویل زمینی، انتخاب مناسبی برای این تحقیق می‌باشد.

مطابق آنچه در بخش رادیاتور بیان شد، در این بخش نیز ابتدا با محاسبه مقدار بار سرمایه‌ش هدررفت حداکثر، مقدار بار سرمایه‌ش حداکثر موردنیاز به دست آید و با قرار دادن این مقدار در رابطه $mC_p\Delta T$ ابتدا مقدار جرم هوای عبوری محاسبه می‌شود که با استفاده از ضرایب و تبدیل آن به دبی، مقدار هوای عبوری بر حسب فوت مکعب بر دقیقه مشخص می‌شود. و از روی کاتالوگ، فن کویل مناسب با این ظرفیت برای شبیه‌سازی انتخاب می‌شود.

برای نمونه مورد مطالعه، ابتدا فن کویل به صورت دائم در روز طرح تابستان به صورت ۲۴ ساعته روشن است و مقدار مصرف انرژی آن و دمای داخل اتاق طبق قانون بقای انرژی محاسبه می‌شود. سپس عایق پشم شیشه سنگ بر روی خانه قرار داده می‌شود و محاسبات مربوطه مجدداً انجام می‌شود و درصد کاهش مصرف انرژی به دست می‌آید.

از طرفی به دلیل تشعشع زیاد خورشید در تابستان و تاثیر بالای آن بر دما و سرمایه‌ش داخل خانه، از یکی دیگر از وسایل هوشمندسازی، پرده برقی در مدل‌سازی استفاده خواهد شد و تاثیر وجود و عدم وجود آن بررسی خواهد شد.

برای پژوهش سودمندتر و نوآوری، تاثیر همزمان عایق و پرده برقی نیز بررسی می‌شود.

¹ Variable Air Volume

پس از انجام تمام محاسبات، کدنویسی‌ها و نتیجه‌گیری‌ها از مواردی که گفته شد، با پیاده‌سازی الگوریتم کنترلی، تمام مراحل انجام شده با وجود الگوریتم کنترلی بررسی می‌شود.

مقدار بار سرمایشی داده شده از رابطه (۳-۳۳) به دست می‌آید.

$$Q = m_a C_{pa} (T_r - T_f) \quad (3-33)$$

m_a دبی جرمی هوای ورودی، C_{pa} ظرفیت گرمایی ویژه هوا، T_r دمای اتاق که بر حسب زمان متغیر است و T_f دمای هوای خروجی از فن کویل می‌باشد.

فن کویل انتخابی دارای مشخصات جدول ۳-۲ است.

جدول ۳-۲ مشخصات فنی فن کویل

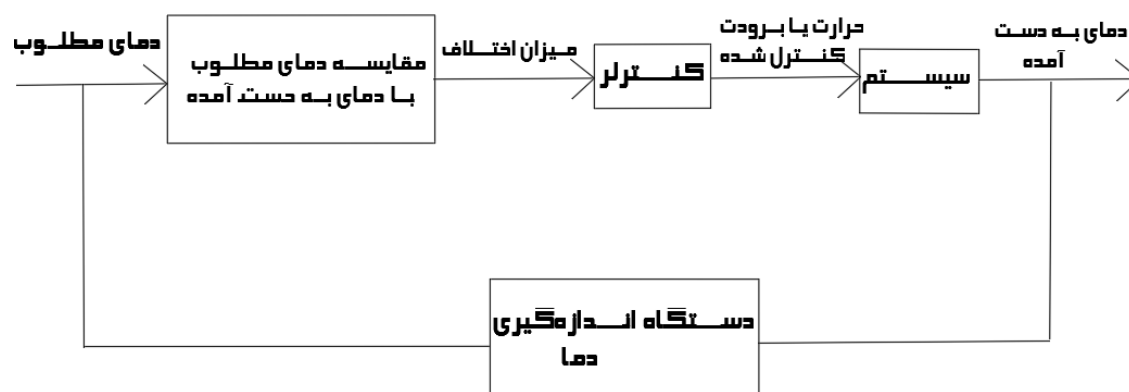
| مشخصات فنی فن کویل | | | |
|-----------------------|----------------------|--------------|------------|
| ابعاد بر حسب میلی‌متر | حداکثر قدرت گرمایش W | ظرفیت دستگاه | مدل دستگاه |
| ۱۰۰۰ در ۶۲۶ در ۲۲۰ | ۲۵۲۰/۴۲ | 300CFM | GLKF4-300 |

۳-۷- الگوریتم کنترلی

پس از نوشتن معادلات حاکم برای حالت اول نمونه مورد مطالعه، با قرار دادن شرایط اولیه و داده‌های ورودی در نرم‌افزار متلب، معادلات به روش تقریب تفاضل پیشرو حل خواهند شد و نمودار تغییرات دما و انرژی به دست خواهد آمد. در حالت بعدی، استفاده از الگوریتم کنترلی برای کنترل دما، مطرح و پیاده‌سازی می‌شود که بلوک دیاگرام الگوریتم کنترلی آن، در شکل ۳-۴ نشان داده شده است و در فصل چهارم نحوه عملکرد آن در عمل بیش‌تر توضیح داده خواهد شد.

حل معادلات به صورت گذرا بوده و با استفاده از شرایط اولیه و مقادیر داده‌ها، معادلات برای ۴۰ یا ۶۰ روز، بنا به تعداد روز مورد بررسی، حل خواهند شد و دمای داخل اتاق به صورت تابعی از زمان به

دست می‌آید. با فرض اینکه شرایط آب و هوایی یعنی دمای هوای بیرون و مقادیر شدت تشعشع خورشید، در مدت زمان مورد بررسی، تغییرات شدیدی نداشته باشند، در روز چهارم، تغییرات دمایی، تابع بسیار ضعیفی از شرایط اولیه‌ای که در حل مسئله استفاده شده است، می‌شود. به بیان دیگر در حالی که بار حرارتی و دما در طول روز متغیر است، اما الگوی این تغییرات و نوسانات برای روزهای متفاوت، یکسان خواهد بود. به عبارتی دیگر یک حالت شبه پایدار به وجود می‌آید که می‌توان جواب کلی را، ترکیبی از دو جواب گذرا و پایدار در نظر گرفت، و با گذشت مدت زمان کافی، پاسخ پایداری که خود تابعی از زمان است حاصل می‌شود.



شکل ۳-۴ بلوک دیاگرام الگوریتم کنترلی

۴- فصل چهارم

نتایج

۱-۴- مقدمه

سال‌های زیادی از انجام محاسبات بار حرارتی و برودتی ساختمان‌ها به صورت دستی می‌گذرد و امروزه با در نظر گرفتن تمام جوانب لازم، مقادیر نسبتاً صحیحی به دست می‌آیند. اما در این روش به مشکلاتی از قبیل زمان‌بر بودن، توجه و دقت بالا و نیاز به منابع کافی و در دسترس، برای انجام محاسبات، حتی در موارد ساده، می‌توان اشاره کرد.

در طی ۵۰ سال گذشته، صدها نرم‌افزار محاسبات بار و انرژی ساختمان، تولید و به روز رسانی شده‌اند و بسیاری از آن‌ها در حال استفاده می‌باشند. ابزار اصلی در زمینه انرژی ساختمان، برنامه‌های شبیه‌سازی ساختاری است، که شاخص‌های عملکرد کلیدی ساختمان، مانند مصرف انرژی و تقاضا، دما، رطوبت و هزینه‌ها را در خود دارند و زمینه استفاده آن‌ها را برای کاربر فراهم می‌کند [۴۹].

از میان این نرم‌افزارها، نرم‌افزار تحلیلی ساعت به ساعت کریر^۱ که حدود ۳۰ سال است به بازار آمده است، از معتبرترین نمونه‌ها می‌باشد، که از طرف نظام مهندسی نیز تایید شده است و در مقایسه با واقعیت از درصد خطای کمی برخوردار است. این نرم‌افزار مقادیر بارهای گرمایشی و سرمایشی را برآورد می‌کند و طراحی سیستم‌ها و شبیه‌سازی انرژی را انجام می‌دهد [۵۰].

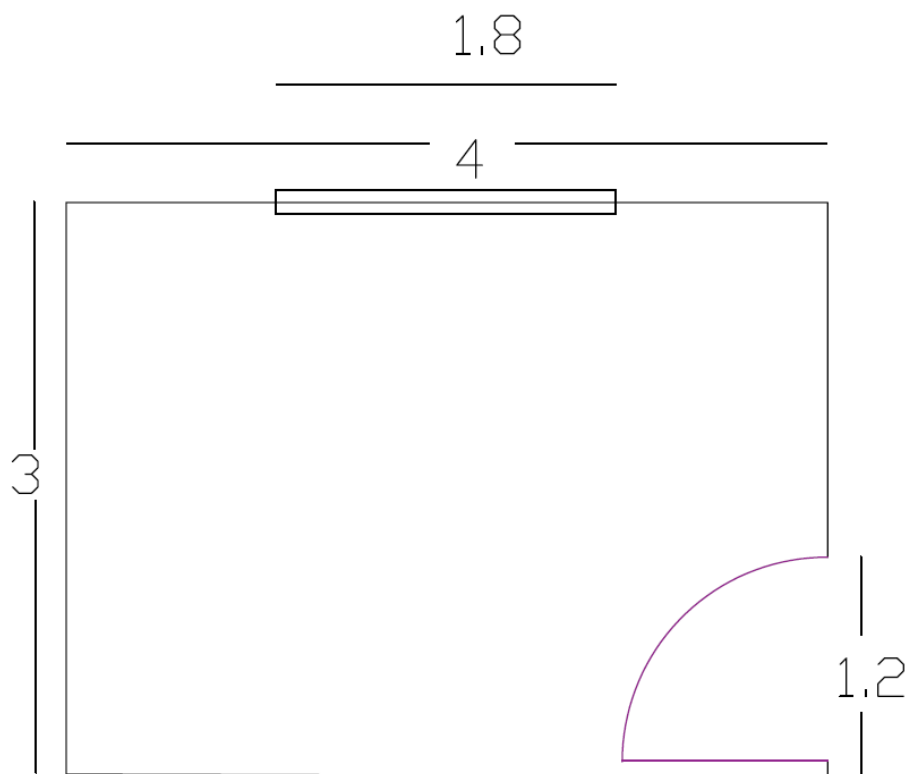
در این فصل ابتدا اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی شده، براساس مقایسه میزان بار حرارتی و برودتی فضای مورد نظر، با نرم‌افزار کریر انجام می‌گیرد.

در ادامه، نمودارهای دما، میزان حرارت و بار سرمایشی داده شده و نتایج حاصل از مدل‌سازی اتاق نمونه، برای حالت گرمایش در زمستان و سرمایش در تابستان، در دو حالت همراه با الگوریتم کنترلی و بدون آن، نمایش داده خواهد شد. سپس به بررسی تاثیر وجود عایق و پرده برقی پرداخته خواهد شد.

^۱ HAP Carrier

۲-۴- اعتبارسنجی

برای اعتبارسنجی مطالعه مورد نظر، یک اتاق ۳ در ۴ در نظر گرفته شده است، که دارای دری به ابعاد ۱,۲ در ۲,۱ مترمربع، و پنجره‌ای با ابعاد ۱,۵ در ۱,۸ مترمربع است و در شهر مشهد قرار دارد و در شکل ۱-۴ نشان داده شده است.



شکل ۱-۴ نمای رو به روی ساختمان مورد نظر

مقادیر داده‌های ورودی (غیر از مساحت) مورد استفاده در شبیه‌سازی، که در جدول ۱-۴ آمده است، از مبحث ۱۹ آیین نامه مقررات ملی ساختمان [۵۱] اتخاذ شده اند.

