

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق و رباتیک
پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی کنترل

کنترل هوشمند انرژی ساختمان های مسکونی با منطق فازی

نگارنده: احسان قزلباش

استاد راهنما:

آقای دکتر طوسیان شانديز

شهریور ماه ۱۳۹۶

دانشکده : برق و رباتیک

گروه : برق

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای احسان قزلباش

تحت عنوان : کنترل هوشمند انرژی ساختمان های مسکونی با منطق فازی

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی : --		نام و نام خانوادگی : حیدر طوسیان شاندیز
	نام و نام خانوادگی : --		نام و نام خانوادگی : --

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : محمد حداد ظریف		نام و نام خانوادگی : علیرضا الفی
			نام و نام خانوادگی : محسن اصیلی
			نام و نام خانوادگی : --
			نام و نام خانوادگی : --

تقدیریم به پدر و مادر عزیزم

وارستگی که هر آنچه در زندگی دارم از نعمت وجود
آنهاست.

به امید آنکه خورشید فرزندان وجودشان بر پهنای دشت
زندگی ام همواره تابان بماند.

و تقدیریم به :

تمام آنان که دوستشان دارم...

سپاسگزاری:

اینک که به یاری خداوند منان، توفیق اتمام پایان نامه حاصل شد، بر خود لازم می‌دانم از رهنمودهای پی‌گیر استاد محترم، جناب آقای دکتر طوسی‌ان شاندیز که دانش علمی و دلگرمی‌های دلسوزانه ایشان در طی مسیر، سختی‌های راه را برایم هموار ساخت، قدردانی نمایم.

وظیفه خود می‌دانم که از دیگر اساتید محترم که در طول دوره تحصیل و خصوصاً زمان نگارش با مساعدت‌ها و راهنمایی‌های ارزشمند علمی خود بر هرچه وزین‌تر نمودن این اثر افزودند، قدردانی و تشکر بنمایم.

بدون شک سهم عمده‌ای از سختی‌های انجام این راه را اعضای خانواده‌ام متحمل شدند. از آنان تقدیر و تشکر نموده و امیدوارم که بتوانم زحماتشان را جبران کنم.

تعهد نامه

اینجانب احسان قزلباش دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق دانشکده برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کنترل هوشمند انرژی ساختمان های مسکونی با منطق فازی تحت راهنمایی آقای دکتر طوسیان شاندیز متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب 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 می باشد 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 تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- 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 .

امضای

تاریخ

دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . 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 نمی باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

چکیده

از آنجا که یک ساختمان، یک سیستم پیچیده و غیرخطی می باشد و نمی توان یک مدل ریاضی مشخص برای آن در نظر گرفت، بنابراین برای کنترل یک ساختمان نمی توان از روش هایی که نیاز به مدل دارند استفاده نمود. مزیت کنترل کننده های فازی در این است که نیازی به مدل فرآیند ساختمان ندارند. از آنجایی که صرفه جوئی در مصرف انرژی بدون توجه به راحتی ساکنین بی معنی است، بنابراین این تحقیق با استفاده از منطق فازی و معیارهای بین المللی در راستای ایجاد تعادل بین این دو عامل نگاشته شده است. ۶ ورودی و ۵ خروجی در نظر گرفته شده اند. قوانین اگر-آنگاه با استفاده از اطلاعات خبره و معیارهای دقیق تعیین شده اند. تغییرات گرمای نهان و محسوس اتاق با استفاده از نمودار سایکرومتریک بدست آمده است. میزان مصرف انرژی در هر یک از تجهیزات خروجی تعیین شده و نتایج با کنترل کننده ی ترموستاتی مقایسه گردیده و به تحلیل میزان مصرف انرژی ساختمان و راحتی ساکنین پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: ساختمان هوشمند - سیستم استنتاج فازی - استاندارد ASHRAE - انرژی و راحتی

- سایکرومتریک

فهرست مطالب

۱ فصل اول : مقدمه و جایگاه پروژه حاضر

- ۲ ۱-۱. ساختمان هوشمند
- ۶ ۲-۱. انرژی ساختمان
- ۸ ۳-۱. پیشینه‌ی تحقیق
- ۱۰ ۴-۱. سازمان پایان نامه
- ۱۰ ۵-۱. جایگاه پروژه حاضر

۲ فصل دوم : مفهوم و معیار انرژی و راحتی در ساختمان های مسکونی

- ۱۲ ۱-۲. مدیریت انرژی و راحتی در ساختمان های هوشمند
- ۱۳ ۲-۲. راحتی ساکنین
- ۱۳ ۳-۲. مدیریت انرژی

۳ فصل سوم : استراتژی های کنترل ساختمان

- ۱۶ ۱-۳. استراتژی های کنترل ساختمان
- ۱۶ ۲-۳. تاریخچه‌ی کنترل برای ساختمانها
- ۱۷ ۳-۳. سیستم های امروزی کنترل در ساختمان ها
- ۱۸ ۱-۳-۳. کنترل کننده های معمولی
- ۱۹ ۲-۳-۳. کنترل کننده های هوشمند
- ۱۹ ۱-۲-۳-۳. روش های یادگیری
- ۲۱ ۲-۲-۳-۳. روش کنترل پیش بین مبتنی بر مدل
- ۲۱ ۳-۲-۳-۳. سیستم های کنترل مبتنی بر عامل

۲۲	۴-۳. کنترل منطق فازی
۴	فصل چهارم : مدل کنترل منطق فازی برای یک سیستم اتوماسیون یکپارچه‌ی ساختمان
۲۶	۱-۴. ساختار سیستم استنتاج فازی
۲۷	۲-۴. ارائه سیستم منطق فازی با استفاده از جعبه ابزار منطق فازی در نرم افزار MATLAB
۲۹	۳-۴. متغیرهای ورودی
۲۹	۱-۳-۴. وضعیت اتاق
۳۰	۲-۳-۴. فصل
۳۱	۳-۳-۴. آب و هوا
۳۳	۴-۳-۴. دما
۳۵	۵-۳-۴. رطوبت
۳۷	۶-۳-۴. نور
۳۸	۴-۴. متغیرهای خروجی
۴۱	۵-۴. قوانین اگر-آنگاه

۵ فصل پنجم : شبیه سازی و تحلیل نتایج

۴۴	۱-۵. مقدمه
۴۶	۲-۵. معیارهای راحتی و انرژی
۴۶	۱-۲-۵. راحتی انسان
۴۸	۲-۲-۵. بازدهی انرژی

۴۸	۳-۵. داده های آزمایشی
۵۰	۴-۵. اعتبار سنجی
۵۲	۵-۵. تحلیل فرآیندها براساس سایکرومتریک
۵۵	۱-۵-۵. تغییرات گرمای محسوس
۵۶	۲-۵-۵. تغییرات گرمای نهان
۵۷	۳-۵-۵. تغییرات گرمای محسوس و نهان
۵۸	۴-۵-۵. محاسبه تغییرات گرمای محسوس
۵۹	۵-۵-۵. محاسبه تغییرات گرمای نهان
۶۱	۶-۵-۵. محاسبه تغییرات همزمان گرمای محسوس و نهان
۶۲	۶-۵. محاسبه ظرفیت کلی تجهیزات
۶۳	۱-۶-۵. ظرفیت سیستم سرمایش
۶۳	۲-۶-۵. ظرفیت سیستم گرمایش
۶۴	۳-۶-۵. ظرفیت سیستم رطوبت ساز
۶۴	۳-۶-۵. ظرفیت سیستم رطوبت گیر
۶۴	۷-۵. خروجی های سیستم فازی
۶۹	۸-۵. انرژی مصرفی تجهیزات در سیستم فازی
۷۱	۹-۵. کنترل ON-OFF
۷۵	۱۰-۵. مقایسه سیستم خیره فازی و سیستم کنترل ON-OFF

۶ فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهادها

۸۴	۱-۶. نتیجه و بحث
۸۴	۲-۶. پیشنهاد برای کارهای آتی

۷ فصل هفتم : مراجع

۸۶

۱-۷. مراجع

فهرست شکل ها و جداول :

- شکل ۱-۱: یکپارچگی های سیستمی برای ساختمان هوشمند ۳
- شکل ۲-۱: مصرف انرژی در کشورهای انتخاب شده ۷
- شکل ۱-۳: اجزای تشکیل دهنده ی یک سیستم فازی ۲۳
- شکل ۱-۴: سیستم استنتاج فازی ۲۶
- شکل ۲-۴: ساختار طراحی ساختمان هوشمند ۲۷
- شکل ۳-۴: ساختار FIS ساختمان هوشمند یکپارچه ۲۸
- شکل ۴-۴: قواعد of ، and و نوع غیرفازی سازی ۲۸
- شکل ۵-۴: بخش توابع عضویت ساختمان هوشمند یکپارچه ۲۹
- شکل ۶-۴: تابع عضویت ورودی وضعیت اتاق ۳۰
- شکل ۷-۴: تابع عضویت ورودی فصل ۳۱
- شکل ۸-۴: تابع عضویت ورودی شرایط آسمان ۳۳
- شکل ۹-۴: تابع عضویت ورودی دما ۳۵
- شکل ۱۰-۴: تابع عضویت ورودی رطوبت ۳۶
- شکل ۱۱-۴: تابع عضویت ورودی نور محیط ۳۸
- شکل ۱۲-۴: تابع عضویت خروجی گرمایش ۳۹
- شکل ۱۳-۴: تابع عضویت خروجی سرمایش ۴۰
- شکل ۱۴-۴: تابع عضویت خروجی رطوبت ساز ۴۰
- شکل ۱۵-۴: تابع عضویت خروجی رطوبت گیر ۴۰
- شکل ۱۶-۴: تابع عضویت خروجی نور مصنوعی ۴۱

- شکل ۴-۱۷: تعدادی از قوانین اگر-آنگاه ۴۲
- شکل ۵-۱: ناحیه‌ی راحتی ASHRAE ۴۷
- جدول ۵-۱: تقسیم بندی ۸ گانه اقلیمی کشور ۴۹
- جدول ۵-۲: مقادیر دمای متوسط ماهیانه در سال ۱۳۹۰ برای چند شهر کشور ۴۹
- جدول ۵-۳: مقادیر رطوبت متوسط ماهیانه در سال ۱۳۹۰ برای چند شهر کشور ۵۰
- جدول ۵-۴: داده های آزمایشی برای شهر مشهد ۵۰
- جدول ۵-۵: خروجی سیستم فازی برای داده های آزمایشی شهر مشهد ۵۱
- شکل ۵-۲: تغییر نقاط در نمودار سایکرومتریک ۵۳
- شکل ۵-۳: تغییرات گرمای محسوس و نهان در نمودار سایکرومتریک ۵۴
- شکل ۵-۴: تغییر نقاط در جهت گرمایش (A)، سرمایش (B)، رطوبت زنی (C)، رطوبت گیری (D) ۵۴
- شکل ۵-۵: فرآیند سرمایش و گرمایش در نمودار سایکرومتریک ۵۵
- شکل ۵-۶: سیستم تهویه مطبوع حجم ثابت با صددرصد هوای تازه در شرایط تابستانی برای تامین سرمایش ۵۶
- شکل ۵-۷: سیستم تهویه مطبوع حجم ثابت با صددرصد هوای تازه در شرایط زمستانی برای تامین گرمایش ۵۶
- شکل ۵-۸: فرآیند سرمایش و گرمایش در نمودار سایکرومتریک ۵۷
- شکل ۵-۹: تغییرات گرمای محسوس و نهان به همراه رطوبت زنی و رطوبت گیری ۵۸
- شکل ۵-۱۰: نمودار رطوبت زنی با رطوبت زن بخاری ۵۹
- شکل ۵-۱۱: نمودار رطوبت زنی با رطوبت زن آبی ۶۰
- جدول ۵-۶: بیشینه و کمینه دما و رطوبت در سال های ۱۳۹۲، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در شهر مشهد ۶۲
- شکل ۵-۱۲: ورودی دما و رطوبت خارج اتاق در تاریخ ۱۳۹۶/۰۶/۰۸ ۶۶
- شکل ۵-۱۳: تغییرات گرمای محسوس و نهان اتاق بعد از اعمال سیستم سرمایش و رطوبت ساز ۶۷
- شکل ۵-۱۴: نمودار دما و رطوبت اتاق با اعمال سیستم هوشمند فازی ۶۸
- شکل ۵-۱۵: خروجی های گرمایش، سرمایش و نور مصنوعی سیستم فازی ۶۸

- شکل ۵-۱۶: خروجی های رطوبت ساز و رطوبت گیر سیستم فازی ۶۹
- شکل ۵-۱۷: میزان انرژی مصرفی توسط سیستم گرمایش، سرمایش و نور مصنوعی ۷۰
- شکل ۵-۱۸: میزان انرژی مصرفی توسط سیستم های رطوبت ساز و رطوبت گیر ۷۰
- شکل ۵-۱۹: میزان انرژی مصرفی کل ۷۱
- شکل ۵-۲۰: نمودار دما و رطوبت اتاق با اعمال سیستم on-off ۷۲
- شکل ۵-۲۱: میزان انرژی مصرفی توسط سیستم گرمایش، سرمایش و نور مصنوعی ۷۳
- شکل ۵-۲۲: میزان انرژی مصرفی توسط سیستم رطوبت ساز و رطوبت گیر ۷۴
- شکل ۵-۲۳: میزان انرژی مصرفی کل ۷۴
- شکل ۵-۲۴: دما و رطوبت اتاق با سیستم فازی و کنترل on-off در مقایسه با دما و رطوبت بیرون ۷۵
- شکل ۵-۲۵: میزان انرژی مصرفی توسط سیستم گرمایش ۷۶
- شکل ۵-۲۶: میزان انرژی مصرفی توسط سیستم سرمایش ۷۷
- شکل ۵-۲۷: میزان انرژی مصرفی توسط سیستم نور مصنوعی ۷۸
- شکل ۵-۲۸: میزان انرژی مصرفی توسط سیستم رطوبت ساز ۷۹
- شکل ۵-۲۹: میزان انرژی مصرفی توسط سیستم رطوبت گیر ۸۰
- شکل ۵-۳۰: میزان انرژی مصرفی کل ۸۱

فصل اول

مقدمه و جایگاه پروژه حاضر

۱-۱. ساختمان هوشمند

واژه‌ی هوشمند^۱ برای اولین بار برای توصیف ساختمان‌ها در ایالات متحده‌ی آمریکا در اوایل ۱۹۸۰ میلادی استفاده شده بود. مفهوم ساختمان هوشمند^۲ با گسترش فناوری اطلاعات ایجاد شده بود و تقاضا برای "محیط زندگی راحت و نیاز به افزایش کنترل ساکنین از محیط داخلی شان" به شدت افزایش یافت [۱].

هزاران مقاله‌ی علمی و فنی وجود دارد که درباره‌ی تعریف ساختمان‌های هوشمند توضیح می‌دهند. در دو دهه‌ی اخیر با توجه به اینکه ساختمان‌های هوشمند و فناوری‌های ساختمان هوشمند گوناگونی به وجود آمده و افراد مختلف موفق به درک ساختمان‌های هوشمند شده‌اند، این مفهوم مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. در حال حاضر تعاریف زیادی برای ساختمان‌های هوشمند پیشنهاد شده است؛ ولی با توسعه‌ی فناوری صنعت و اطلاعات، محتوای ساختمان‌های هوشمند نیز در حال تغییر است. لذا ارائه یک مفهوم واحد و یا تعریفی که در سطح جهانی مورد قبول باشد مشکل است [۲].

بسیاری از ساختمان‌های هوشمند شامل سه سطح از یکپارچگی سیستمی می‌شوند که عبارتند از:

- سطح بالایی که با تدارک ویژگی‌های گوناگون عملکرد ساختمان عادی و اضطراری، همانند مدیریت ارتباطات سروکار دارد؛
- سطح میانی که توسط سیستم اتوماسیون ساختمان^۳، سیستم مدیریت انرژی^۴، سیستم مدیریت ارتباطات^۵ و سیستم اتوماسیون اداری^۶ اجرا می‌گردد که زیرسیستم‌های ساختمان هوشمند را کنترل، نظارت و هماهنگی می‌نماید.

^۱ Intelligent

^۲ Intelligent Building

^۳ BAS

^۴ EMS

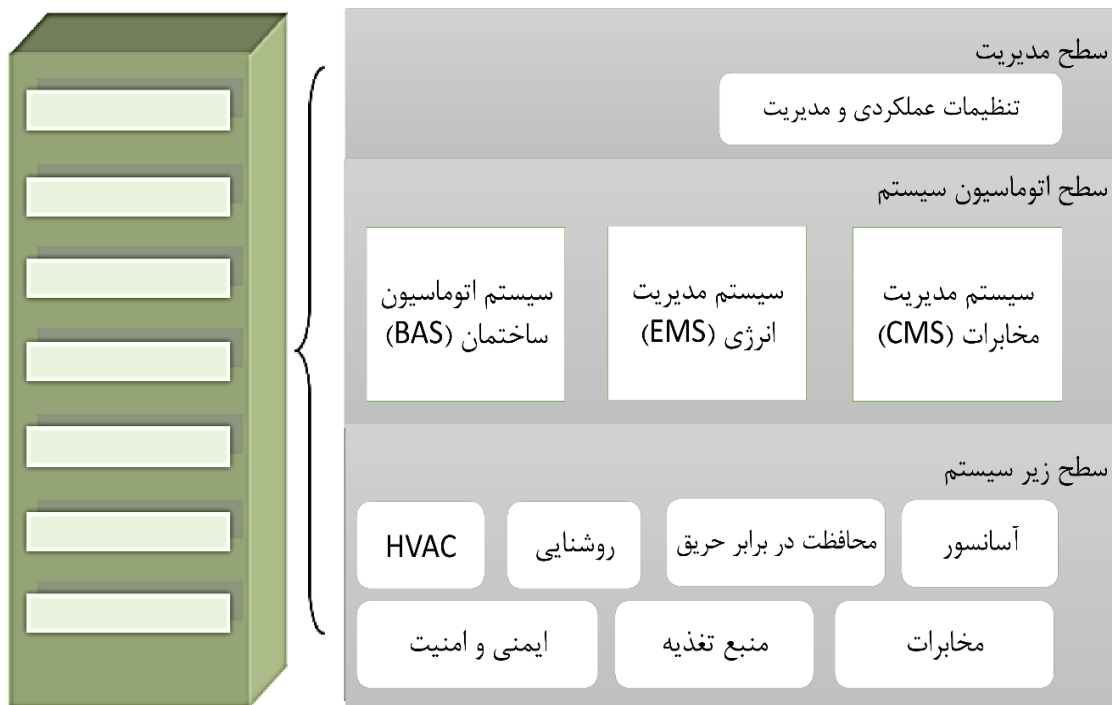
^۵ CMS

^۶ OA

- سطح پایینی که در بردارنده‌ی زیرسیستم های گرمایش، تهویه مطبوع (HVAC)^۱، سیستم روشنایی، سیستم حفاظت در مقابل آتش سوزی، سیستم حمل و نقل عمودی (بالابرها)، سیستم امنیتی و سیستم ارتباطات می باشد [۱].

علاوه بر این، ساختمان هوشمند امکان تعامل و یکپارچگی بین سرویس های زیرسیستم ساختمان را می دهد [۱].

این سه سطح در شکل ۱-۱ نشان داده شده اند.



شکل ۱-۱: یکپارچگی های سیستمی برای ساختمان هوشمند [۱۷]

تجهیزاتی که از طریق سیستم مدیریت ساختمان (BMS)^۲ قابل کنترل هستند، عبارتند از:

^۱ Heating, Ventilation, Air Conditioning, Cooling

^۲ Building Management System

۱- روشنایی

با استفاده از سیستم BMS می‌توان روشنایی بخش‌های مختلف ساختمان را هوشمند نمود. کنترل روشنایی شامل روشن و خاموش نمودن خودکار آنها، تنظیم سطح نور، کاهش یا افزایش و همچنین تعیین و مشاهده وضعیت آنها و امکان روشن و خاموش نمودن آنها از راه دور و بیرون ساختمان می‌باشد.

۲- سیستم‌های حفاظتی و امنیتی

می‌توان سیستم‌های اعلام و اطفاء حریق، ورود و خروج پرسنل، دوربین مدار بسته و نشتی آب و آبگرفتگی و حفاظت از برق گرفتگی را نیز به سیستم BMS متصل نموده و بوسیله آن کنترل نمود.

۳- در، پنجره، پرده و سایبان

بوسیله سیستم BMS می‌توان این تجهیزات کنترل و وضعیت آنها مشاهده نموده و فرامین لازم را در این خصوص صادر نمود و حتی می‌توان با استفاده از حسگر اثر انگشت یا کارت مغناطیسی علاوه بر ایجاد ایمنی بیشتر به امکان طبقه‌بندی و زمان‌بندی دسترسی نیز اعمال نمود.

۴- سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی (تهویه مطبوع)

سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی می‌تواند شامل تجهیزات مرکزی و تجهیزات محلی می‌باشند تجهیزات مرکزی که در موتورخانه واقع‌اند مانند چیلر، دیگ آبگرم، پمپ‌های سیستم، برج خنک‌کن و ... می‌باشد و تجهیزات محلی نیز مانند فن‌کوئل‌ها، کولرهای پنجره‌ای و هواسازها می‌باشند. از طریق سیستم BMS می‌توان تجهیزات مرکزی را در زمانهای مشخص و از راه دور روشن و خاموش نمود و همچنین با تغییرات شرایط محیطی تغییرات لازم مورد نیاز را اعمال نمود و همچنین این سیستم می‌تواند دمای اتاقها را بصورت هوشمند کنترل نموده و در صورت عدم حضور افراد نسبت به خاموش نمودن تجهیزات اقدام نماید.

۵ - سیستم‌های صوتی و تصویری، تجهیزات اداری

با استفاده از BMS می‌توان امکان استفاده از یک آرشیو مرکزی صوتی را انتخاب و یا جهت مراسم‌های مختلف حالت‌های از قبل تعریف شده را انتخاب و اجرا نمود و یا تجهیزات اداری را نیز از طریق این سیستم کنترل نمود.

۶ - سیستم آیفون تصویری و ورود و خروج مهمانان یا مراجعه کنندگان

در مورد ساختمانهای اداری این سیستم می‌تواند ورود و خروج کلیه مهمانان را ثبت و حتی تصویر آنها را ضبط نمود و در ساختمانهای مسکونی نیز امکان دریافت تصویر مراجعه کننده بر روی نمایشگر و در صورت عدم حضور ثبت تصویر به همراه زمان مراجعه وجود داشته و حتی در صورت وجود اینترنت امکان برقراری ارتباط با مهمان از راه دور را مهیا سازد.