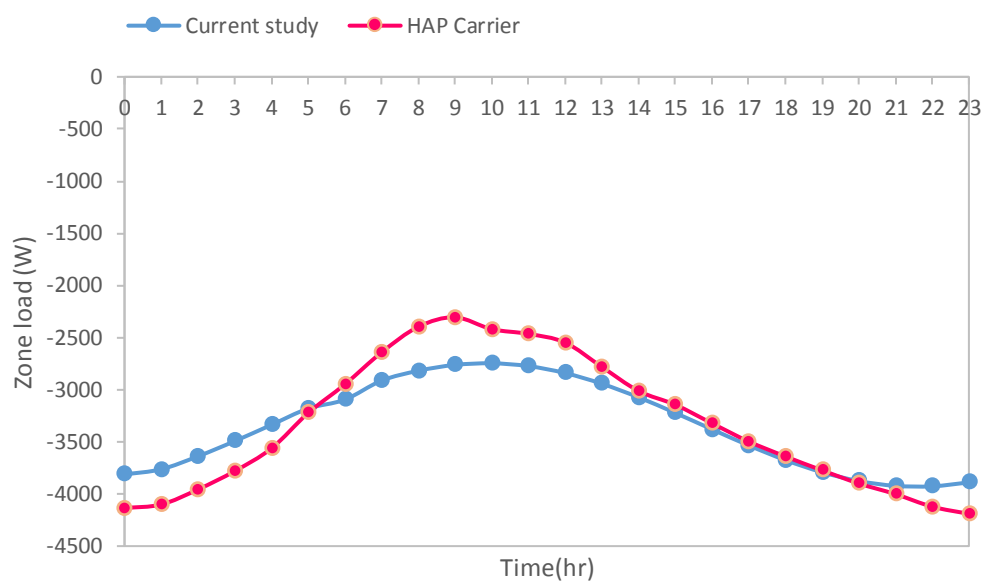
با استفاده از پیاده‌سازی الگوریتم کنترلی که در نرم‌افزار متلب نوشته شده است و شبیه‌سازی که در نرم‌افزار کریر صورت گرفته است، نمودارهای حاصل از مقایسه تغییرات بار حرارتی و بار برودتی اتاق نمونه ذکر شده، به منظور دید بهتر، در طول یک شبانه‌روز (روز طرح) و به صورت ساعت به ساعت، در فصل تابستان و فصل زمستان نمایش داده شده اند. نمودار تغییرات بار حرارتی فصل زمستان در شکل

۲-۴ و تغییرات بار برودتی برای تابستان در شکل ۳-۴ ارائه شده است.

جدول ۴-۱ داده‌های ورودی [۵۱]

| مقدار | واحد | مشخصات ورودی |
|-------|-------------------------------|--------------------------|
| ۰/۴۴ | $\left(\frac{m^2K}{W}\right)$ | مقاومت دیوار |
| ۰/۵۸ | $\left(\frac{m^2K}{W}\right)$ | مقاومت سقف |
| ۴/۲ | $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$ | ضریب انتقال حرارتی پنجره |
| ۳/۵ | $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$ | ضریب انتقال حرارتی در |
| ۴۸۷۰ | $\left(\frac{J}{kgK}\right)$ | ظرفیت حرارتی ویژه دیوار |
| ۴۵۳۰ | $\left(\frac{J}{kgK}\right)$ | ظرفیت حرارتی ویژه سقف |
| ۲۵۱/۶ | kg | جرم دیوار |
| ۲۱۵ | kg | جرم سقف |
| ۲/۷ | m ² | مساحت پنجره |
| ۲/۵۲ | m ² | مساحت در |
| ۱/۱۶ | $\left(\frac{m^2K}{W}\right)$ | مقاومت عایق |
| ۸۴۰ | $\left(\frac{J}{kgK}\right)$ | ظرفیت حرارتی ویژه عایق |

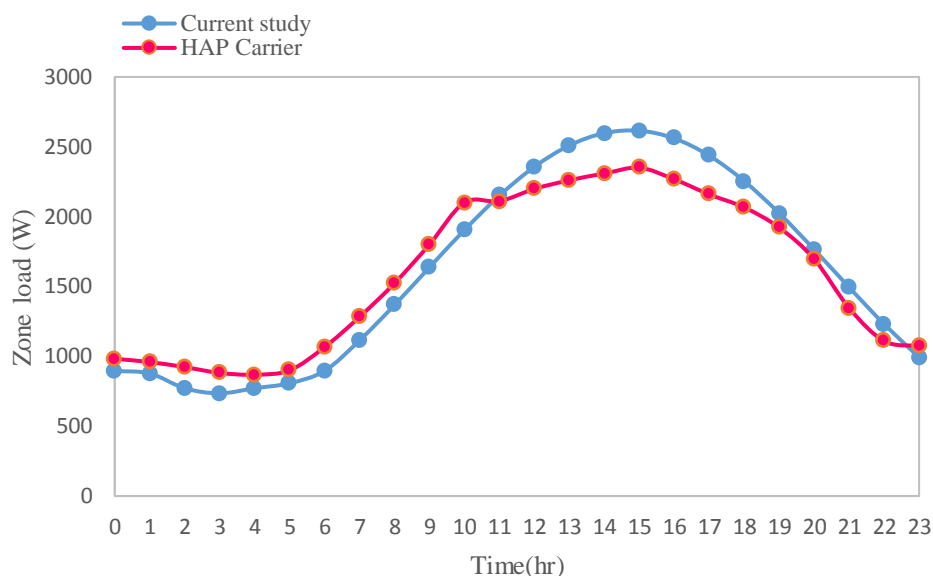
نتایج مربوط به محاسبه مقدار حداکثر خطای مربوط به بار برودتی و بار حرارتی، در جدول ۲-۴ و جدول ۳-۴ آمده است.



شکل ۴-۲ نتایج مقایسه بار برودتی زمستان

جدول ۴-۲ بررسی درصد خطای زمستان

| درصد خطا | مقدار کریر | مقدار تحقیق حاضر | زمستان (ماه بهمن) |
|----------|------------|------------------|-------------------|
| ٪ ۰/۴ | -۳۷۷۳ | -۳۷۹۱/۵۳ | حداقل خطا |
| ٪ ۱۶/۵ | -۲۳۰۵/۸ | -۲۷۶۲/۷۱ | حداکثر خطا |



شکل ۳-۴ نتایج مقایسه بار حرارتی تابستان

جدول ۳-۴ بررسی درصد خطای تابستان

| درصد خطا | مقدار کریر | مقدار تحقیق حاضر | تابستان (ماه تیر) |
|----------|------------|------------------|-------------------|
| ٪ ۱/۸ | ۲۱۱۰/۷ | ۲۱۵۰/۳۸ | حداقل خطا |
| ٪ ۱۱ | ۲۳۰۸/۹ | ۲۵۹۷/۸۱ | حداکثر خطا |

با توجه به نمودارهای رسم شده و مقادیر خطای به دست آمده در جداول، مشخص می‌شود که

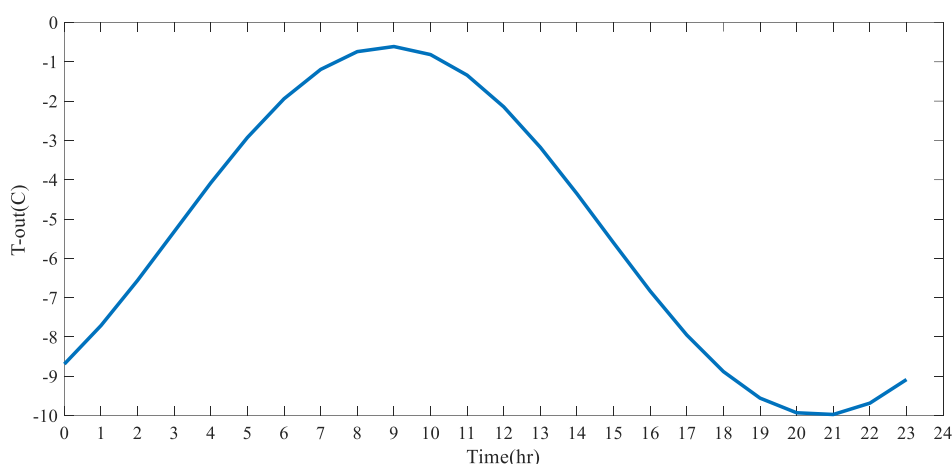
نتایج به دست آمده، با تقریب خوبی بر هم منطبق می‌باشند و صحت محاسبات را تایید می‌کنند.

۳-۴- نتایج حاصل از ارزیابی تحقیق حاضر

مشخصات ساختمان مورد بررسی در بخش اعتبارسنجی آمده است. در این قسمت ابتدا فصل زمستان

مورد بررسی قرار می‌گیرد. دمای داخل اتاق تابعی از دمای بیرون است و دمای روز طرح (اول اسفند

سال ۱۳۹۵) به صورت شکل ۴-۴ آمده است.



شکل ۴-۴ دمای روز طرح [۵۲]

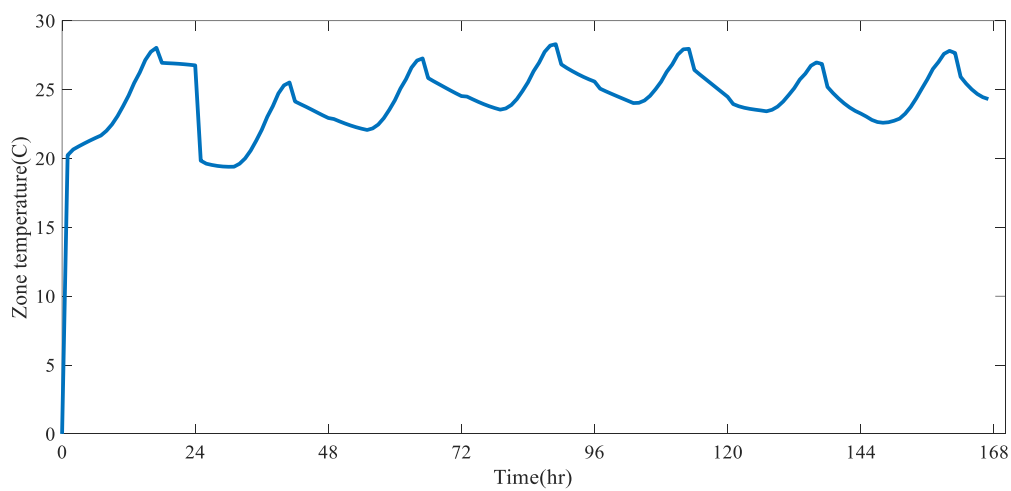
همان طور که در شکل ۴-۴ دیده می‌شود، به یک دستگاه گرمایشی برای رسیدن دما به دمای آسایش نیاز است. در حالت معمول مخصوصاً در منازل مسکونی ایران یا خوابگاه‌های سراسر کشور، از رادیاتور برای گرم کردن فضاها استفاده می‌شود و نحوه استفاده به صورتی است که رادیاتور همواره روشن است و حتی ممکن است دمای داخل بسیار بیش‌تر از دمای آسایش باشد، و نه تنها رادیاتور خاموش نشود، بلکه پنجره اتاق نیز باز شود. چراکه وقتی برای مدتی فرد یا افراد، داخل اتاق نیستند یا خواب هستند، افزایش دما می‌تواند حداکثر باشد و دسترسی یا توجه به خاموش کردن یا کم کردن رادیاتور انجام نشود. به همین دلیل در این مطالعه، ابتدا نمودار مربوط به دمای اتاق و بار حرارتی داده شده با وجود گرمای ۲۴ ساعته بررسی می‌شود.

همان طور که در بخش ۱-۸-۲ نیز مزایای استفاده از الگوریتم کنترلی سیستم‌های تهویه مطبوع عنوان شد، با قرار دادن سیستم کنترلی و هوشمند کردن رادیاتور، میزان کاهش مصرف انرژی بررسی می‌شود و سپس با اضافه کردن عایق، نتایج حاصل از ترکیب این دو حالت مطالعه خواهد شد.

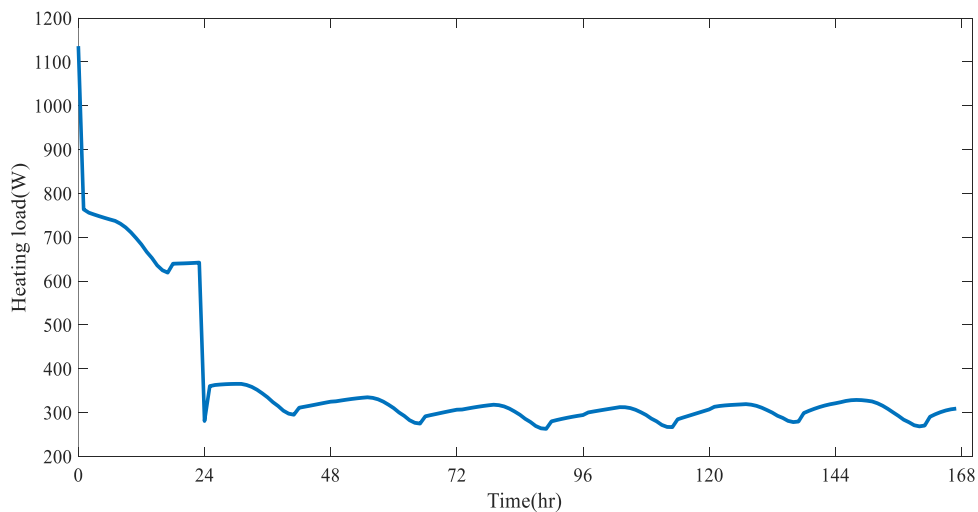
شایان ذکر است که نمودارهای ترسیم شده برای یک هفته نشان داده شده اند، از جمله مزایای این کار، نشان دادن تاثیر شرط اولیه بر محاسبات، رسیدن به پایداری نسبی با گذر زمان، صحت

پیاده‌سازی الگوریتم نوشته شده و وضوح بهتر نتایج برای یک هفته نسبت به یک ماه اشاره کرد. محور افقی نمودارها به دلیل شلوغ نشدن و نشان دادن حالت نوسانی و نسبتاً پایدار روزانه، به صورت ۲۴ ساعت تقسیم بندی شده اند.