۷- کنترل تأسیسات استخر، سونا و جکوزی

این سیستم می‌تواند بطور هوشمند این تجهیزات را روشن و خاموش نموده و دستگاههای تصفیه، دما را کنترل و سایر کنترل‌های لازم را انجام دهد.

۸ - سیستم‌های ارتباطی

پشتیبانی خطوط تلفنی، پیامگیر، تلفن سانترال نیز از ویژه‌گی‌های این سیستم به شمار می‌رود.

۹ - وسایل الکتریکی ساختمان

در ساختمان هوشمند امکان اطلاع یافتن از وضعیت کلیه وسایل الکتریکی ساختمان و کنترل آنها وجود دارد.

آبیاری گیاهان موجود در حیاط و یا داخل ساختمان را بطور خودکار طبق برنامه از پیش تعیین شده انجام شود.

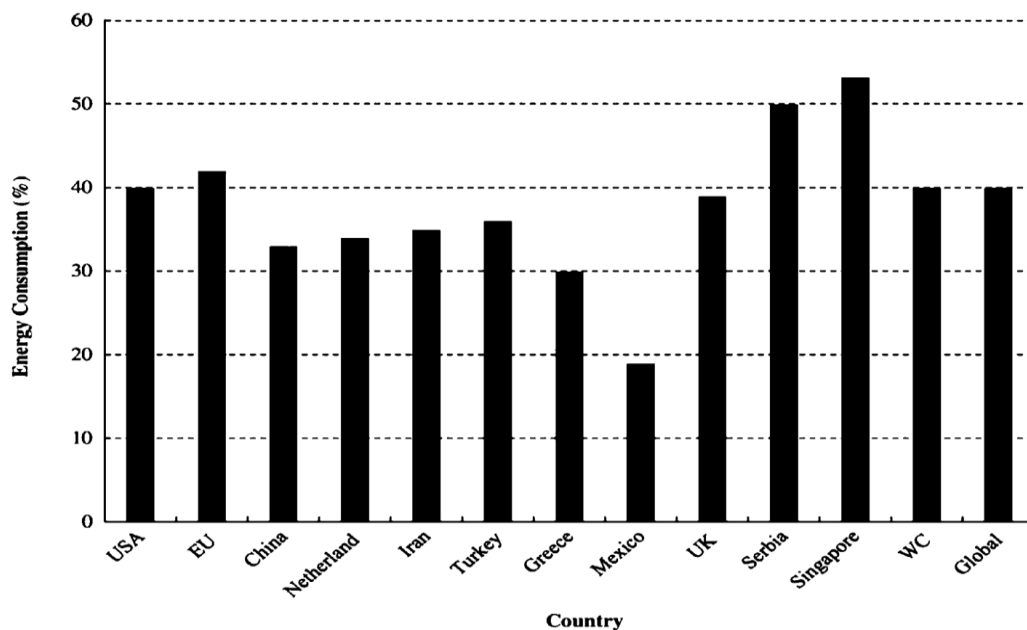
در نتیجه با استفاده از سیستم مدیریت ساختمان می‌توان ساختمانها را تا سطح مورد نظر هوشمند نمود [۳].

۱-۲. انرژی ساختمان

امروزه، مساله انرژی یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که کشورها با آن مواجه هستند. محدودیت منابع انرژی و افزایش روزافزون مصرف آن از یک سو و مصرف بی‌رویه انرژی توسط جوامع مختلف از سویی دیگر، علاوه بر هدر دادن سرمایه ملی، زندگی آینده انسان‌ها را با خطر مواجه ساخته است. رشد اقتصادی و توسعه کشورها به عوامل مختلفی از جمله انرژی و استفاده بهینه از منابع، نیازمند است. از این رو، استفاده منطقی از منابع انرژی و برنامه ریزی در زمینه‌های بهینه‌سازی مصرف آن، از اولویت ویژه‌ای برخوردار است [۲].

ساختمان‌های تمامی دنیا مقدار قابل توجهی از انرژی را مصرف می‌کنند که کمابیش یک سوم از منابع انرژی عمده‌ی اولیه می‌باشد. نگرانی‌ها در مورد تامین انرژی، کاهش سریع منابع انرژی، افزایش تقاضای سرویس ساختمان و بهبود روش‌های زندگی راحتی افزایش یافته است و در نتیجه افزایش تقاضای انرژی در آینده‌ی نزدیک را نشان می‌دهد.

مصرف انرژی ساختمان در کشورهای انتخاب شده در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱-۲: مصرف انرژی در کشورهای انتخاب شده [۴]

از اینرو، ۴۰٪ انرژی جهان در ساختمان ها مصرف می گردد. بنابراین، صرفه جویی در مصرف انرژی ساختمان و اتلاف آن بسیار حایز اهمیت است [۴].

یکی از راه کارهای بهینه سازی و کاهش مصرف انرژی، استفاده از سامانه های هوشمند در ساختمان است. به طور کلی، مزایای استفاده از فن آوری هوشمندسازی و مدیریت مصرف انرژی در ساختمان ها در موارد ذیل خلاصه می گردد:

- مدیریت متمرکز و یکپارچه در بهره برداری از تجهیزات
- کنترل هوشمند تجهیزات
- ایجاد محیط لذت بخش و مناسب برای ساکنان و افزایش راندمان در کار
- صرفه جویی در مصرف سوخت و انرژی
- صرفه جویی در هزینه های نگهداری تجهیزات و سامانه ها
- امکان دریافت گزارشات متنوع از سامانه جهت تحلیل و برنامه ریزی آتی
- افزایش توان و سرعت در عکس العمل به مخاطرات
- افزایش ضریب اطمینان به عملکرد صحیح تجهیزات

در راستای استفاده بهینه انرژی و کنترل فرآیند مصرف آن، کارشناسان و متخصصان عرصه فناوری دیجیتال با ارائه روش ها و ابزار های خاص، سعی در کنترل هوشمند مصرف انرژی در بخش های مختلف نموده اند [۲].

۱-۳. پیشینه‌ی تحقیق

طرح های گوناگون یک کنترل ساختمان برای محیط های داخلی را می توان به دو دسته‌ی کنترل کننده های معمولی^۱ و هوشمند^۲ دسته بندی کرد. طرح های مختلف کنترل استاندارد، همچون کنترل کننده‌ی سوئیچینگ روشن/خاموش، مانند ترموستات ها، کنترل کننده های تناسبی-انتگرالی^۳ و تناسبی-انتگرالی-مشتقی^۴، به طور گسترده در مهندسی ساختمان استفاده می شود [۴].

به منظور فراهم کردن تغییرات متوالی بین دو حالت ترموستات، ترموستات ها با یک ناحیه مرده مطرح و استفاده شده بودند که این نوع کنترل، کنترل بنگ-بنگ با ناحیه مرده نامیده می شود. در این روش، بالازدگی ها^۵ در دماهای کنترل شده از بین نرفته بودند بنابراین باعث افزایش مصرف انرژی می شد. به منظور حل این مشکل، از کنترل کننده های PID استفاده گردید. هرچند که استفاده از این کنترل کننده ها، وضعیت را بهبود بخشیده ولی انتخاب نامناسب بهره ها در کنترل کننده های PID می تواند سیستم را ناپایدار نماید. بنابراین طراحان به روش های کنترل بهینه، پیش بین یا تطبیقی متوسل گردیدند. ولی چون این راه حل ها همیشه امکان پذیر نیستند بنابراین بکارگیری روش های هوشمند برای سیستم های کنترل ساختمان از دهه‌ی ۱۹۹۰ میلادی شروع گردیدند [۴].

^۱ Conventional

^۲ intelligent

^۳ PI

^۴ PID

^۵ overshoots

به طور کلی کنترل کننده های هوشمند به سه قسمت تقسیم می شوند: ۱- روش های مبتنی بر یادگیری شامل: هوش مصنوعی، سیستم های فازی و شبکه های عصبی-فازی با کنترل های معمولی، سیستم های شبکه‌ی عصبی فازی تطبیقی و غیره. ۲- روش کنترل پیش بین مبتنی بر مدل و ۳- سیستم های کنترل مبتنی بر عامل [۴].

تعداد بسیار زیادی از کاربردهای روش های فازی در سیستم های مدیریت هوشمند انرژی ساختمان^۱ در مراجع وجود دارد.

در مراجع [۵،۶] از کنترل کننده‌ی P فازی با دو ورودی استفاده شده است. در [۷،۸] نیز از همان کنترل کننده ولی با ورودی های بیشتر و توابع عضویت مثلثی و دوزنقه ای بهره برده شده است. از کنترل کننده‌ی PID معمولی به همراه مجموعه ای از قوانین فازی و یک مکانیسم استدلال فازی برای تنظیم آنلاین بهره های PID استفاده شده است [۹]. در مرجع [۱۰] سیستم تهویه‌ی مطبوع یک ساختمان ۵ طبقه با استفاده از منطق فازی کنترل شده و نتایج با کنترل کننده‌ی PID مقایسه شده و ناحیه‌ی راحتی با استفاده از معیار ASHRAE بدست آمده است. استفاده از کنترل کننده‌ی فازی تطبیقی برای یک اتاق اداری در دانشگاه پالرمو ایتالیا، کنترل سریع، موثر و پایدار این کنترل کننده را اثبات نموده است [۱۱]. مرجع [۱۲] با استفاده از منطق فازی و استفاده از مدل های ریاضی دمای داخلی، شار گرمایی عبوری از پنجره، گرمایش کمکی و سایر مدل ها توانسته است شاخص راحتی را در محدوده‌ی مناسب قرار دهد. و همچنین دما و رطوبت را در داخل ناحیه‌ی راحتی ASHRAE برقرار سازد. در مرجع [۱۳] با استفاده از ابزار Sibil (یک مدل ساختمان در نرم افزار متلب) کنترل کننده های PD فازی، PID فازی، PD فازی تطبیقی و کنترل کننده‌ی ON-OFF با یکدیگر مقایسه شده و میزان مصرف انرژی در هر یک بدست آمده و برتری کنترل کننده‌ی PD فازی تطبیقی از نظر مصرف انرژی حداقل به اثبات رسیده است. یک سیستم خبره‌ی فازی کنترل شده برای تهویه‌ی مطبوع اتاق عمل با استفاده

^۱ BIEMS

از دو گروه سنسوری مورد استفاده قرار گرفته و نتایج با کنترل کننده های معمولی مقایسه شده است [۱۴]. در مرجع [۱۵] به منظور کاهش مصرف انرژی در بخش روشنایی خانه های هوشمند، از روش یادگیری منطق فازی نظارت شده بهره برده شده است. هم چنین مرجع [۱۶] با استفاده از شش ورودی خطای فازی با توابع عضویت مثلثی، توان مورد نیاز بخش روشنایی و تهویه را تعیین نموده و به طور همزمان مصرف انرژی و راحتی ساکنین را تامین کرده است.

۴-۱. سازمان پایان نامه

فصل اول به مقدمه پایان نامه و پیشینه‌ی تحقیق می پردازد. در فصل دوم مفهوم و معیار انرژی و راحتی که دو عامل مهم برای کنترل در این تحقیق هستند بررسی شده است. فصل سوم به بررسی انواع روش های کنترل ساختمان ها از گذشته تا به حال پرداخته و فصل چهارم مدل کنترل فازی یک ساختمان را تشریح می کند و به بررسی ورودی ها، خروجی ها و قوانین اگر-آنگاه می پردازد. فصل پنجم داده های آزمایشی و نتایج شبیه سازی را بررسی کرده و مزایای استفاده از روش کنترلی موجود در این تحقیق را تشریح می نماید. سپس میزان مصرف انرژی و راحتی ساکنین را با کنترل کننده‌ی ترموستاتی^۱ مقایسه خواهیم نمود. همچنین فصل ششم و هفتم به ترتیب در مورد نتیجه و مراجع پایان نامه می باشند.

۵-۱. جایگاه پروژه‌ی حاضر

در این تحقیق با استفاده از یک سیستم فازی که دارای ورودی و خروجی های متنوعی می باشد، کنترل یکپارچه‌ی سه متغیر اصلی دما، رطوبت و روشنایی در یک ساختمان مسکونی انجام پذیرفته است. هدف کلی این سیستم دستیابی به راحتی های حرارتی و بصری و هم چنین نگهداشت انرژی در ساختمان می باشد.

^۱ ON-OFF

فصل دوم

مفهوم و معیار انرژی و راحتی در ساختمان‌های
مسکونی

۲-۱. مدیریت انرژی و راحتی در ساختمان های هوشمند

معمولاً ساختمان ها برای سکونت انسان ها ساخته می شوند. به علاوه تقریباً ۹۰٪ افراد بیشتر اوقاتشان را در ساختمان ها سپری می کنند. راحتی داخلی^۱ یک نقش بسیار مهم را بازی می کند و تاثیر فوق العاده ای را در سلامتی، روحیه، بازدهی کاری، بهره‌وری و رضایت مندی ساکنین ایفا می نمایند. تقاضا توسط ساکنین برای بهبود راحتی محیط داخلی افزایش یافته است، ضمن اینکه مصرف انرژی و انتشار دی اکسید کربن^۲ باید کاهش یابند.

بنابراین، یک سیستم مدیریت انرژی و راحتی (ECMS)^۳ باید سیستم های کنترل هوشمند برای ساختمان ها را در بر گیرد، که از رایانه ها، ریزپردازنده ها، وسایل های ذخیره سازی و لینک های ارتباطی استفاده می کند. هدف اصلی یک ECMS، برآورده کردن شاخص حرارتی مورد انتظار ساکنین ضمن کاهش مصرف انرژی نسبت به تغییر قیمت انرژی در طی عملکرد ساختمان می باشد. معمولاً ECMS نیاز به توابعی از پارامترهای راحتی داخلی، اولویت ساکنین و کنترل انرژی الکتریکی دارد.

پارامترهای راحتی داخلی در چندین نوع دسته بندی می شوند که مهمترین آنها عبارتند از: حرارتی، رطوبت، کیفیت هوای داخل و سطوح روشنایی [۴].

به هر حال، مصرف انرژی و راحتی ساکنین معمولاً روی همدیگر در جهت عکس تاثیر می گذارند. یعنی، انرژی بیشتر برای سطح راحتی بالاتر مورد نیاز است. بنابراین، یک هدف اصلی از یک سیستم اتوماسیون ساختمان، حل این تضاد بین مصرف انرژی و راحتی ساکنین می باشد [۱۷].

^۱ Indoor Comfort

^۲ CO₂

^۳ Energy Comfort Management System

۲-۲. راحتی ساکنین

کیفیت زندگی ساکنین در ساختمان توسط سه فاکتور اساسی تعیین می شود: راحتی حرارتی، راحتی بصری، و راحتی کیفیت هوای داخل. این سه فاکتور اساساً توسط سیستم HVAC و سیستم روشنایی و هم چنین سایر تجهیزات کنترل کمکی از قبیل باز نمودن پنجره^۱ و سیستم سایه اندازی^۲ کنترل می شوند. بنابراین، کنترل مناسب سیستم HVAC و سیستم روشنایی در بهبود بازدهی انرژی ساختمان و راحتی ساکنین حائز اهمیت است.

برای ارزیابی راحتی ساکنین در محیط داخلی، پارامترهای محیطی داخلی به عنوان شاخص هایی برای ساخت تابعی از راحتی ساکنین با اعمال مقدار واقعی پارامترهای محیطی مربوط و اولویت ساکنین از این پارامترها استفاده می شوند. دمای داخلی برای نمایش راحتی حرارتی در یک محیط ساختمان مورد استفاده قرار می گیرد؛ و سیستم گرمایش و سرمایش برای تثبیت دمای داخلی در یک ناحیهی دلپذیر بکار می رود. غلظت CO₂ به عنوان شاخصی برای اندازه گیری کیفیت هوا در محیط ساختمان استفاده می شود؛ و سیستم تهویهی ساختمان برای تهیهی هوای تازه به محیط ساختمان اعمال می شود. سطح روشنایی داخلی برای نشان دادن راحتی بصری در یک محیط ساختمان مورد استفاده قرار می گیرد، که در واحد لوکس^۳ اندازه گیری می شود؛ و سیستم روشنایی الکتریکی به عنوان محرک هایی برای کنترل سطح روشنایی داخلی بکار می رود. بنابراین، دمای داخلی، غلظت CO₂ داخلی، و سطح روشنایی داخلی به عنوان پارامترهای داخلی به ترتیب برای ارزیابی راحتی حرارتی، راحتی بصری، و راحتی کیفیت هوای داخلی ساکنین بکار می روند [۱۷].

۲-۳. مدیریت انرژی

مدیریت انرژی ساختمان در مدیریت منابع انرژی و بارهای انرژی حرارتی و برق مورد نیاز است.

^۱ Window Opening

^۲ Shading System

^۳ Lux

با توجه به مصرف انرژی قابل توجه در ساختمان‌های مسکونی، مدیریت انرژی مناسب سیستم تهویه مطبوع و سیستم روشنایی می‌تواند ساختمان را به صرفه جویی در مقدار قابل توجه انرژی کمک کند. سیستم HVAC و سیستم روشنایی برای فراهم نمودن یک محیط زندگی راحت برای ساکنین ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. این دو سیستم با هم حدود ۶۰ درصد از انرژی الکتریکی ساختمانها را مصرف می‌نمایند. باقیمانده‌ی انرژی، در بخش‌های مختلف تجهیزات مورد نیاز ساختمان مصرف می‌شود. بنابراین مدیریت انرژی مناسب در سیستم HVAC و سیستم روشنایی می‌تواند به ذخیره‌ی مقدار قابل توجهی از انرژی کمک نماید.

علاوه بر این، سیستم مدیریت انرژی ساختمان نیاز به کنترل بیشتری از سیستم های تهویه مطبوع و سیستم روشنایی دارد. همچنین نیاز به بکارگیری انواع مختلف محرک‌ها^۱ برای کارهای مختلف ساختمان وجود دارد. بنابراین یک ساختمان هوشمند نیاز به یک سیستم اتوماسیون پیشرفته ساختمان پیشرفته برای مدیریت یک مجموعه بزرگ از محرک ها و تجهیزات دارد.

با توجه به بهره‌وری انرژی، تعیین استراتژی کنترل نیز برای بهبود بهره‌وری انرژی در عملیات ساختمان مهم است. این را می‌توان با استفاده از کنترل هوشمند که هدف آن کاهش مصرف انرژی بدون از بین بردن راحتی ساکنین است بدست آورد. طراحی چنین سیستم‌های کنترل بسیار بستگی به قابلیت‌های ساختمان هدف و همچنین الگوی زندگی ساکنین دارد [۱۷].

سیستم HVAC در یک ساختمان مسکونی مانند یک اتاق می‌تواند برای دو حالت مختلف طراحی شود: حالت حضور اشخاص و حالت غیبت اشخاص. در حالت عادی، سیستم تهویه مطبوع کار می‌کند تا ساکنین در یک محیط راحت به آسایش پردازند؛ در حالی که در هنگام خالی بودن منزل، سیستم HVAC را می‌توان در یک حالت بهینه برای صرفه جویی در انرژی کنترل نمود.

^۱ actuators

فصل سوم

استراتژی های کنترل ساختمان

۳-۱. استراتژی های کنترل ساختمان

اساساً هدف از گسترش سیستم های کنترل برای ساختمان ها، مینیمم سازی بیشتر مصرف انرژی می باشد.

در حال حاضر سیستم های متفاوت کنترل محیط ساختمان وجود دارد که توسط مهندسين و معمارها به کاربرده شده و یا توسط پیمانکاران ساخته می شود و بکار می رود. دلیل تعدد سیستم های کنترلی این است که قطعات به صورت مجزا توسط شرکت های مختلف طراحی می شوند و زمانی که کل سیستم به کار گرفته می شود در حالت بهینه قرار ندارد. به علاوه اندازه ی سیستم و اجزاء تشکیل دهنده ی آن براساس تقاضا و یا ماکزیمم بار کاری طراحی می شوند و معمولاً توجه خاصی به عملکرد سیستم در حالت های کاری واقعی نمی شود. ساختمان های نسل آینده ممکن است پیچیده تر از ساختمان های امروزی باشند. افزایش در استفاده از رایانه های شخصی در دفاتر و خانه های مسکونی باعث ایجاد مشکلات جدید از جمله جابجایی هوا، نور و تولید حرارت مرکزی می گردد [۱۸].

۳-۲. تاریخچه ی کنترل برای ساختمانها

تاریخچه ی اولیه ی گرمایش و تهویه ی مطبوع در ساختمان های کوچک تجاری تا اوایل دهه ی ۱۹۳۰ به جز چند مورد خاص، غالباً پیشرفت در گرمایش خانه ها بوده است. مطابق نتایج Smith پیشرفت گرمایش در ساختمان ها توسط خاموش و روشن کردن دستی کوره امکان پذیر بوده است. طبق نتایج اسمیت (۱۹۸۹) پیشرفت های تکنولوژی باعث اکتشافات جدید در سیستم های کنترل و فعال سازی از قبیل کنترل کننده های تناسبی گردید. سیستم های کنترل به جهت خاموش و روشن کردن سیستم اصلی مورد استفاده قرار گرفته است. بعدها سیستم HVAC در دسترس قرار گرفت و این سیستم برای تمام فصول در ساختمان های بزرگ و کوچک مورد استفاده قرار گرفت. در اواخر دهه ی ۷۰ پیشرفت در ساخت میکروپروسورها امکان

طراحی سیستم های کنترلی متفاوت جدید، از جمله سیستم های کنترل PI و PID را بوجود آورد. به علاوه نیاز به بخش های مختلف در یک ساختمان از نظر نوع کاربرد باعث طراحی های بهتر و بهینه سازی انرژی در ساختمانها گردید [۱۸].

۳-۳. سیستم های امروزی کنترل در ساختمان ها

تکامل سیستم های قدرتمند و در عین حال با قیمت پایین با امکان انجام محاسبات دیجیتالی، ابزارهای جدید و چندمنظوره را در رشته های مختلف مهندسی بوجود آورده است. پیشرفت های جدید در آموزش، کنترل تطبیقی و هوش مصنوعی باعث پیشرفت در سیستم های نیمه هوشمند و کاملاً هوشمند گردید. یکی از کاربردهای سیستم های مذکور، در طراحی و به کارگیری سیستمهای تهویه مطبوع ساختمان می باشد که می تواند به نحو مناسبی از این پیشرفت ها سود جوید.