نمودار دمای اتاق و گرمای داده شده به اتاق، در حالت بدون استفاده از الگوریتم کنترلی در شکل ۴-۵ و ۴-۶ آمده است.



شکل ۴-۵ نمودار دمای اتاق بدون الگوریتم کنترلی



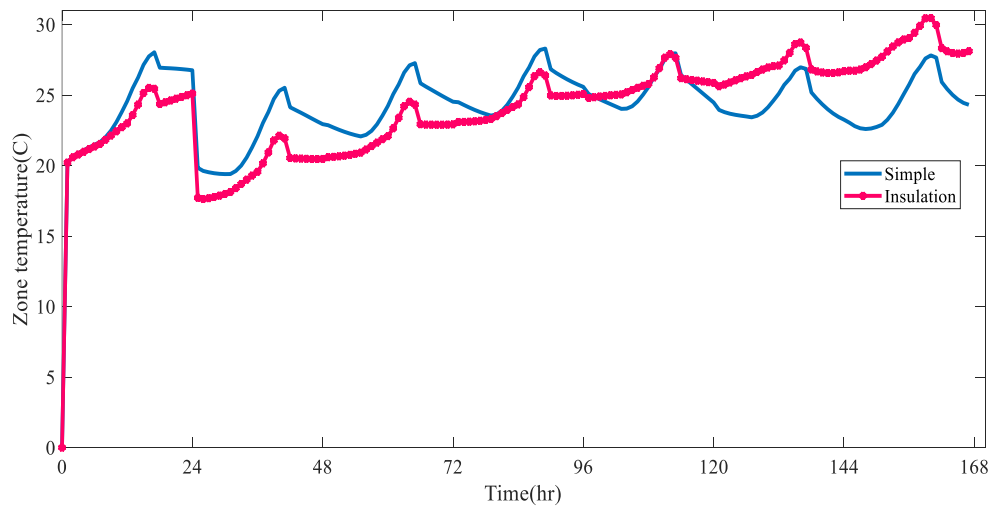
شکل ۴-۶ نمودار گرمای داده شده به اتاق بدون الگوریتم کنترلی

همان طور که در شکل ۴-۶ دیده می شود به دلیل آن که سیستم گرمایشی همیشه روشن است، دمای اتاق بالاتر از دمای آسایش قرار گرفته و در بالاترین مقدار خود به ۲۸/۵ درجه سانتی گراد رسیده است در نتیجه مقدار زیادی گرما از طریق دیوارها هدر می شوند. به دلیل آن که دمای داخل اتاق، تابعی از دمای بیرون است، با تغییرات دمای بیرون، دمای داخل اتاق افزایش و کاهش می یابد و به مقدار ثابتی نمی رسد. از هنگام راه اندازی سیستم کم تر از دوساعت طول می کشد، تا دمای اولیه اتاق را که در این تحقیق صفر درجه سانتی گراد فرض شده است، به دمای مطلوبی برساند و در بقیه ساعات با توجه به دمای بیرون و دمای داخل این مقدار گرما متغیر است و میزان این تغییرات خیلی زیاد نیست، چرا که رادیاتور همواره در حال گرم کردن اتاق است.

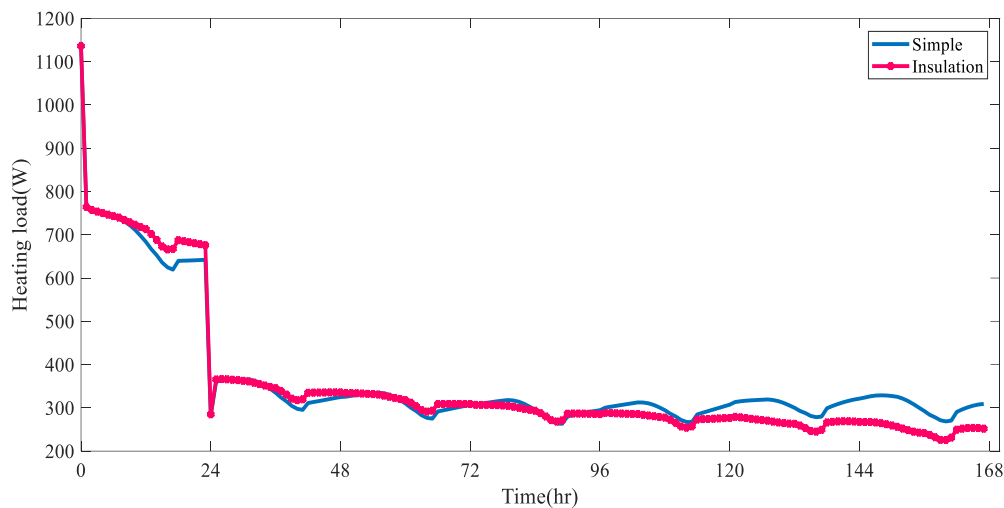
۴-۴- ارزیابی استفاده از عایق

استفاده از عایق در هنگام ساخت ساختمان ها رایج است، اما به علت پایین آوردن هزینه ها، اغلب از آن استفاده نمی شود یا مدل کم کیفیت آن مورد استفاده قرار می گیرد. در انتخاب عایق، موارد زیادی بایستی در نظر گرفته شود، که از جمله مهم ترین آن ها، شرایط آب و هوایی و نوع مصالح استفاده شده را می توان نام برد. در این بخش، ابتدا تاثیر قرار دادن عایق پشم شیشه سنگ، بر روی سطح بیرونی دیوارهای خارجی، نسبت به حالت نبود عایق بررسی می شود. و در ادامه تاثیر استفاده از الگوریتم کنترلی و عایق به صورت همزمان مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

همان طور که در شکل ۴-۷ دیده می شود در ساعات اولیه تغییرات قابل ملاحظه ای دیده نمی شود، اما به مرور زمان، عایق به دلیل مقاومت حرارتی بالای خود، از هدررفت گرما با محیط بیرون جلوگیری می کند و دمای اتاق را نیز اندکی بالاتر برده است. در نتیجه به مرور گرمای کم تری دریافت می کند. لازم به ذکر است که با گذشت چندروز، عایق تاثیرگذاری خود را بیش تر نشان می دهد.



شکل ۴-۷ مقایسه تغییرات دمای اتاق بدون الگوریتم کنترلی برای دو حالت بدون عایق و با عایق

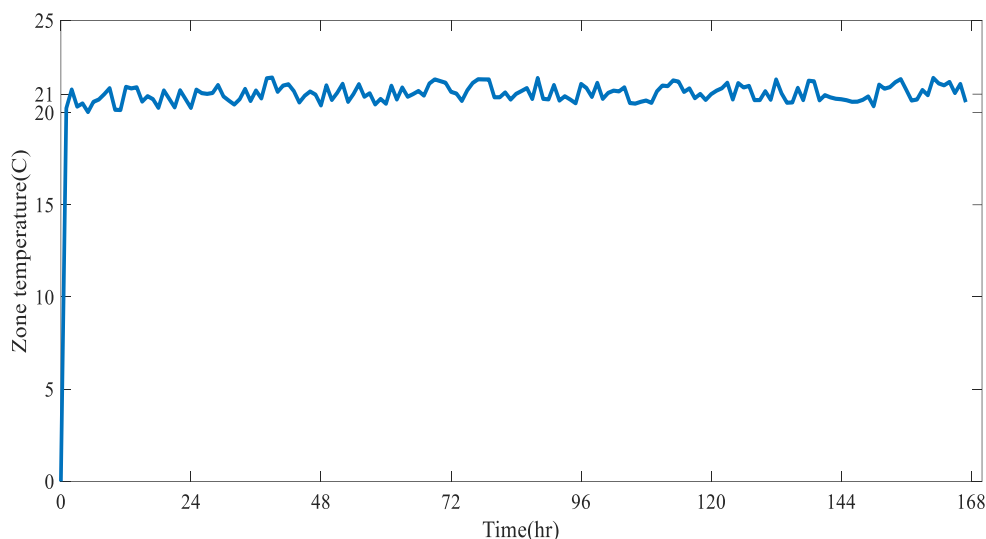


شکل ۴-۸ مقایسه حرارت داده شده اتاق بدون الگوریتم کنترلی برای دو حالت بدون عایق و با عایق

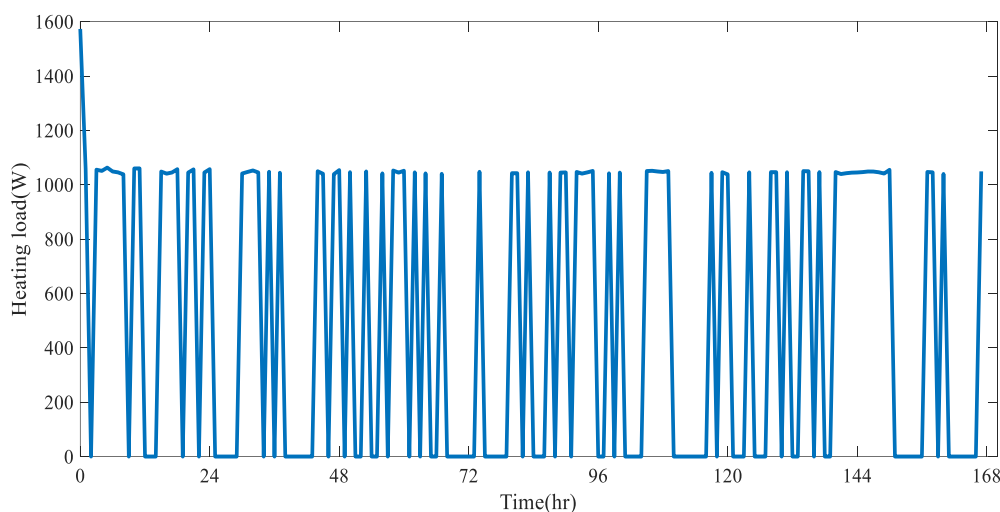
۵-۴ الگوریتم کنترلی

برای آشنایی هرچه بیش‌تر، نحوه عملکرد این الگوریتم توضیح داده می‌شود. و بدین صورت است که سنسور دمای موجود در اتاق، دمای اتاق را اندازه می‌گیرد و اگر مقدار این دما از مقدار بازه دمای آسایش تعریف شده کم‌تر باشد، شیر موجود بر روی رادیاتور را باز کرده و آب داغ خروجی از پکیج را به داخل رادیاتور می‌فرستد، تا با فضای موردنظر تبادل حرارت انجام دهد. و هنگامی که این دما از دمای تنظیم شده بیش‌تر شود، شیر موجود بر روی رادیاتور را می‌بندد، تا انتقال حرارتی صورت نگیرد. و این مساله

به صورت پیوسته تکرار می شود. در شکل ۹-۴ و ۱۰-۴ نتایج حاصل از پیاده سازی الگوریتم کنترلی، بر دمای فضا و مقدار گرمای داده شده مشخص می شود.