پیشرفت های قابل توجهی در زمینه مدلسازی سیستمها، مدلسازی عملکرد و تخمین مصرف حرارت، تهویه مطبوع و HVAC در ساختمان ها صورت گرفته است. به علاوه کارهای قابل توجهی در فرمول بندی و اجرای سیستم های مدیریت انرژی به انجام رسیده است.

نسل بعدی سیستم های مدیریت انرژی ساختمان، سیستم های هوشمند مدیریت انرژی ساختمان^۱ است. ایده اصلی ایجاد چنین سیستم هایی متغیر بودن شرایط راحتی از یک فرد به فرد دیگر است. در سیستم های قبلی نقش انسان ها به عنوان جزئی پویا از سیستم در امر کنترل در نظر گرفته نمی شد [۱۸].

برای فراهم کردن محیط مناسب از نظر دما و رطوبت با حداقل مصرف انرژی به سیستم های یکپارچه کنترل شرایط محیطی احتیاج دارد.

^۱ Intelligent Building Energy Management System

طرح های گوناگون کنترل ساختمان برای محیط های داخلی را می توان به طور کلی به کنترل کننده های معمولی و هوشمند دسته بندی نمود [۴].

۳-۳-۱. کنترل کننده های معمولی

طرح های کنترل استاندارد گوناگونی مثل، کنترل کننده ی سویچ زنی on/off، یعنی ترموستات ها، PI و PID به طور گسترده ای در مهندسی ساختمان بکار رفته اند. این سیستم های کنترل در کاربردهای گوناگونی و شرایط محیطی مغشوش بکار گرفته شده اند و عملکرد بسیار ضعیفی داشته اند و عموماً به عنوان روش کنترل بهینه پیشنهاد نمی شوند.

به طور کلی، کنترل کننده های P، PI و PID، کنترل های حلقه / فیدبک بسته می باشند (دانش مستقیمی از سیستم کنترل شده ندارند) و پارامترهای ثابتی دارند. این کنترل کننده ها عملکرد کنترلی ضعیفی را برای فرآیندهای نویزدار و غیرخطی دارند. این سیستم های کنترل، طرح کنترل شده را توسعه می دهند ولی انتخاب بهره های نامناسب، سیستم را ناپایدار می سازد. بنابراین، طراحان و مهندسی کنترل توجه خود را به روش های بهینه، پیش بین و تطبیقی معطوف نمودند. روش های کنترل فوق، معیار راحتی را در نظر نمی گیرند و فقط بر ذخیره ی مصرف انرژی متمرکز شده اند.

تضمین راحتی حرارتی و محدود کردن بالازدگی های نقطه ی مرجع به همراه ذخیره ی انرژی، پژوهش درخور توجهی بود که در دهه ی ۱۹۸۰ میلادی بر روی کنترل کننده های پیش بین، تطبیقی و بهینه انجام شد.

از آنجا که این کنترل کننده ها، روش های کنترل مبتنی بر مدل می باشند، به یک مدل برای استراتژی کنترل ساختمان نیازمندند.

از آنجا که راه حل های کنترلی فوق، همیشه امکانپذیر نیستند و از محدودیت های گوناگونی زیان می بینند، این طرح ها به یک مدل از ساختمان نیاز دارند. استفاده از اجزاء کنترل، تابع مینیمم سازی هدف

را پیچیده می کند. نتایج غلط شاید به دلیل حساسیت کنترل کننده ها در یک کاربرد زمان حقیقی بدست آید. با این حال، این روش ها فقط با ذخیره و اتلاف انرژی کار می کنند، در حالیکه به مسئله شاخص راحتی هرگز پرداخته نشده است.

این سیستم های کنترلی، کاربر پسند نمی باشند، مثلاً ساکنین قادر به دخالت در طرح پیکره بندی نیستند [۴].

۳-۳-۲. کنترل کننده های هوشمند

پژوهش های گوناگونی در دهه ی ۱۹۹۰ میلادی متمرکز شدند. گرایش های اصلی پژوهش در زمینه ی کنترل های مدیریت انرژی و راحتی پیشرفته پدیدار شده بودند. (۱) روش های مبتنی بر یادگیری شامل هوش مصنوعی، سیستم های فازی، شبکه های عصبی، سیستم های استنتاج عصبی فازی تطبیقی^۱ و غیره ؛ (۲) روش کنترل پیش بین مبتنی بر مدل^۲ ؛ و (۳) سیستم های کنترل مبتنی بر عامل [۴].

۳-۳-۱. روش های یادگیری

کنترل های یادگیری گوناگونی گسترش یافته اند و به طور موفقیت آمیزی به سیستم های الکتریکی و مکانیکی عمدتاً در رباتیک، اتوماسیون و مناطق صنعتی اعمال شده اند. این کنترل ها برای رسیدن به پایداری و عملکرد سیستم از طریق امکانات یادگیری قوی و نامشخصی که در دینامیک های سیستم موجودند، طراحی می شوند. این کنترل ها مشابه هوش مصنوعی طراحی می شوند که نیاز کمتری به مدل های جزئیات (مفصل) دارند [۴].

^۱ ANFIS

^۲ MPC

کنترل کننده‌های منطق فازی با استفاده از پایگاه قانون، اجازه‌ی استفاده از یک روش کنترل چند معیاره را در ترکیب با یک سیستم خبره می‌دهد. اجرای روشهای کنترل پیچیده (کنترل کننده های فازی) باید منطقی صورت گیرد و عملکرد بهتری را ارائه نماید. به هر حال، سیستم های فازی، قادرند تا مشخصات مدل غیرخطی عملکرد سیستم را ترسیم نمایند. در این سناریو، کنترل کننده های فازی تطبیقی با هدف سرمایه گذاری در بازدهی انرژی، راحتی حرارتی، راحتی بصری و تهویه مطبوع، به سیستم های حرارتی اعمال گردیده اند.

پیوند کنترل کننده های PID و فازی در یک ساختار موازی و نظارت فازی بر سیستم کنترل PID پیشنهاد گردیده است. ترکیب دو روش کنترلی مزیت های هر دو طرح را به ارمغان می آورد، در نتیجه آنچه که در هر سیستم کنترلی وجود ندارد محقق می شود. روش های گوناگونی برای بکارگیری منطق فازی در کنترل حلقه بسته وجود دارد. بنابراین، با استفاده از هر دو طرح، سیگنال های اندازه گیری فرآیند کنترل به عنوان ورودی ها و خروجی های سیستم فازی برای تحریک محرک ها بکار گرفته می شوند. این کنترل کننده ها اساساً وابسته به مدل هستند و به دانش قبلی انسان از سیستم کنترل برای محدوده‌ی بهره‌ی تناسبی نیازمندند. به علاوه، می توانند با محیط های مختلف تطبیق یابند. بسته به نیاز خروجی کنترل کننده‌ی فازی، می توان کنترل کننده‌ی فازی P، PI یا PD هیبرید را به کار برد. به طور کلی یک کنترل کننده‌ی PI فازی به عنوان یک کنترل کننده‌ی افزایشی در نظر گرفته می شود؛ که یک افزایش کنترل از دو افزایش خطا و خروجی را محاسبه می کند. در مقایسه با یک مکانیزم استنتاج، این کنترل کننده به صورت آفلاین برای تولید جداول عددی جستجو استفاده می شود. کنترل کننده های انتگرال و تناسبی به ترتیب برای برتری بر آفست قابلیت حذف و پایداری کنترل، ادغام شده اند. در حالی که کنترل کننده‌ی فازی PD مقادیر سیگنال کنترل را از هر دوی افزایش خطا و خروجی محاسبه می نماید. این کنترل کننده دارای قابلیت محدود شده با تغییرات ناگهانی بار و اندازه گیری های نویز می باشد.

به طور مشابه، یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی^۱ و سیستم های استنتاج فازی عصبی تطبیقی به عنوان ابزارهای کنترلی برای پیش بینی پارامتر محیطی بکار می روند که روشنایی داخلی، دما و رطوبت نسبی را شامل می شوند و برای مدل سازی رفتار ساکنین متناسب با مصرف انرژی مورد استفاده قرار می گیرند[۴].

۳-۲-۳. روش کنترل پیش بین مبتنی بر مدل

محبوبیت این کنترل کننده ها در بین محققان و صنعت در زمینه های گوناگون مهندسی در طی دهه‌ی اخیر افزایش یافته است. در کنترل های سیستم ساختمان، MPC دورنمای مناسبی را برای اجرای کنترل موثر انرژی، دینامیک های سیستم، و تقویت همراه با تاخیرهای زیاد فراهم می نماید. به هر حال، این روش به دلیل نیازهای محاسباتی عمده اش آنقدر مورد توجه نیست[۴].

۳-۲-۳. سیستم های کنترل مبتنی بر عامل

در هوش مصنوعی، بهترین نتایج کنترل را می توان موقعی بدست آورد که فعالیت مشهودی اعمال گردد، که با عوامل منطقی انفرادی بدست می آید. علاوه بر این، این عوامل قادر به هماهنگی و ارتباط با همدیگر و همچنین با محیط شان می باشند. عوامل در سیستم های کنترل در لایه های چند گانه براساس عاملیت شان مرتب می شوند. به هر حال این عوامل یک رفتار متمایز دارند اما در چند ویژگی مشترک سهیم هستند و با هم همیاری می کنند. طرح تکنولوژی سیستم چند عامله^۲ نیازمند شکافتن یک مسئله‌ی پیچیده‌ی بزرگ به چند زیرمشکل می باشد که می تواند منجر به عوامل معرف شان گردد. کنترل ساختمان هوشمند با یک چارچوب

^۱ ANN

^۲ MAST

MAST، اجازهی یادگیری روند ساخت هماهنگ سازی منابع انرژی را می دهد و همچنین قادر به پاسخگویی به شرایط محیطی در زمان واقعی می باشد [۴].

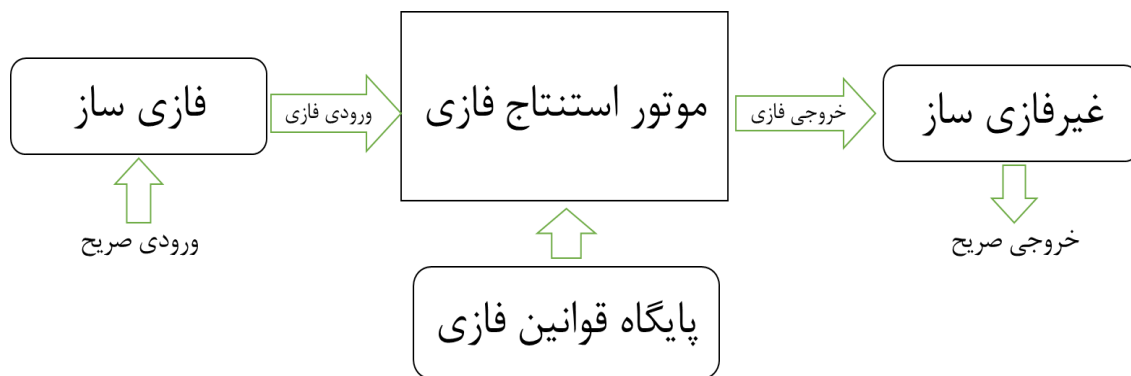
۳-۴. کنترل منطق فازی

منطق فازی که در سال ۱۹۶۵ توسط پروفسور لطفی زاده ابداع شد، به عنوان شاخه ای از ریاضیات به شمار میرود که به کامپیوتر این امکان را می دهد تا دنیای واقعی را به همان صورتی که انسانها فکر می کنند مدل کند و به مهندسين این توانایی را می دهد تا استدلالهای انسانی را در الگوهای کنترل دخالت دهند.