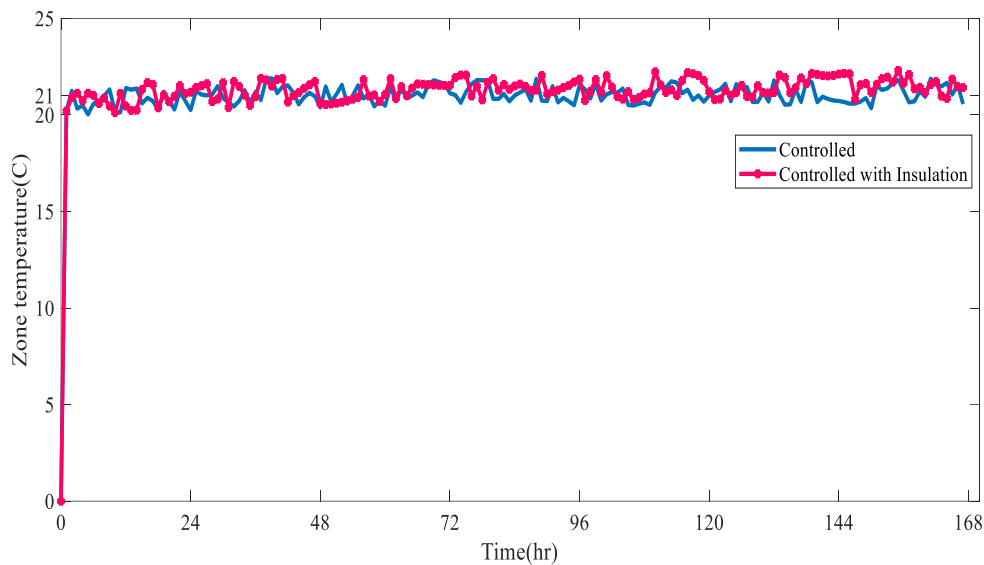
شکل ۹-۴ نمودار دمای اتاق با استفاده از الگوریتم کنترلی



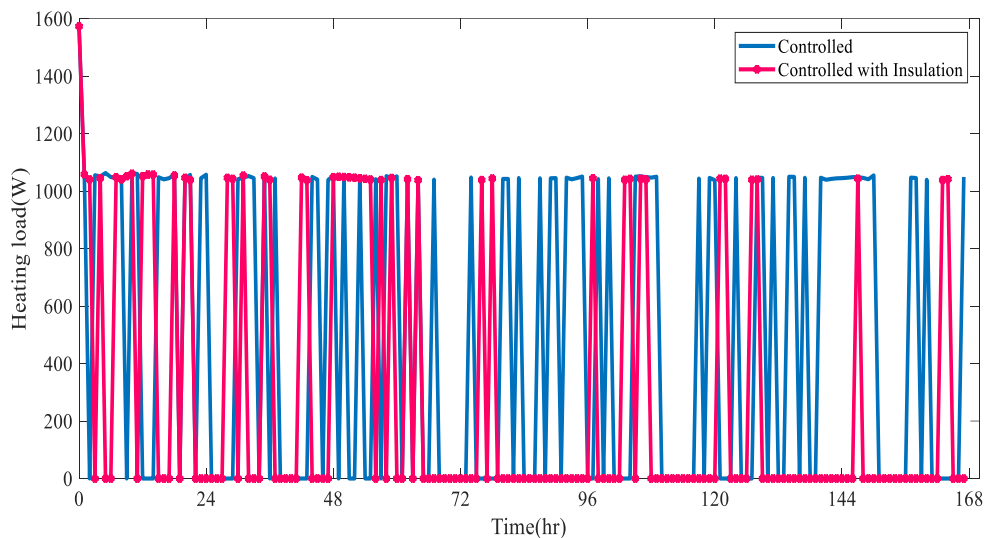
شکل ۱۰-۴ نمودار حرارت داده شده با استفاده از الگوریتم کنترلی

همان طور که در شکل ۹-۴ مشاهده می کنید، دمای اتاق حدود ۲۱ درجه سانتی گراد ثابت است و در بازه ی ۲۰ تا ۲۲ درجه سانتی گراد اندکی تغییر می کند، و استفاده از الگوریتم کنترلی، از گرم و سرد شدن اتاق جلوگیری می کند. در شکل ۱۰-۴ مطابق انتظار در زمان هایی که دمای اتاق به دمای آسایش

رسیده است تبادل حرارت را متوقف کرده است و با پایین آمدن دما، مجدداً تبادل حرارت آغاز شده است. لازم به ذکر است، در شکل ۴-۱۰ بار حرارتی برای درک بهتر به صورت ساعت به ساعت نشان داده شده است و مقادیر گرمایی که در بین هر ساعت داده شده اند، نشان داده نمی شود. اما در محاسبات مربوط به درصد کاهش مصرف انرژی لحاظ می شوند.

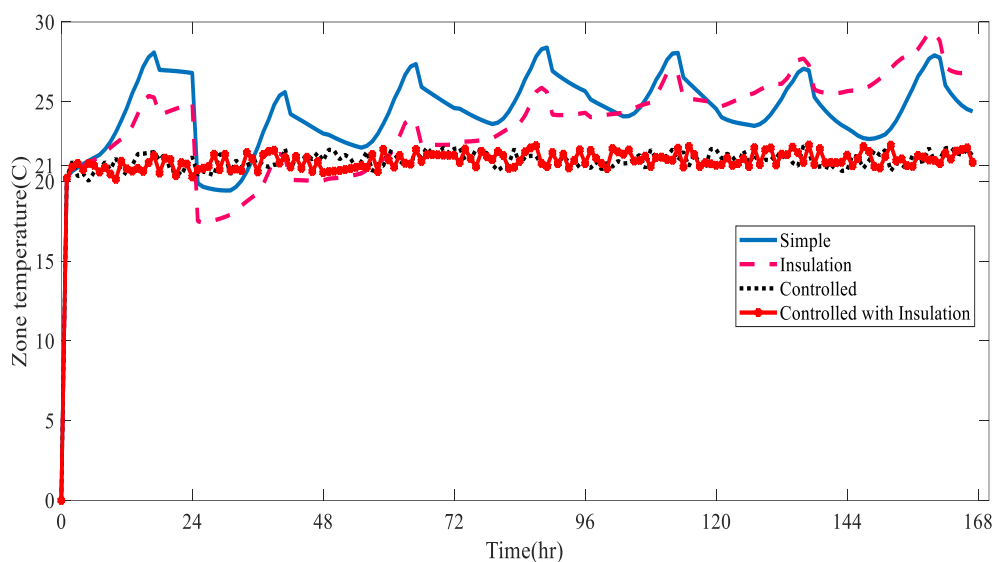


شکل ۴-۱۱ مقایسه تغییرات دمای اتاق با الگوریتم کنترلی برای دو حالت بدون عایق و با عایق



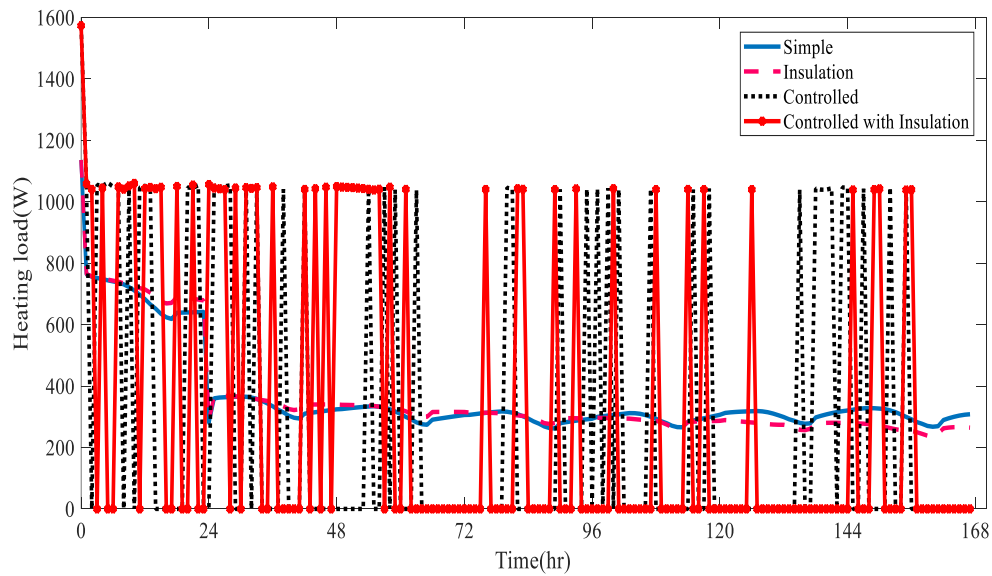
شکل ۴-۱۲ مقایسه حرارت داده شده اتاق با الگوریتم کنترلی برای دو حالت بدون عایق و با عایق

در شکل ۴-۱۲ تاثیر استفاده از عایق همزمان با الگوریتم کنترلی ارائه شده است، و وجود عایق باعث شده است که تغییرات دمایی اندک پیرامون دمای آسایش، کم تر شود و مصرف انرژی نیز مطابق شکل ۴-۱۲ کاهش یافته است.



شکل ۴-۱۳ مقایسه نمودار دما برای تمامی حالت‌ها

در شکل ۴-۱۳ تاثیر استفاده و عدم استفاده از الگوریتم کنترلی و ترکیب آن با عایق حرارتی در منازل دیده می‌شود و به خوبی اهمیت استفاده از آن‌ها را، در فراهم کردن آسایش ساکنین، به وسیله ثابت نگه داشتن دما، در مقدار تنظیمی کاربر بیان می‌کند.



شکل ۴-۱۴ مقایسه حرارت داده شده برای تمام حالت‌ها

با مشاهده شکل ۴-۱۴ نتیجه می‌شود، هنگامی که هیچ گونه تمهیداتی برای کاهش مصرف انرژی در نظر نگرفته شده است، گرما به صورت بی هدف و زیاد مصرف می‌شود، در صورتی که حتی دمای آسایش مطلوب افراد را تامین نمی‌کند. با افزودن عایق، بهبود خوبی حاصل می‌شود، اما استفاده از الگوریتم کنترلی تفاوت فاحشی را به وجود می‌آورد، که با ترکیب استفاده از عایق، برتری خود را نسبت به حالت‌های دیگر نشان می‌دهد.

در جدول ۴-۴ درصد کاهش مصرف بار حرارتی بیان می‌شود.

جدول ۴-۴ درصد کاهش مصرف حرارت

| درصد کاهش مصرف انرژی نسبت به حالت ساده | مقدار مصرف گاز طبیعی برای یک دوره ۴۰ روزه به ازای هر متر مربع $\frac{m^3}{m^2}$ | مقدار مصرف گاز طبیعی برای روز طرح m^3 | تمهیدات در نظر گرفته شده |
|--|---|---|------------------------------|
| — | ۳/۰۳ | ۲/۱۶ | ساده |
| ٪۱۷/۴۹ | ۲/۵ | ۲/۱۵ | افزودن عایق |
| ٪ ۲۵/۴۱ | ۲/۲۶ | ۲/۱۴ | استفاده از الگوریتم کنترلی |
| ٪۴۶/۳۶ | ۱/۴۱ | ۱/۹۲ | ترکیب الگوریتم کنترلی و عایق |

مبنای مقایسه در نظر گرفته شده در جدول ۴-۴، رادیاتور همواره روشن می‌باشد. علت در نظر گرفتن این مبنا، جامع تر بودن این حالت نسبت به سایر حالت‌ها می‌باشد و به فراخور نیاز قابل تغییر می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود استفاده از عایق، کاهش تبادل انرژی را به دنبال دارد و تا زمانی که به یک حالت تعادل نسبی برسد، گرمای زیادی را دریافت می‌کند و بعد از آن به دلیل کاهش انتقال حرارت با محیط، حرارت دریافتی از رادیاتور کاهش می‌یابد.

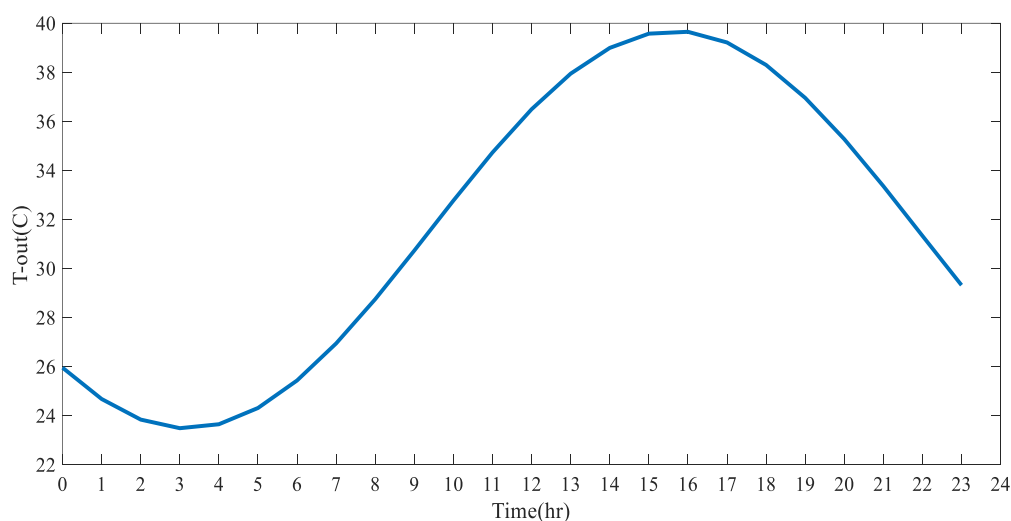
در حالت استفاده از الگوریتم کنترلی، دمای تنظیمی، بین ۲۰ و ۲۱ درجه سانتی‌گراد قرار دارد، در حالی که در حالت ساده، به علت میزان دریافت بالای حرارت به صورت پیوسته از سیستم گرمایشی، دما تا ۲۸/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. در نتیجه هنگامی که یک سیستم هوشمند مانع از افزایش دما، از حدود دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد بشود و برای این کار حرارت دریافتی از سیستم گرمایشی را

قطع می‌کند، مقدار مصرف انرژی به میزان بالای ۲۸ درصد کاهش می‌یابد. از طرفی اضافه کردن عایق، در حالی که از الگوریتم کنترلی استفاده می‌شود، با کاهش هدررفت گرما، مصرف انرژی را نسبت به حالت ساده تا ۵۳ درصد کاهش می‌دهد.

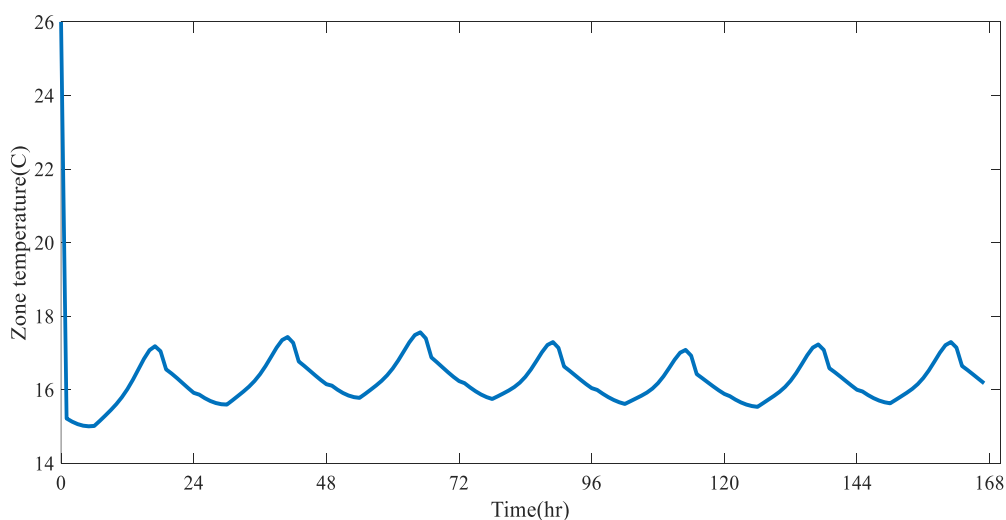
۴-۶- تحلیل نتایج فصل تابستان

از آنجا که ایران کشوری چهارفصل است و تغییرات دمایی در آن بسیار محسوس است، هوشمندسازی برای فصل تابستان نیز بایستی به صورت مجزا انجام شود. تا میزان کاهش مصرف انرژی آن به دست آید. روز طرح تابستان که در ۱۱ تیرماه سال ۱۳۹۵ قرار دارد، در شکل ۴-۱۵ نمایش داده شده است، با استفاده از فن‌کوئل زمینی، دمای اتاق و میزان مصرف انرژی طی یک هفته شامل روز طرح، محاسبه می‌شود و در شکل ۴-۱۶ و ۴-۱۷ نشان داده می‌شوند.

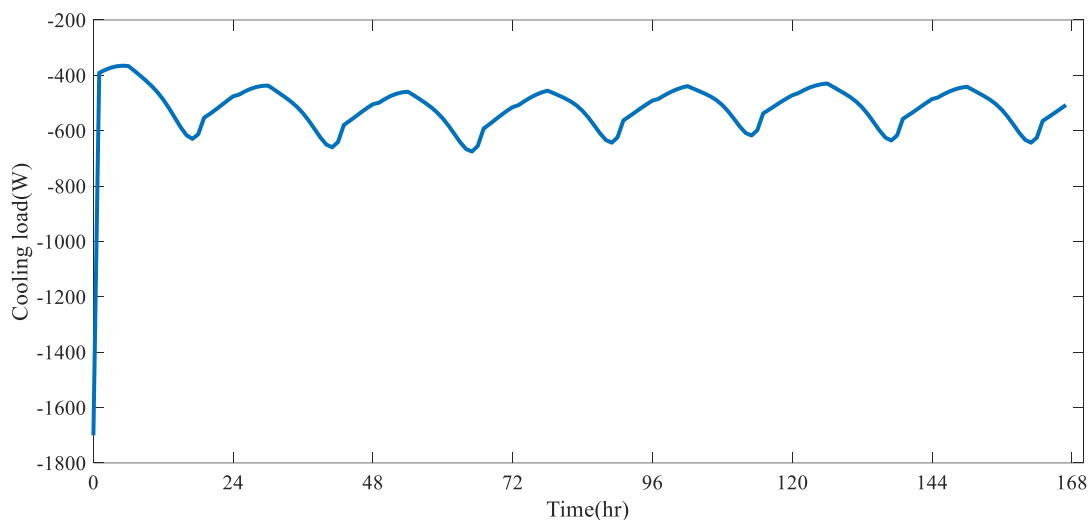
برای بررسی بیش‌تر جدا از بحث عایق و الگوریتم کنترلی، تاثیر همزمان استفاده آن با الگوریتم کنترلی ارائه خواهد شد. تفاوت مهم این بخش نصب پرده برقی بر روی پنجره می‌باشد، که به دلیل تشعشع زیاد در فصل تابستان، لزوم انجام این تحقیق احساس می‌شود.



شکل ۴-۱۵ روز طرح تابستان [۵۲]



شکل ۴-۱۶ نمودار دمای اتاق بدون استفاده از الگوریتم کنترلی

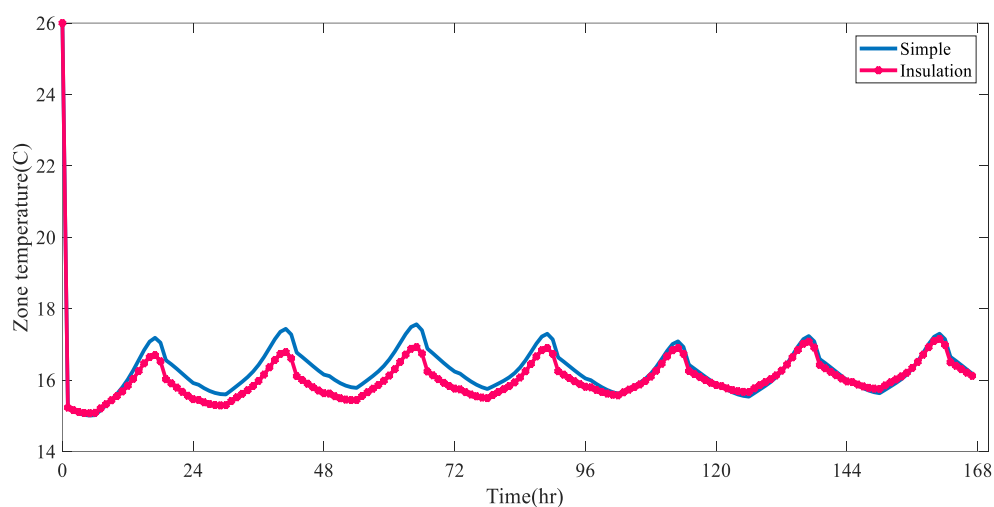


شکل ۴-۱۷ نمودار بار برودتی اتاق بدون استفاده از الگوریتم کنترلی

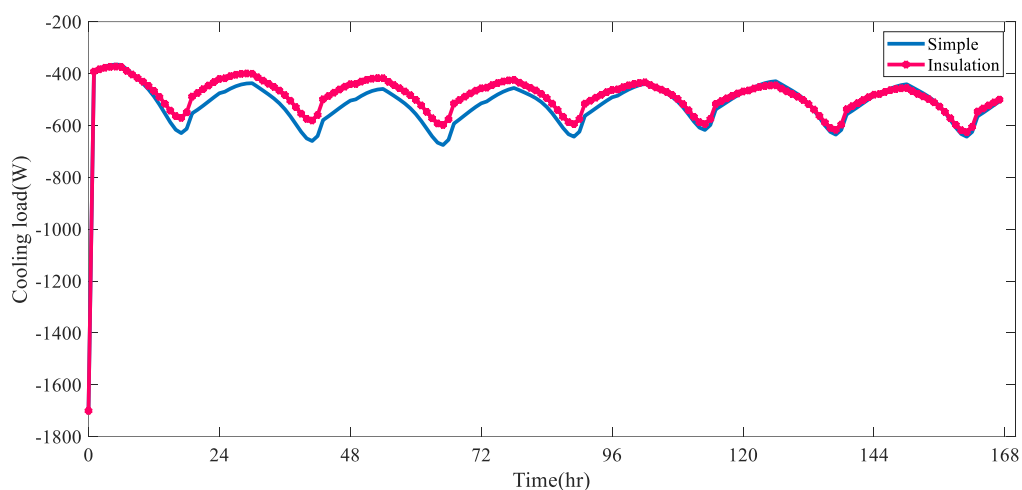
سیستم سرمایشی پیوسته روشن است و دمای اتاق را تا ۱۴ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌دهد، البته در زمان‌هایی که میزان تشعشع خورشید بالاست، دمای داخل اتاق بالا می‌رود. همچنین نمودار دما، برای یک هفته و یک ماه به صورت نوسانی، بین دمای ۱۴ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد نوسان می‌کند.

عایق با کاهش تبادل حرارت مطابق شکل ۴-۱۹، بار برودتی کم‌تری مصرف می‌کند، اما باز هم دمای اتاق، در مقداری پایین‌تر از مقدار مطلوب قرار دارد و به دلیل تبادل حرارتی کم‌تر با محیط بیرون،

دمای اتاق اندکی پایین تر از حالت معمول قرار می گیرد.

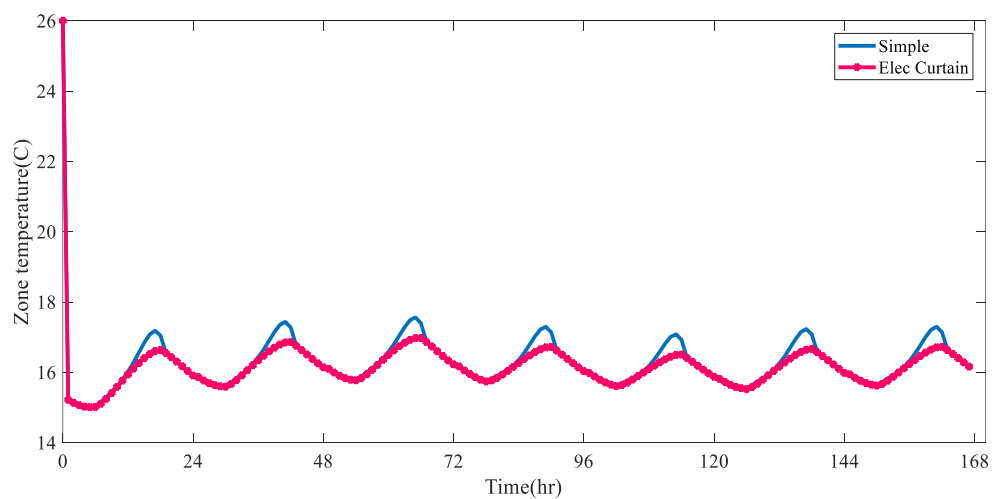


شکل ۴-۱۸ مقایسه تغییرات دمای اتاق بدون الگوریتم کنترلی برای دو حالت بدون عایق و با عایق

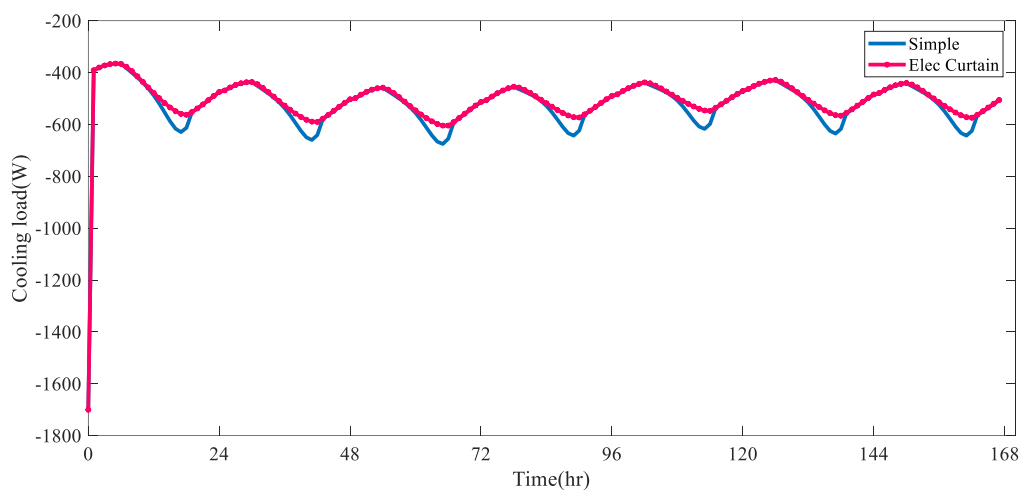


شکل ۴-۱۹ مقایسه تغییرات بار برودتی اتاق بدون الگوریتم کنترلی برای دو حالت بدون عایق و با عایق