در طراحی کنترل کنندهی فازی بر خلاف کنترل کننده های کلاسیک، به مدل دقیق سیستم برای طراحی نیاز نیست مزیت روش فازی، قابلیت مانور در انتخاب تعداد و نوع توابع عضویت، تعریف قوانین فازی مختلف و سهولت استفاده از آن است [۱۹].

ساختار داخلی یک کنترل کننده فازی شامل چهار بخش فازی سازی داده ها، پایگاه قواعد فازی، موتور استنتاج فازی و غیرفازی سازی می باشد. در گام اول، مجموعه داده های دریافتی از سنسورها و داده های تجربی به توابع عضویت تبدیل می شوند. سیستم، مقادیر را به مقادیر فازی تبدیل خواهد کرد (فازی سازی). سپس سیستم، ترکیبی از نتایج مقادیر را خواهد داشت (سازوکار استنتاج). قوانین نیز در هر بخش اعمال خواهند شد. از این قوانین با توجه به موتورهای استنتاج و برای تشکیل سیستم های فازی استفاده می گردد. در نهایت، با تبدیل این مقادیر به مقادیر عددی، این سیستم به صورت پویا به عملکرد خود ادامه می دهد.

در شکل زیر بخش های چهار گانه ی یک سیستم فازی نشان داده شده است [۲۰].



شکل ۳-۱: اجزای تشکیل دهنده‌ی یک سیستم فازی [۲۰]

از آنجا که یک ساختمان، یک سیستم پیچیده و غیرخطی می باشد و نمی توان یک مدل ریاضی مشخص برای آن در نظر گرفت، بنابراین برای کنترل یک ساختمان نمی توان از روش هایی که نیاز به مدل دارند استفاده نمود. از جمله‌ی این روش ها، روش های کنترل بهینه، تطبیقی و پیش بین می باشند که اصلاً برای کنترل یک ساختمان مناسب نیستند.

مزیت کنترل کننده های فازی در این است که نیازی به مدل فرآیند ساختمان ندارند. ضمن اینکه پیاده سازی منطق فازی نسبت به کنترل کننده های معمولی، بسیار ساده است و محققین متعددی از روشهای فازی در بخشهای مختلف استفاده نموده اند [۲۰].

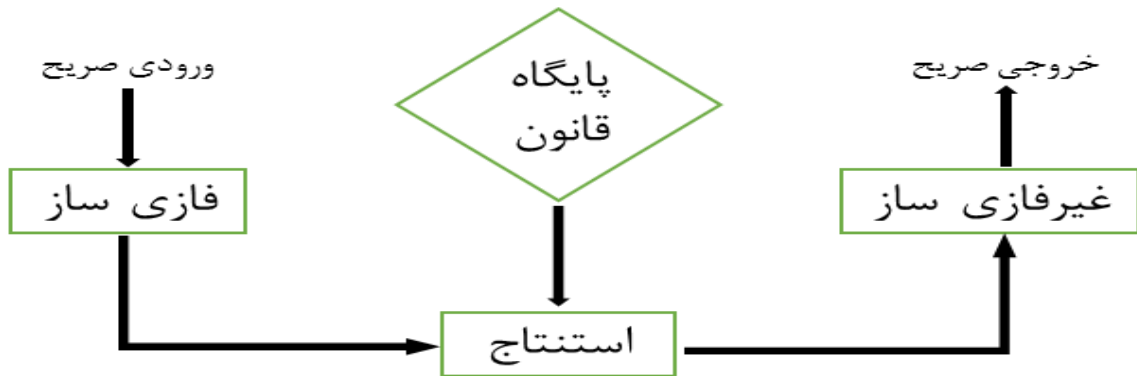
برای کنترل سیستم های موجود در یک ساختمان و ارائه‌ی روش های کنترلی، نیاز است تا در ابتدا به تشریح این سیستم ها و مدلسازی رفتار دینامیکی آنها در محیط مرتبط پرداخت. بعد از خلق این محیط هوشمند و مجموعه سیستم های درون آن، به کنترل هر کدام از این سیستم ها با استفاده از روش معرفی شده خواهیم پرداخت. در فصل بعدی سیستم استنتاج فازی مورد بررسی قرار گرفته و مدل منطق فازی در این پژوهش مورد ارزیابی قرار می گیرد.

فصل چهارم

مدل کنترل منطق فازی برای یک سیستم
اتوماسیون یکپارچه‌ی ساختمان

۴-۱. ساختار سیستم استنتاج فازی

یک سیستم استنتاج فازی (FIS)^۱ شامل ۴ بلوک اساسی می باشد: فازی ساز، مجموعه قوانین، موتور استنتاج و غیرفازی ساز. این معماری کلی در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۴-۱: سیستم استنتاج فازی [۲۱]

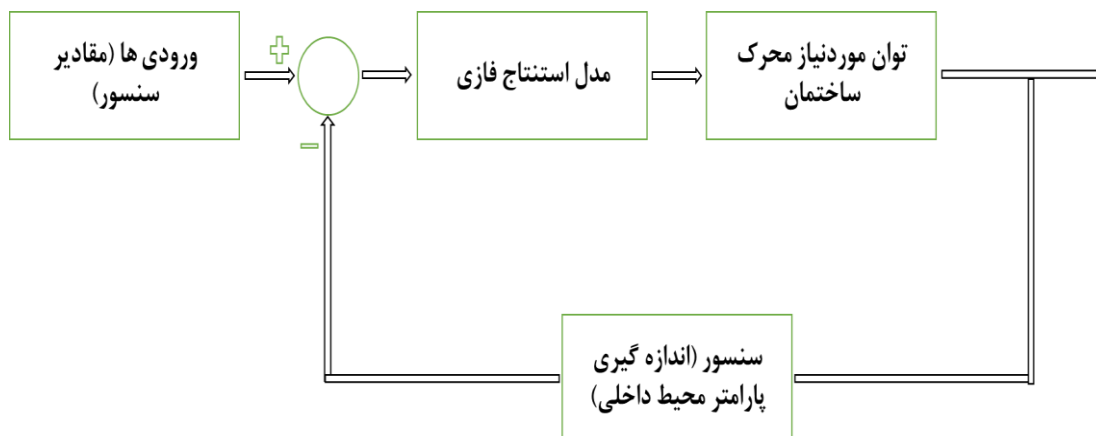
در ابتدا، یک مجموعه ورودی از داده های صریح جمع شده و با استفاده از متغیرهای زبانی فازی و توابع عضویت که فازی سازی نامیده می شود، به یک مجموعه فازی تبدیل می شوند. یک استنتاج، براساس مجموعه قوانین ایجاد شده و در نهایت خروجی فازی، با استفاده از توابع عضویت به مقادیر صریح نگاشت می شود که غیرفازی سازی نامیده می شود [۲۱].

برای مقابله با تقاضای انرژی ساختمان، سیستم خیره فازی در سطح کنترل فردی برای پایداری و بهره وری انرژی مورد استفاده قرار گرفته است. کنترل های فردی برای هر پارامتر کنترل شامل درجه حرارت، نور و غلظت CO₂ است. ورودی برای سیستم خیره، محدوده راحتی استاندارد است.

مقدار پارامتر لحظه ای با سنسور اندازه گیری شده است و به سیستم خیره برای مقدار مورد نظر انرژی مورد نیاز برای حفظ راحتی بازگشت داده شده است [۲۱].

بلوک جریان معماری کنترل خیره پیشنهادی در شکل ۴-۲ نشان داده شده است.

^۱ Fuzzy Inference System



شکل ۴-۲: ساختار طراحی ساختمان هوشمند [۲۱]

۴-۲. ارائه سیستم منطق فازی با استفاده از جعبه ابزار منطق فازی در

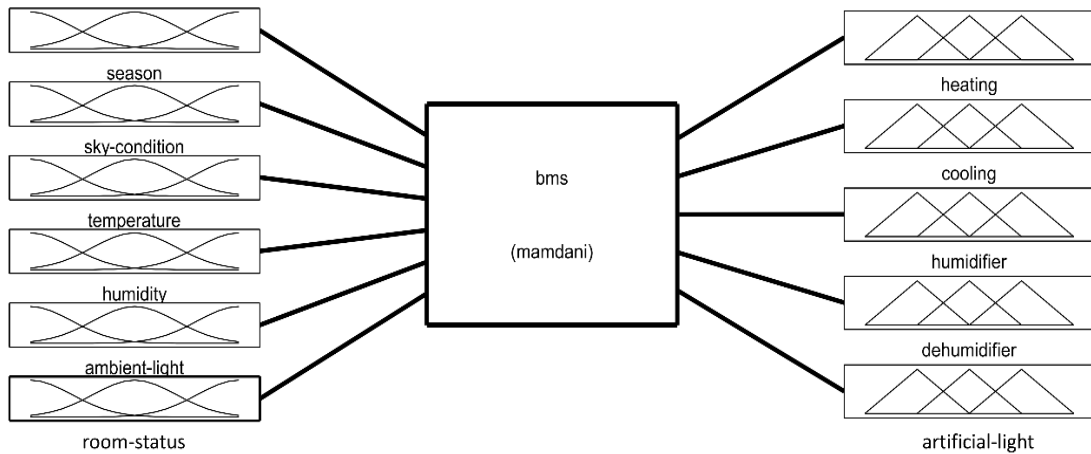
نرم افزار MATLAB

ضرورت و اهمیت دما، رطوبت و روشنایی در یک سیستم اتوماسیون ساختمان در فصل ۲ مورد بحث قرار گرفت. در کنار این سه پارامتر، روشهای کنترل تجهیزات براساس فصل و شرایط آب و هوایی تغییر می یابند.

جعبه ابزار منطق فازی^۱ یک دسته از توابع طراحی و ابزارهای بکاررفته در محیط محاسباتی متلب می باشد که برای ساخت سیستم استنتاج فازی برای بیان مقادیر در ورودی ها براساس قوانین اگر-آنگاه بکار می رود و درنهایت این مقادیر به خروجی ها منتقل می گردند.

در این پایان نامه، FIS یک سیستم با شش ورودی، پنج خروجی و ۷۵۷ قانون اگر-آنگاه است و استنتاج از نوع ممدانی می باشد.

^۱ Fuzzy logic toolbox



شکل ۴-۳: ساختار FIS ساختمان هوشمند یکپارچه

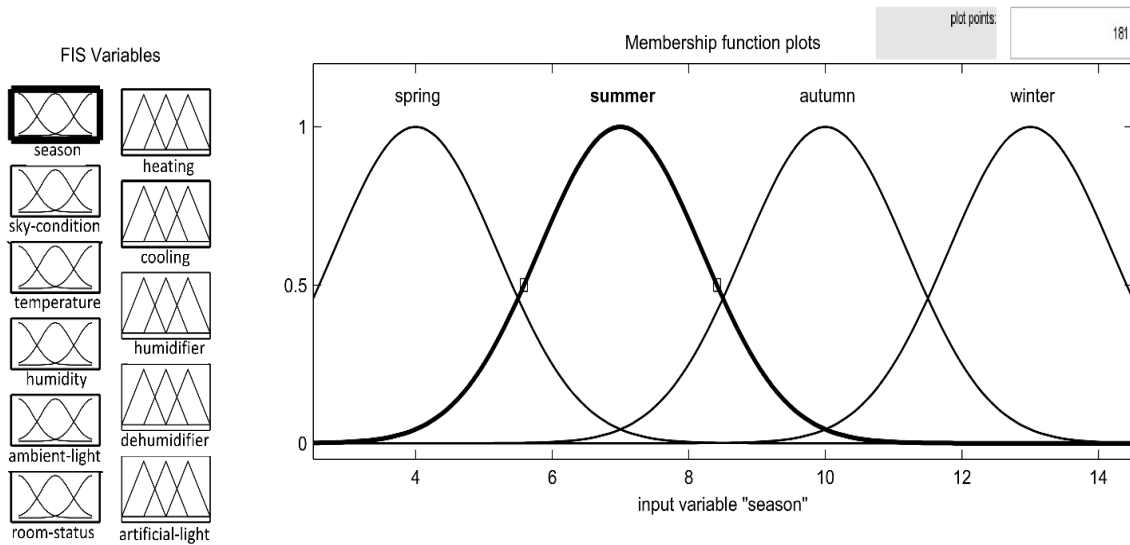
هم چنین شکل ۴-۴ نوع قاعده‌ی and، قاعده‌ی or و نوع غیرفازی سازی را نشان می دهد.

And method	min
Or method	max
Implication	min
Aggregation	max
Defuzzification	centroid

شکل ۴-۴: قواعد of، and و نوع غیرفازی سازی

بخش توابع عضویت یک ابزار برای نمایش و ویرایش تمامی توابع عضویت سیستم می باشد که اطلاعات پارامترهای مرتبط سیستم یکپارچه، شامل نام، تعداد، نوع، و محدوده‌ی هر تابع عضویت هر متغیر را نشان می دهد.

در این تحقیق، توابع عضویت سیستم کنترل فازی در شکل ۴-۵ نشان داده شده‌اند.



شکل ۴-۵: بخش توابع عضویت ساختمان هوشمند یکپارچه

۳-۴. متغیرهای ورودی

در این بخش به تشریح ورودی های سیستم کنترل فازی پرداخته می شود.

۳-۴-۱. وضعیت اتاق

به منظور اینکه بتوانیم تصور مناسب و کاملی از وضعیت یک ساختمان مسکونی داشته باشیم، از ورودی

"room_status" با سه تابع عضویت به صورت زیر استفاده می نمایم:

empty: وقتی داخل اتاق کسی نباشد.

Sleep: وقتی زمان خواب باشد.

normal: حالت عادی اتاق (غیر از حالت اول و دوم).

شایان ذکر است که در وضعیت "empty" سیستم خبره فازی تمامی سیستم های موجود را خاموش

نموده و باعث صرفه جویی در مصرف انرژی خواهد شد.

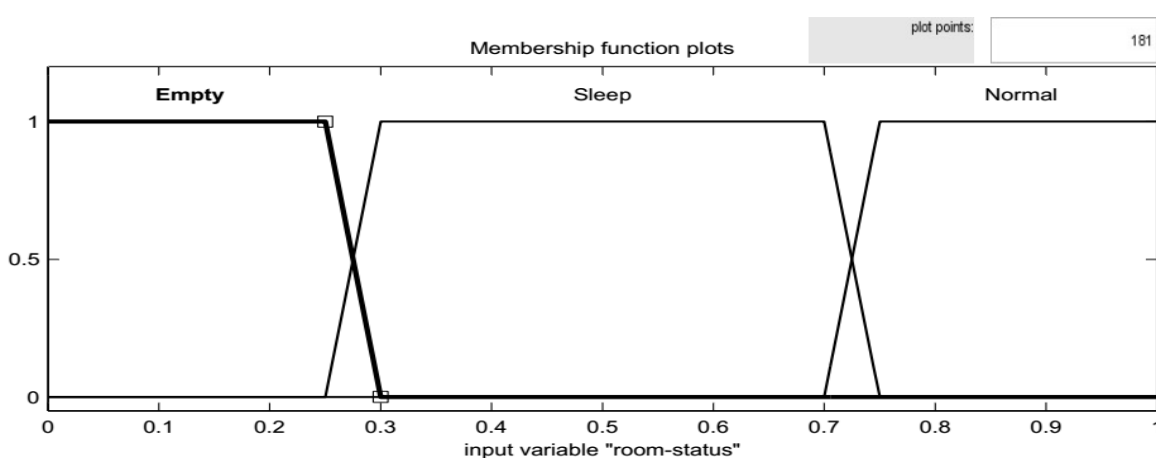
در حالت "sleep" فقط سیستم روشنایی خاموش شده و سایر سیستم ها در صورت نیاز به کار خود

ادامه خواهند داد.

همچنین در حالت "normal" سیستم به حالت کار عادی خود ادامه می دهد.

در عمل کاربر می تواند با وارد کردن یک عدد در پنل سیستم BMS وضعیت اتاق را تعیین نموده تا سیستم موجود عملیات کنترلی موردنظر را انجام دهد. (به جای اینکه بخواهد تمامی سیستم ها را یکی به یکی خاموش یا روشن نماید)

شکل ۴-۶ تابع عضویت ورودی وضعیت اتاق را نشان می دهد.



شکل ۴-۶: تابع عضویت ورودی وضعیت اتاق

۴-۳-۲. فصل

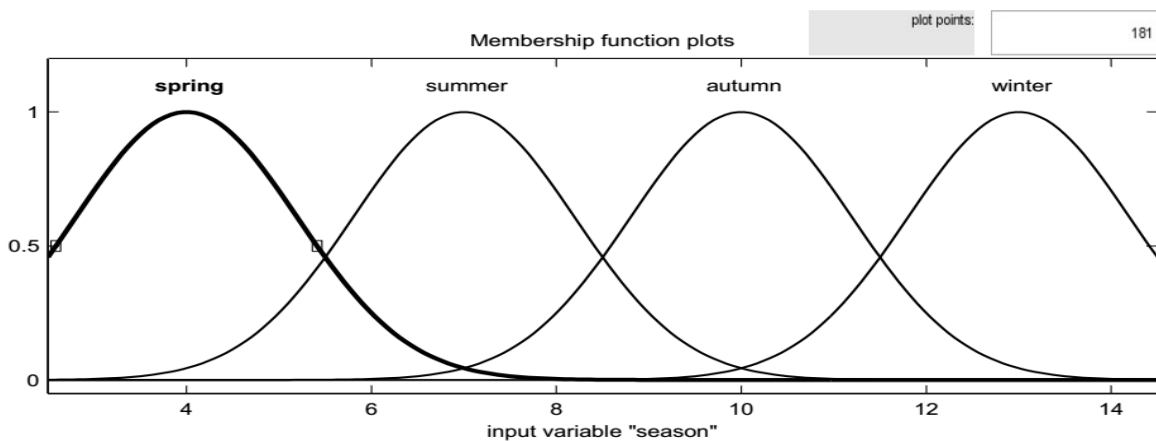
فصل ها از تقسیمات سال به حساب می آیند و با تغییرات طول روز نسبی روز و شب و میزان گرمای دریافتی از خورشید مشخص می گردند و برای مناطق مختلف دمایی، یک سال به چهار فصل تقسیم میشود: بهار^۱، تابستان^۲، پاییز^۳ و زمستان^۴. که برای مناطق ایران به صورت زیر تقسیم می شود: فروردین، اردیبهشت و خرداد متعلق به بهار- تیر، مرداد و شهریور متعلق به تابستان - مهر، آبان و آذر متعلق به پاییز - و دی، بهمن و اسفند متعلق به زمستان.

^۱ spring
^۲ summer
^۳ autumn
^۴ winter

در فصل تابستان، از تجهیزات سرمایشی با ظرفیت بالا استفاده می شود و تجهیزات گرمایشی همیشه خاموش می باشند مگر اینکه شرایط بسیار سرد در محیط مسکونی رخ دهد. هم چنین در فصل زمستان، تجهیزات سرمایشی به جز در روزهای گرم، خاموش خواهند بود. این استراتژی کمک می کند تا از راه اندازی تجهیزات غیرضروری جلوگیری شده و باعث کاهش مصرف انرژی گردد.

در اینجا، متغیر "فصل" به چهار تابع عضویت گاوسین در بازه ی ۲,۵ تا ۱۴,۵ تقسیم شده است که این بازه با توجه به ماه می باشد.

استفاده از تابع عضویت گاوسی این مزیت را دارد که در تمامی نقاط هموار و غیر صفر می باشد و به این ترتیب مشخصات یک فصل را به خوبی نشان می دهد.



شکل ۴-۷: تابع عضویت ورودی فصل

۴-۳-۳. آب و هوا

آب و هوا، وضعیت اتمسفر در یک زمان و مکان مشخص با توجه به درجه حرارت، رطوبت، باد، فشار هوا، ابرناکی و بارش می باشد و شامل تمامی پدیده هایی است که در جو زمین رخ می دهد. وضعیت آب وهوایی از این منظر قابل توجه است که حداکثر بارهای گرمایشی و سرمایشی را در یک زمان مشخص از شب و روز تعیین می نماید و باعث اثرگذاری بر کنترل سطح تهویه مطبوع می شود و بنابراین تاثیر بسیار زیادی بر راحتی ساکنین و مصرف انرژی در یک محیط مسکونی دارد.

به عنوان مثال یک روز بارانی بر رطوبت جو اثر می گذارد، یا یک روز آفتابی در سطح روشنایی یک ساختمان موثر است و بنابراین وضعیت آب و هوایی در مجموع می تواند بر رطوبت، نور و درجه حرارت ساختمان ها اثر بگذارد.

در این پایان نامه، از سه وضعیت آسمان برای نشان دادن وضعیت آب و هوایی استفاده شده است: هوای بارانی، هوای ابری و هوای صاف.

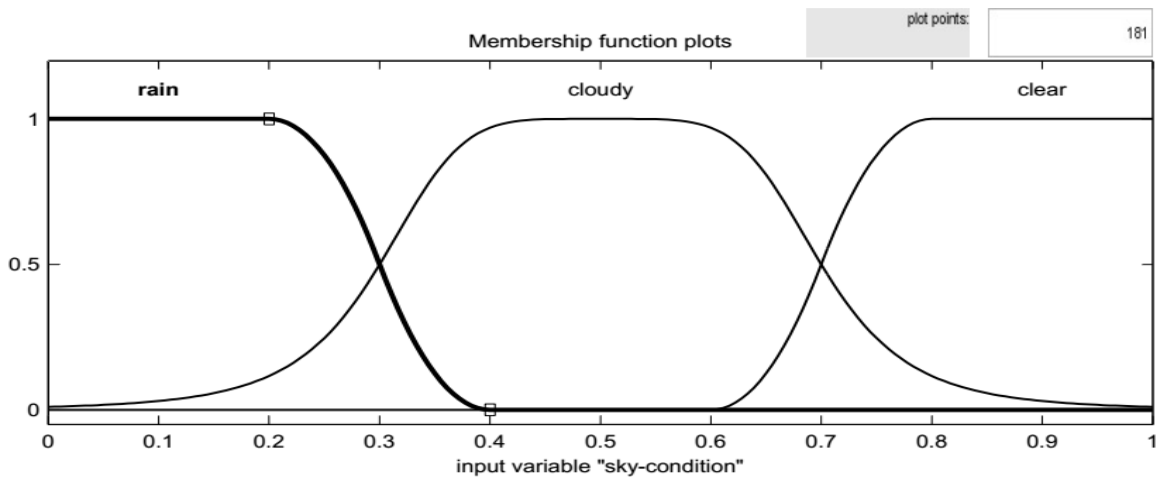
استراتژی های کنترل برای این سه تابع عضویت به صورت زیر است: زمانی که هوا بارانی است، سطح کنترل تجهیزات رطوبت ساز کاهش می یابد؛ هنگامی که هوا صاف است، سطح کنترل روشنایی مصنوعی (لامپ ها) کاهش می یابد؛ و زمانی که هوا ابری است، استراتژی کنترل را براساس سایر شرایط محیطی تعیین می نماییم.