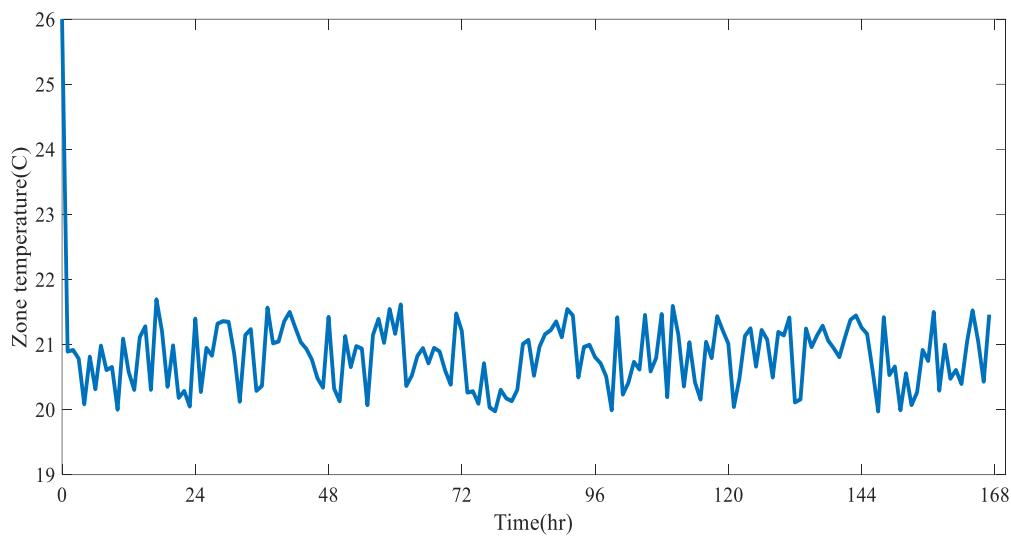
برای استفاده از پرده برقی در انجام محاسبات، بایستی در نظر داشت که هدررفت اتاق مورد مطالعه، به دلیل شرایط در نظر گرفته شده بسیار بالاست و پنجره موجود در اتاق، در حد متعارف است، در نتیجه تاثیر استفاده، به نسبت این شرایط به دست می آید و مطمئناً با شرایطی دیگر مقدار درصد کاهش مصرف انرژی متفاوت و بیش تر خواهد بود. مطابق انتظار و همان طور که در شکل ۴-۲۱ مشاهده می کنید مقدار بار برودتی مورد نیاز با استفاده از پرده برقی کاهش یافته است.



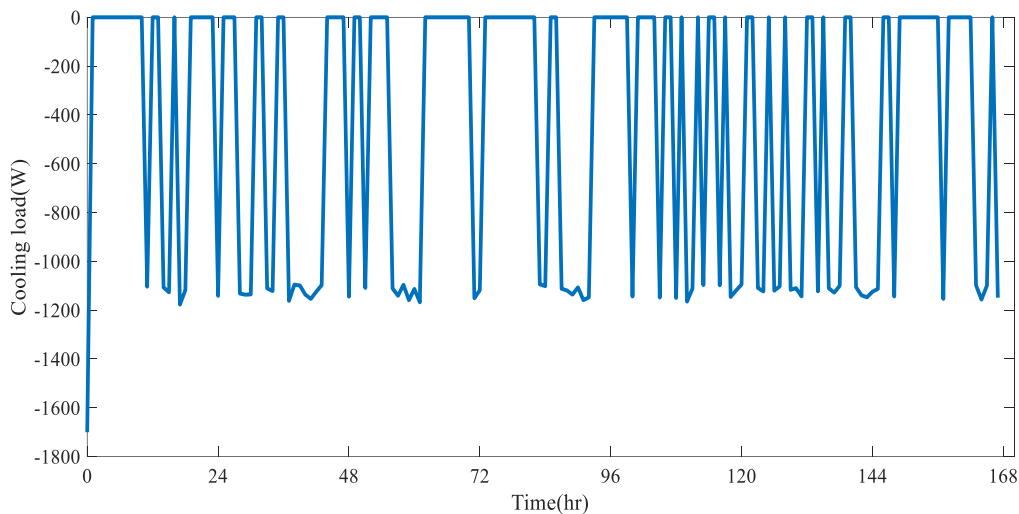
شکل ۴-۲۰ مقایسه تغییرات دمای اتاق بدون الگوریتم کنترلی برای دو حالت با و بدون پرده برقی



شکل ۴-۲۱ مقایسه بار برودتی اتاق بدون الگوریتم کنترلی برای دو حالت با و بدون پرده برقی



شکل ۴-۲۲ نمودار دمای اتاق با استفاده از الگوریتم کنترلی

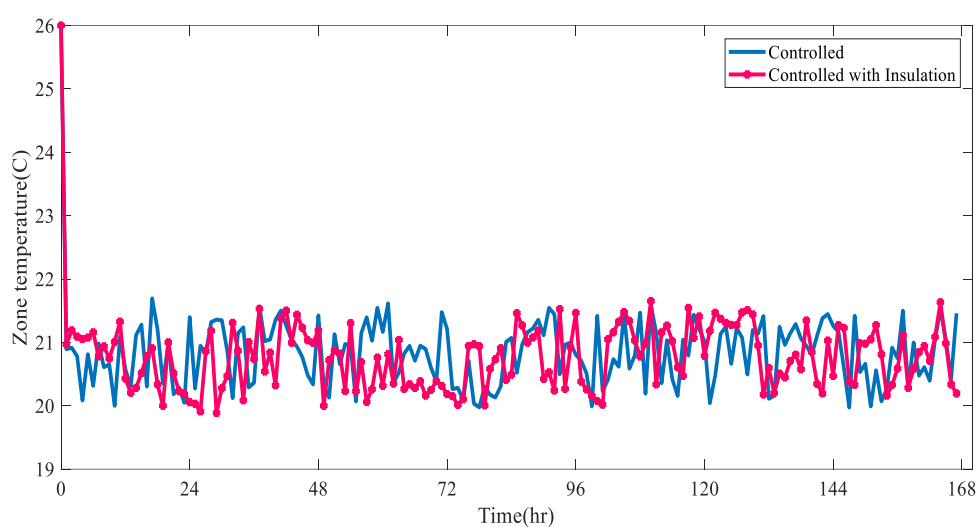


شکل ۴-۲۳ نمودار بار برودتی اتاق با استفاده از الگوریتم کنترلی

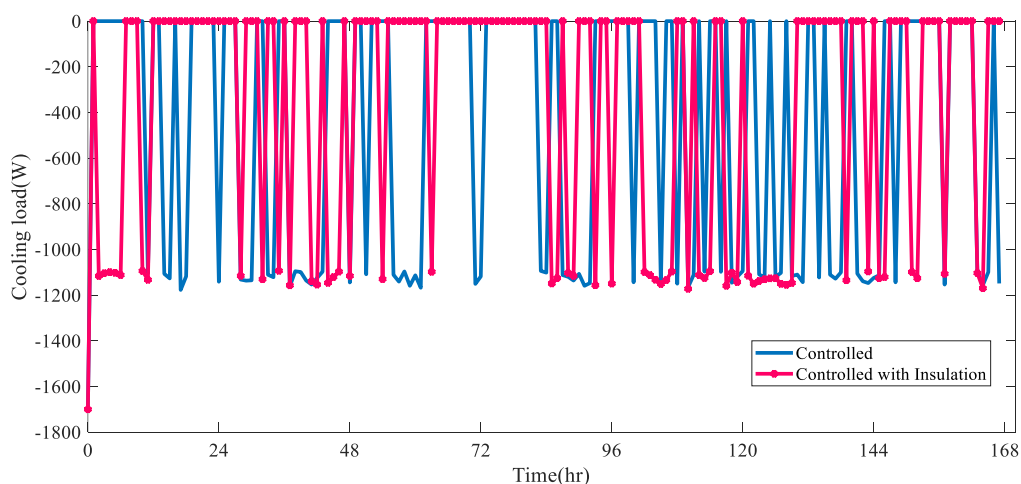
سنسور دمای موجود در اتاق، دمای هوای اتاق را اندازه می‌گیرد و اگر مقدار این دما از مقدار دمای آسایش تعریف شده بیش‌تر باشد، موتور فن کویل را روشن کرده و هوایی که با عبور از روی کویل‌های فن کویل سرد شده است را به داخل اتاق می‌فرستد، تا زمانی که دمای اتاق از حدود ۲۰ و ۲۱ درجه سانتی‌گراد کم‌تر شود، در این حالت با خاموش کردن فن کویل دمای اتاق را در حدود ۲۱ و ۲۲ درجه سانتی‌گراد ثابت نگه می‌دارد، تا اینکه دوباره دما بیش از مقدار تعریف شده گردد و این روند تکرار می‌شود.

در شکل ۴-۲۳ بار برودتی که راس هر ساعت به فضا داده می‌شود، نشان داده شده است. بار برودتی هر ساعت از مجموع بارهای وارده به فضا در آن ساعت به دست می‌آیند، اما به دلیل دید بهتر نمودار ساعت به ساعت ارائه شده است.

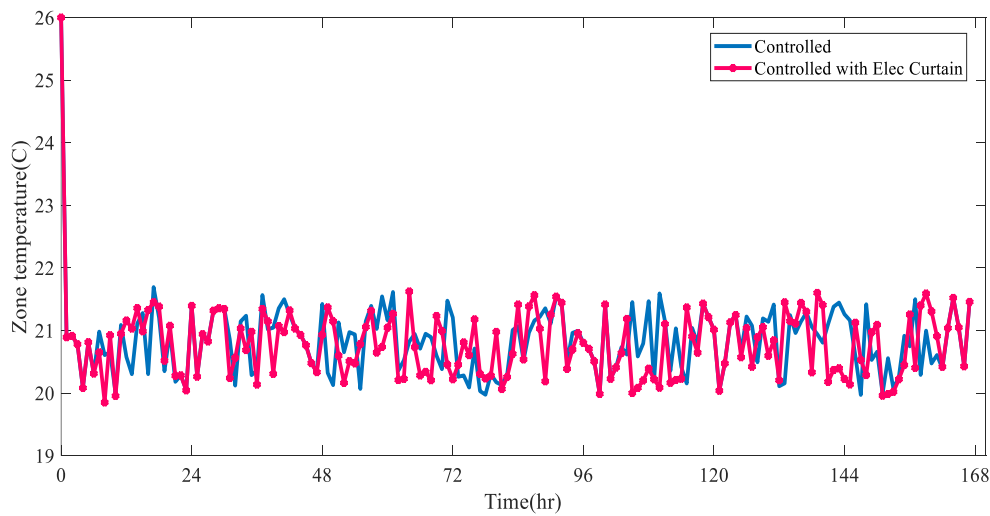
در شکل ۴-۲۴ و شکل ۴-۲۵ مقایسه استفاده از عایق، همزمان با الگوریتم کنترلی ارائه می‌شود، که تاثیر وجود عایق بر دمای اتاق، کاهش تغییرات دمایی و کاهش مصرف انرژی را به دنبال داشته است.



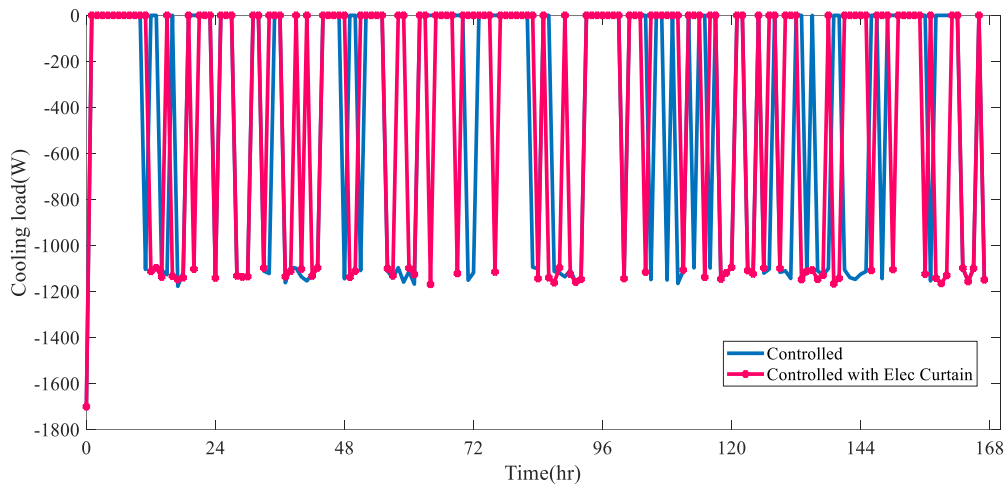
شکل ۴-۲۴ مقایسه تغییرات دمای اتاق با الگوریتم کنترلی برای دو حالت بدون عایق و با عایق



شکل ۴-۲۵ مقایسه تغییرات بار برودتی اتاق با الگوریتم کنترلی برای دو حالت بدون عایق و با عایق

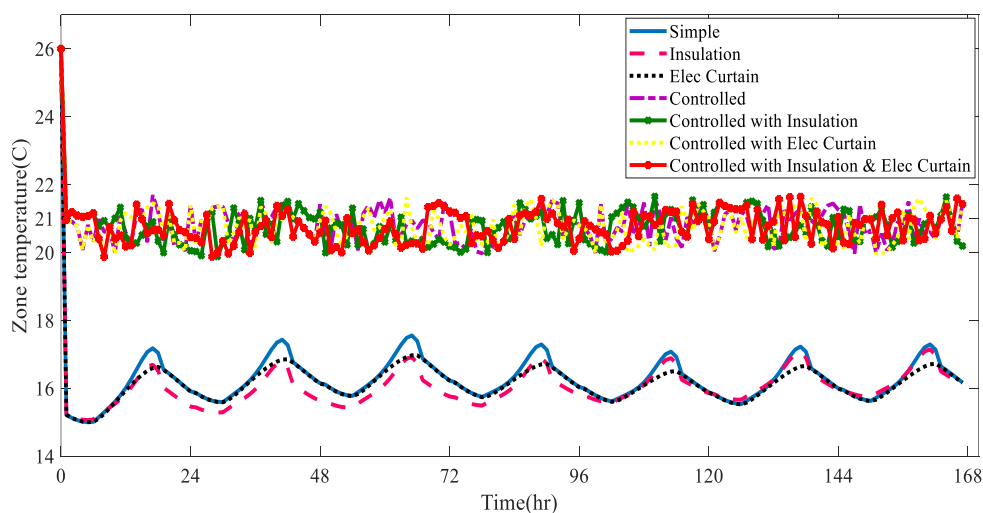


شکل ۴-۲۶ مقایسه تغییرات دمای اتاق با الگوریتم کنترلی برای دو حالت با و بدون پرده برقی

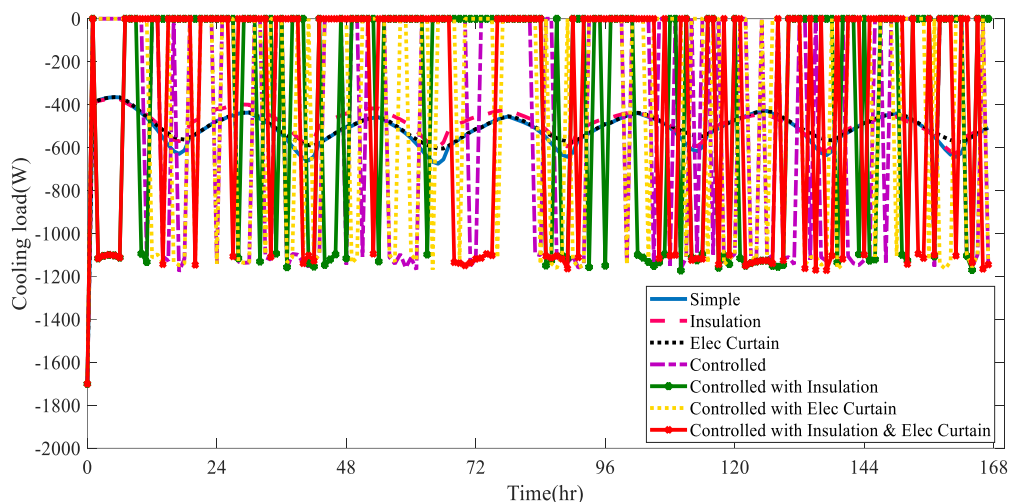


شکل ۴-۲۷ مقایسه بار برودتی اتاق با الگوریتم کنترلی برای دو حالت با و بدون پرده برقی

همانطور که در شکل ۴-۲۶ و شکل ۴-۲۷ دیده می‌شود به دلیل آن که الگوریتم کنترلی دمای اتاق را در دمای تنظیمی کاربر ثابت نگاه می‌دارد، استفاده و عدم استفاده پرده برقی، تاثیر زیاد و متفاتی بر دمای اتاق نمی‌گذارد، اما میزان بار برودتی لازم اتاق را، به دلیل کاهش دریافت گرمای تشعشعی خورشید کاهش می‌دهد.



شکل ۴-۲۸ مقایسه نمودار دما برای تمام حالت‌ها



شکل ۴-۲۹ مقایسه بار برودتی برای تمام حالت‌ها

همان‌طور که در شکل ۴-۲۸ مشاهده می‌شود، با افزودن هر یک از وسایل کنترلی نسبت به حالت ساده، دمای اتاق، روی دمای تنظیمی و مورد نظر ثابت شده است و بار برودتی کم‌تری استفاده شده است. مهم‌تر از همه، ترکیب وسایل هوشمند با هم و ترکیب استفاده از وسایل هوشمند با عایق، به مقدار چشمگیری باعث کاهش مصرف انرژی شده است. که این کاهش، مصرف سرانه گاز طبیعی، برق و منابع طبیعی را به دنبال دارد و کشور را در وضع باثباتی از لحاظ اقتصادی و سیاسی نگاه می‌دارد.

در جدول ۴-۵ کاهش مصرف انرژی برای برودت فضا بیان می‌شود.

مبنای مقایسه در نظر گرفته شده در جدول ۴-۵، فن‌کوئل پیوسته روشن می‌باشد. علت در نظر گرفتن این مبنای، آن است که در ماه‌های گرم تابستان به دلیل دمای بالای هوا و تعرق زیاد، تحمل گرمای هوا، پایین آمده و سیستم‌های سرمایشی پیوسته در حال استفاده می‌باشند. همان‌طور که مشاهده می‌شود استفاده از عایق، کاهش تبادل انرژی با محیط را به دنبال دارد و گرمای کم‌تری به خانه، از محیط وارد می‌شود و دمای خانه کم‌تر بالا می‌رود، در نتیجه به سرمایش کم‌تری برای جبران گرمای هوای داخل اتاق نیاز است.

افزودن پرده برقی، مانع از ورود تشعشع خورشید به داخل اتاق و افزایش دما می‌شود. و بسته به نیاز کاربر ساعات باز و بسته بودن پرده برقی قابل تغییر است. ترکیب همزمان استفاده از عایق و پرده برقی نتایج مطلوب‌تری را به دنبال دارد.

با پیاده‌سازی الگوریتم کنترلی، دمای اتاق بر روی دمای آسایش تنظیم شده و با خاموش کردن فن‌کوئل، اجازه نمی‌دهد مانند حالت ساده، با دریافت سرمایش اضافی، باعث کاهش دما تا ۱۶ درجه سانتی‌گراد شود. افزودن عایق به ساختمان در این حالت، به علت روشن و خاموش شدن سیستم سرمایشی، و جلوگیری از هدررفت سرمایش فضا، کم‌تر به چشم می‌آید، اما در پروژه‌های بزرگ‌تر و شاید استفاده از عایقی که دارای مقاومت بالاتری باشد، درصد کاهش مصرف انرژی را افزایش دهد. از طرفی استفاده از وسیله هوشمند دیگر مانند پرده برقی، که گرمای دریافتی از خورشید را کاهش می‌دهد به بهبود مقدار مصرف انرژی کمک می‌کند.

در نهایت مطابق انتظار، ترکیب استفاده همزمان نمونه‌های بررسی شده، درصد کاهش مصرف

مطلوبی به میزان ۳۳/۳ درصد، را به ارمغان می‌آورد که اهمیت استفاده از آن‌ها را اثبات می‌کند.

جدول ۴-۵ درصد کاهش مصرف برودت

| درصد کاهش مصرف انرژی نسبت به حالت ساده | مقدار مصرف برق برای یک دوره مصرف دو ماهه $\frac{\text{KWh}}{\text{m}^2}$ | مقدار مصرف برق برای یک روز KWh | تمهیدات در نظر گرفته شده |
|--|--|--------------------------------|------------------------------------|
| — | ۲۲/۵۹ | ۴/۲۱۶ | ساده |
| %۵ | ۲۲/۵۱ | ۴/۰۴ | افزودن عایق |
| %۳ | ۲۲/۵۵ | ۴/۱۱ | افزودن پرده برقی |
| %۸ | ۱۹/۵۸ | ۳/۹۱ | ترکیب عایق و پرده برقی |
| %۱۶ | ۱۸/۸۱ | ۳/۱۹ | پیاده‌سازی الگوریتم کنترلی |
| %۲۶/۶ | ۱۶/۵۷ | ۳/۱۶ | الگوریتم کنترلی و عایق |
| %۲۲/۹ | ۱۷/۳۴ | ۳/۱۸ | الگوریتم کنترلی و پرده برقی |
| %۳۳/۳ | ۱۵/۰۸ | ۲/۸ | الگوریتم کنترلی و عایق و پرده برقی |

۵- فصل پنجم

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

۱-۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، ابتدا مشکلات انرژی جهان به‌خصوص ایران بیان شد، سپس به معرفی الگوریتم کنترلی، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی مورد نظر و مزایای آن‌ها پرداخته شد. در ادامه هوشمندسازی ساختمان و مروری بر کارهای پیشین مرتبط ارائه شد و در فصل سوم، روابط حاکم بر تحقیق حاضر، موازنه حرارتی و مدار حرارتی معادل و همچنین روش تفاضل پیشرو برای برنامه نویسی الگوریتم در نرم‌افزار متلب، نمایش داده شد. بعد از آن اعتبارسنجی و نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل مورد نظر، مورد بررسی قرار گرفت و به نمایش گذاشته شد و درصد کاهش مصرف انرژی محاسبه شد.

با شبیه‌سازی و مدل‌سازی ساختمان مستقل مورد بررسی با مشخصات ذکر شده، برخی از نتایج به‌صورت خلاصه ارائه می‌شود.

۱. برنامه نوشته شده که با نرم‌افزار کریر اعتبارسنجی شد، قادر به استفاده برای مدل‌های دیگر با مشخصات متفاوت است.

۲. برنامه قابل اجرا برای روزهای طرح و روزهای معمولی می‌باشد.

۳. الگوریتم کنترلی حتی بر روی وسایل سرمایشی و گرمایشی بسیار ساده هم، قابل اجرا می‌باشد.

۴. در زمستان استفاده از عایق کاهش تبادل حرارت و در نتیجه مصرف انرژی چشم‌گیری در حدود

۱۷/۴۹ درصد را به دنبال داشت. استفاده از الگوریتم کنترلی به دلیل نگه داشتن دما روی دمای

آسایش، مصرف انرژی را تا ۲۵/۴۱ درصد، نسبت به نمونه همواره روشن، می‌رساند. از طرفی

ترکیب همزمان آن با عایق ۴۶/۳۶ درصد کاهش مصرف انرژی حاصل می‌شود.

۵. در تابستان با افزودن عایق به حالت ساده، ۵ درصد کاهش و استفاده از پرده برقی ۳ درصد

کاهش مصرف انرژی را گزارش می‌کنند. سپس با پیاده‌سازی الگوریتم کنترلی نسبت به نبود

آن، ۱۶ درصد بهبود حاصل می‌شود. مساله مهم‌تر، ترکیب همزمان با عایق، ۲۶/۶ درصد کاهش

را به ارمغان می‌آورد، که با انتخاب عایق بهینه و برای ساختمان‌های بزرگ‌تر، بهبود بیش‌تری

را رقم می‌زند. از طرفی استفاده همزمان پرده برقی و الگوریتم کنترلی برای پنجره با ابعاد موردنظر، کاهش ۲۲/۹ درصدی را سبب می‌شود. در نهایت استفاده هر سه باهم ۳۳/۳ کاهش مصرف را در یک دوره دوماهه مصرف، به دنبال دارد.

۲-۵- پیشنهادات

در ادامه به ارائه برخی پیشنهادات، برای بررسی بیش‌تر و جزئی‌تر موارد مطالعه شده در تحقیق حاضر پرداخته می‌شود.

۱. هوشمندسازی خوابگاه‌های شاهرود.
۲. برای سایر سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی، بررسی فوق صورت بگیرد.
۳. حل معادلات به صورت غیر خطی انجام شود.
۴. برای اقلیم‌های بسیار گرم و بسیار سرد، شبیه‌سازی شود.
۵. از عایق پشم سنگ، با ضخامت و جرم متفاوت استفاده گردد.
۶. از عایق‌های دیگر با مشخصات متفاوت، برای ساختمان استفاده شود و عایق بهینه انتخاب شود.
۷. تحلیل اقتصادی صورت گیرد.

| | |
|--------------------------------|--|
| مصالح استفاده شده برای دیوارها | مصالح استفاده شده برای سقف |
| سنگ نما (مرمر) | مقوای نمدی و پوشش‌های نرم آغشته به قیر |
| ملات سیمان | فونداسیون بتنی (بتن معمولی) |
| آجر سفال ۱۰ سانتی‌متری | تیرچه بلوک سفالی ۲۵ سانتی‌متری |
| گچ و خاک | گچ و خاک |
| گچ سفید | گچ سفید |

- [1] <https://www.iea.org/weo/>, visited at 5 Feb. 2019.
- [2] Molina-Solana, M., Ros, M., Ruiz, M.D., Gómez-Romero, J. and Martín-Bautista, M.J., 2017. Data science for building energy management: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, pp.598-609.
- [3] Tesiero III, R.C., 2014. Intelligent approaches for modeling and optimizing HVAC systems (Doctoral dissertation, North Carolina Agricultural and Technical State University).
- [4] Afram, A. and Janabi-Sharifi, F., 2014. Theory and applications of HVAC control systems—A review of model predictive control (MPC). *Building and Environment*, 72, pp.343-355.
- [5] <http://www.ifco.ir>, visited at 17 Jul. 2018.
- [6] <http://www.mir.co.ir>, visited at 25 Jul. 2018.
- [7] <http://www.infp.ir>, visited at 30 Jul. 2018.
- [8] ع. موسویان، ا. مزینان، م. میرزایی و ا. غلامی، " بهینه سازی مصرف انرژی با هوشمند سازی تجهیزات ساختمان و مقایسه با سایر روش های بهینه سازی مصرف انرژی "، اولین همایش سراسری متخصصین برق و کامپیوتر، شهرکرد، چهارم محال و بختیاری، ۱۳۸۹.
- [9] ع. ارغان و ه. نصیبی، " بهینه سازی مصرف انرژی با توجه به طراحی اقلیمی ساختمان های مسکونی "، کنفرانس سالانه معماری، شهرسازی، جغرافیا و عمران، شیروان، موسسه پایا شهر، ۱۳۹۶.
- [10] <http://www.enef.co/publications/43-2012-05-30-18-09-56.html>, visited at 30 Jul. 2018.
- [12] Seifert, J., Knorr, M., Meinzenbach, A., Bitter, F., Gregersen, N. and Krogh, T., 2016. Review of thermostatic control valves in the European standardization system of the EN 15316-2/EN 215. *Energy and Buildings*, 125, pp.55-65.
- [13] Ahmed, M.M., Abdel-Rahman, A.K., Bady, M. and Mahrous, E., 2016. The thermal performance of residential building integrated with adaptive kinetic shading system. *International Energy Journal*, 16(3).
- [11] س. غازی و ا. نادری، " بررسی نقش سیستم مدیریت هوشمند (EBMS) در بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان "، انسان و محیط زیست، دوره ۹، شماره ۳، صفحه ۴۹-۵۲، ۱۳۹۰.
- [14] Galvin, R., 2013. Targeting 'behavers' rather than behaviours: a 'subject-oriented' approach for reducing space heating rebound effects in low energy dwellings. *Energy and buildings*, 67, pp.596-607.
- [15] Yu, Z., Fung, B.C., Haghghat, F., Yoshino, H. and Morofsky, E., 2011. A systematic procedure to study the influence of occupant behavior on building energy consumption. *Energy and Buildings*, 43(6), pp.1409-1417.
- [16] Peeters, L., Van der Veken, J., Hens, H., Helsens, L. and D'haeseleer, W., 2008. Control of heating systems in residential buildings: Current practice. *Energy and*

- Buildings*, 40(8), pp.1446-1455.
- [17] Han, H.J., Jeon, Y.I., Lim, S.H., Kim, W.W. and Chen, K., 2010. New developments in illumination, heating and cooling technologies for energy-efficient buildings. *Energy*, 35(6), pp.2647-2653.
- [18] Wong, J.K., Li, H. and Wang, S.W., 2005. Intelligent building research: a review. *Automation in construction*, 14(1), pp.143-159.
- [19] R. Noe, J. Hollenbeck, B. Gerhart, and P. Wright, *Human Resources Management: Gaining a Competitive Advantage, Tenth Global Edition*. McGraw-Hill Education, 2006
- [20] Alavi, M. and Leidner, D.E., 1999. Knowledge management systems: issues, challenges, and benefits. *Communications of the AIS*, 1(2es), p.1.
- [21] Walker, I.S. and Meier, A.K., 2008. Residential thermostats: comfort controls in California Homes. *Lawrence Berkeley National Laboratory*, 7.
- [22] Peffer, T., Pritoni, M., Meier, A., Aragon, C. and Perry, D., 2011. How people use thermostats in homes: A review. *Building and Environment*, 46(12), pp.2529-2541.
- [23] <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/279869/hypocaust>, visited at 30 Oct. 2018.
- [24] Nelson, L.W. and MacArthur, J.W., 1978. Energy savings through thermostat setback. *ASHRAE J.:(United States)*, 84(2).
- [25] Sanchez, M.C., Brown, R.E., Webber, C. and Homan, G.K., 2008. Savings estimates for the United States Environmental Protection Agency's ENERGY STAR voluntary product labeling program. *Energy policy*, 36(6), pp.2098-2108.
- [26] Gupta, M., Intille, S.S. and Larson, K., 2009, May. Adding gps-control to traditional thermostats: An exploration of potential energy savings and design challenges. In *International Conference on Pervasive Computing* (pp. 95-114). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [27] <http://www.usnap.org>, visited at 30 Sep. 2018.
- [28] Freire, R.Z., Oliveira, G.H. and Mendes, N., 2008. Predictive controllers for thermal comfort optimization and energy savings. *Energy and buildings*, 40(7), pp.1353-1365.
- [29] Rijksen, D.O., Wisse, C.J. and Van Schijndel, A.W.M., 2010. Reducing peak requirements for cooling by using thermally activated building systems. *Energy and buildings*, 42(3), pp.298-304.
- [30] Tahersima, F., Stoustrup, J. and Rasmussen, H., 2013. An analytical solution for stability-performance dilemma of hydronic radiators. *Energy and Buildings*, 64, pp.439-446.
- [31] Xu, B., Fu, L. and Di, H., 2008. Dynamic simulation of space heating systems with radiators controlled by TRVs in buildings. *Energy and buildings*, 40(9), pp.1755-1764.
- [32] Xu, B., Huang, A., Fu, L. and Di, H., 2011. Simulation and analysis on control effectiveness of TRVs in district heating systems. *Energy and Buildings*, 43(5), pp.1169-1174.

- [33] C. Tingting, Z. Jili, Z. Tianyi, and X. J. P. E. Li, "Application study on a duty ratio fuzzy control method for fan coil units in the building in Chengdu, China," vol. 205, pp. 1323-1330, 2017.
- [34] Tianyi, Z., Jili, Z. and Dexing, S., 2011. Experimental study on a duty ratio fuzzy control method for fan-coil units. *Building and Environment*, 46(2), pp.527-534.
- [35] Chu, C.M., Jong, T.L. and Huang, Y.W., 2005. Thermal comfort control on multi-room fan coil unit system using LEE-based fuzzy logic. *Energy Conversion and Management*, 46(9-10), pp.1579-1593.
- [36] Ke, M.T., Weng, K.L. and Chiang, C.M., 2007. Performance evaluation of an innovative fan-coil unit: Low-temperature differential variable air volume FCU. *Energy and Buildings*, 39(6), pp.702-708.
- [37] Kaam, S., Raftery, P., Cheng, H. and Paliaga, G., 2017. Time-averaged ventilation for optimized control of variable-air-volume systems. *Energy and Buildings*, 139, pp.465-475.
- [38] Li, X., Zhao, T., Zhang, J. and Chen, T., 2017. Development of network control platform for energy saving of fan coil units. *Journal of Building Engineering*, 12, pp.155-160.
- [39] Khoo, C., 2013. Morphing architecture with responsive material systems.
- [40] Elghazi, Y., Wagdy, A. and Abdalwahab, S., 2015. Simulation driven design for kinetic system; optimize kaledocycle facade configuration for daylighting adequacy in hot arid climates. In *Conference of International Building Performance Simulation Association* (pp. 182-189).
- [41] Loonen, R.C., Trčka, M., Cóstola, D. and Hensen, J.L.M., 2013. Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges. *Renewable and sustainable energy reviews*, 25, pp.483-493.
- [42] Loonen, R.C.G.M. and Hensen, J.L.M., 2016. Considerations regarding optimization of dynamic facades for improved energy performance and visual comfort. In *the Proceedings of the COLEB 2014 Workshop-Computational Optimisation of Low-Energy Building* (pp. 6-8).
- [43] Kensek, K. and Hansanuwat, R., 2011. Environment control systems for sustainable design: a methodology for testing, simulating and comparing kinetic facade systems. *Journal of Creative Sustainable Architecture & Built Environment*, 1, pp.27-46.
- [44] T. L. Bergman, F. P. Incropera, A. S. Lavine, and D. P. Dewitt, *Introduction to heat transfer*. John Wiley & Sons, 2011.
- [45] Dobbs, J., 2015. Model predictive control of building energy management systems in a smart grid environment.
- [46] ا. غلامی، "بررسی الگوریتم کنترلی یک سیستم سرمایش گرمایش تجاری جهت رسیدن به نقطه بهینه اقتصادی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۹۶.
- [47] Kalogirou, S.A., 2013. Building integration of solar renewable energy systems towards zero or nearly zero energy buildings. *International Journal of Low-*

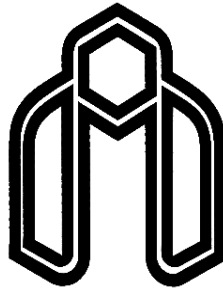
Carbon Technologies, 10(4), pp.379-385.

- [48] م. طباطبایی، محاسبات تاسیسات ساختمان، انتشارات بهمن، چاپ نوزدهم.
- [49] Crawley, D.B., Hand, J.W., Kummert, M. and Griffith, B.T., 2008. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and environment*, 43(4), pp.661-673.
- [50] Mohammed, A.K., Abdullah, R.S. and Maree, I.E., 2016. Comparison between Hand Calculation and HAP programs for estimating total cooling load for Buildings. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*, 28(4), pp.90-96.
- [51] مقررات ملی ساختمان، مبحث ۱۹، ۱۳۸۹.
- [52] <https://www.wunderground.com>, visited at 30 Oct. 2018.

Abstract

According to statistics from the Fuel Conservation Organization, 39% of the total energy production in Iran is consumed in residential and commercial buildings. Of this amount, about 50% is wasted in different parts of the building, where air conditioning systems play an important role. As a result, implementation of an applied method to reduce energy consumption is required on cooling and heating systems that can be implemented in all residential buildings in Iran. For this purpose in this project, making a sample building smart was studied in Mashhad. This was done by implementing the control algorithm on traditional air conditioning systems used in Iran which written and simulated in MATLAB software, on conventional air conditioning systems used in Iran, preventing the transmission of heat and cooling when the temperature is within the defined range. For a more comprehensive analysis, the amount of energy consumption reduction compared to its non-use status has been investigated for both winter and summer. Also, the effect of simultaneous use of insulation with a control algorithm, on the reduction of fuel consumption, was studied. Finally, the results of the installation of the electric curtain in the summer and its combination with insulation and control algorithm were investigated. The implementation of the control algorithm on the heating system in winter has led to a 25.41% reduction in energy consumption, Which Simultaneous use of it with insulation results in a 46.36% reduction in energy consumption. Also, during two month period in summer, by executing the usage of control algorithm with electrical curtain and insulation in the same time, power consumption will reduce from 22.59 kWh/m² to 15.08 Kilowatt hours per square meters.

Keywords: Making smart, Reduction of energy consumption, Control algorithm, Radiator, Fan coil, Add insulation, Installation electric curtain



Shahrood University of Technology

Faculty of Mechanical and Mechatronics Engineering

M.Sc. Thesis in Energy Conversion Engineering

**Building management system(BMS) influence on
building energy consumption**

By:

Samira Abdollahi Darmian

Supervisor:

Dr. Mahmood Farzaneh Gord

January 2019