به این ترتیب و با اتخاذ قوانین منطقی و هوشمند می توان مصرف انرژی در ساختمان را کاهش داد.

شرایط آسمان در شکل زیر نشان داده شده اند. تابع عضویت برای "هوای بارانی" از نوع Z-شکل^۱ و تا درجه عضویت ۰,۳ است. تابع عضویت برای "هوای صاف" از نوع S-شکل^۲ و با درجه عضویت بالای ۰,۷ می باشد و تابع عضویت برای "هوای ابری" از نوع گاوسی زنگوله ای^۳ و با درجه عضویت از ۰,۳ تا ۰,۷ است.

صاف بودن و تقارن منحنی گاوسی زنگوله ای شرایط بین باران و صاف (هوای ابری) را نشان می دهد.

^۱ zmf
^۲ smf
^۳ gaussbell



شکل ۴-۸: تابع عضویت ورودی شرایط آسمان

۴-۳-۴. دما

درجه حرارت محیط ساختمان یکی از مهم ترین پارامترها برای راحتی داخلی می باشد. ضمن اینکه بدن انسان در یک محدوده‌ی کوچک دمایی (بین ۲۱ تا ۲۳ درجه سانتیگراد) در حالت راحتی قرار می گیرد بنابراین دما ممکن است مهم ترین عامل تعیین کننده‌ی راحتی ساکنین باشد و باید با دقت کنترل شود تا یک محیط حرارتی راحت فراهم گردد.

دمای داخل ساختمان به طور مداوم از روز تا شب و از زمستان تا تابستان تغییر می کند. در این قسمت قوانین کنترلی مناسبی با توجه به تغییر دما، تغییر فصول، رطوبت و میزان روشنایی وضع شده اند. ورودی دما در بازه‌ی ۰ تا ۴۰ درجه‌ی سانتیگراد به ۵ تابع عضویت تقسیم شده است. هنگامی که درجه حرارت در حدود ۲۵ درجه سانتیگراد است، افراد احساس راحتی می کنند، بنابراین بازه‌ی ۲۰ تا ۲۶ درجه‌ی سانتیگراد برای دمای معتدل در نظر گرفته شده است.

در این پایان نامه، یک سیستم کنترل محیطی مبتنی بر منطق فازی ایجاد شده است که از استنتاج مبتنی بر قاعده برای تنظیم پاسخ مورد نظر و تعیین حالت صحیح خنک سازی یا گرمایش استفاده می کند. مزایای قابل توجهی از کنترل دما منطقی فازی وجود دارد: شرایط محیطی را می توان در نقاط

تعیین شده برنامه خود حفظ کرد و پایدار نگه داشته و فرکانس تغییرات خروجی حداقل به منظور بهبود بهره وری انرژی حفظ می شود.

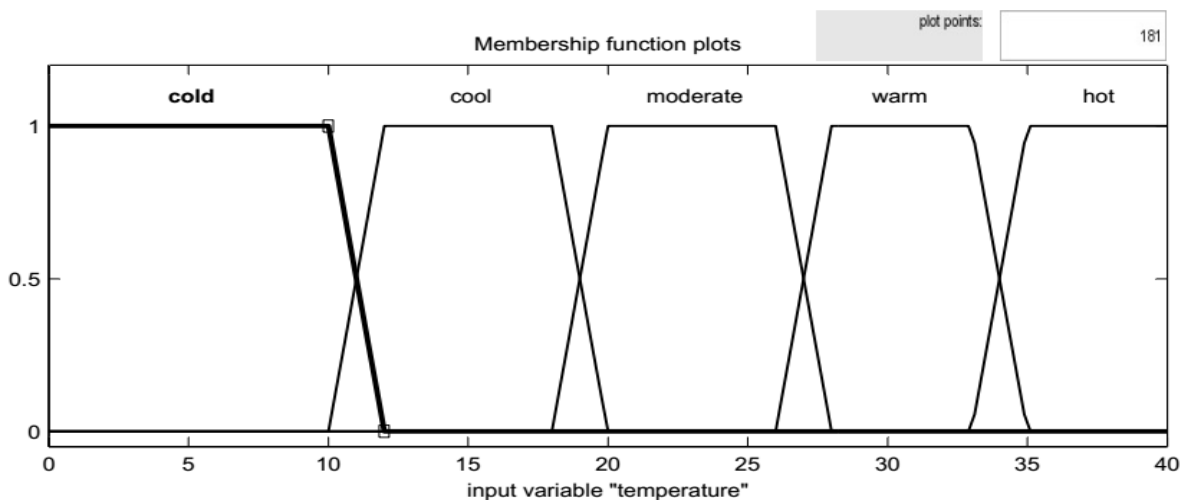
از آنجا که کنترل دما با سیستم های کنترل رطوبت و نور ارتباط نزدیکی دارد باید قوانین مناسبی بین این سه عامل برقرار گردد. مثلا هنگامی که درجه ی حرارت "hot" و رطوبت "wet" باشد، تجهیزات سرمایشی با ظرفیت بالاتری نسبت به حالت عادی نیاز است. و بطور مشابه زمانی که درجه حرارت "cold" و رطوبت "wet" باشد، تجهیزات گرمایشی در سطح بالاتری از حد نرمال مورد نیاز می باشد. این قوانین کنترلی می تواند ناراحتی^۱ ناشی از رطوبت نسبی بالا را کاهش دهد و شرایط مطلوب را بین دما و رطوبت برقرار سازد.

با توجه به اثر حرارتی یک سیستم روشنایی مصنوعی (لامپ ها)، باید استراتژی های کنترلی براساس میزان روشنایی مصنوعی قرار داده شوند. هنگامی که میزان نور مصنوعی بالا است، باید در میزان ظرفیت سیستم گرمایش و سرمایش تجدیدنظر نمود. یعنی هنگامی که تاسیسات گرمایشی کار می کنند، سطح کنترل آنها باید به سطح پایین تر از حد نرمال تنظیم شود تا از گرما که از سیستم روشنایی مصنوعی به دست می آید استفاده شود. از سوی دیگر، هنگامی که تاسیسات خنک کننده کار می کنند، سطح کنترل باید به سطح بالاتر برای حذف بارهای خنک کننده افزایش یافته ناشی از سیستم روشنایی مصنوعی تنظیم شود.

با استفاده از این قوانین کنترل فازی، سطح راحتی ساکنین و میزان بهره وری انرژی در شرایط مطلوب قرار خواهد گرفت.

از آنجا که انسان نسبت به تغییرات دمایی شرایط محیطی حساسیت بیشتری دارند، ۵ تابع عضویت برای این ورودی در نظر گرفته ایم. توابع عضویت این ورودی در شکل ۴-۹ نشان داده شده اند.

^۱ discomfort



شکل ۴-۹: تابع عضویت ورودی دما

به منظور سادگی، از تابع عضویت ذوزنقه ای برای تمامی توابع عضویت ورودی دما استفاده شده است.

۴-۳-۵. رطوبت

کنترل رطوبت نیز همانند کنترل دما حایز اهمیت است. ۳۰ درصد تغییر در میزان رطوبت نسبی^۱، به اندازه‌ی ۱ درجه‌ی سانتیگراد در حساسیت راحتی یک فرد موثر است [۲۲].

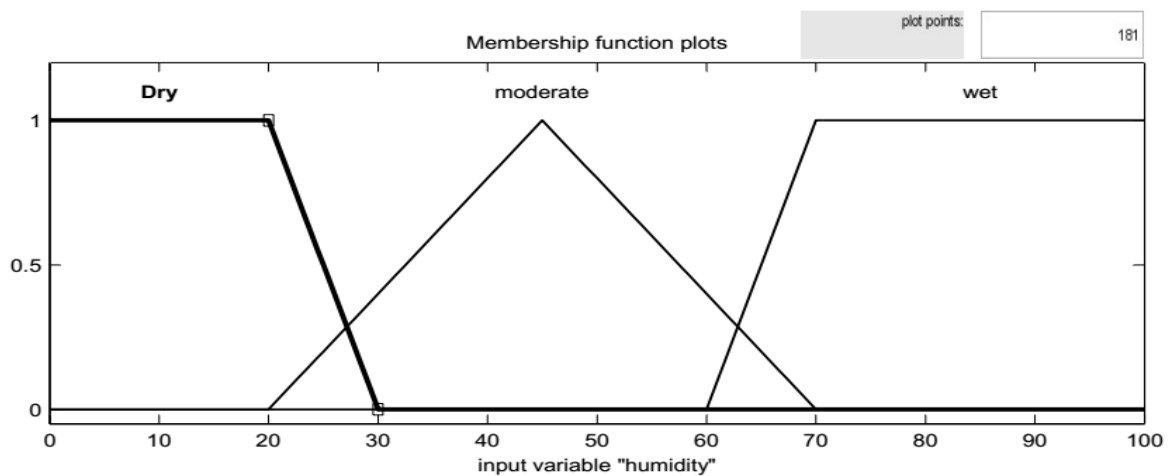
با توجه به اینکه شرایط محیطی، یک مکان مسکونی می باشد و افراد حاضر دائماً در حال تحرک هستند بنابراین باید از محدوده‌ی مناسبی از RH استفاده نمود. با رعایت معیارهای راحتی برای ساکنان و استاندارد ASHRAE شرایط محیطی حرارتی برای اشخاص انسانی، سطح رطوبت نسبی "متوسط" در سیستم استنتاج فازی این تحقیق بین ۳۰ تا ۶۰ درصد است.

وضعیت آسمان و دما، مهمترین عواملی هستند که بر میزان رطوبت نسبی ساختمان تاثیر می گذارند. بدون شک یک روز بارانی سطح رطوبت بالاتری نسبت به روز آفتابی دارد. بنابراین، سطح کنترل تجهیزات رطوبت ساز در روزهای بارانی کمتر از سایر شرایط آب و هوایی تعیین می شود. در ساختمان های بزرگ، سیستم های HVAC مدیریت می شوند تا دمای داخل ساختمان را در محدوده راحت نگه

^۱ Relative Humidity (RH)

دارند. در همان زمان، این سیستم ها باعث تغییرات زیادی در RH می شوند. در این پژوهش، روش های کنترل RH با توجه به سطوح کنترل سیستم های گرمایش و خنک کننده تنظیم می شود. به طور کلی، با توجه به کاهش رطوبت نسبی، درجه حرارت بالا مورد نیاز است. در فصل زمستان، هوا به منظور کاهش رطوبت توسط سیستم های گرمایشی مرطوب می شود. هنگامی که سطح تأسیسات گرمای بیش از "Medium" تنظیم می شود، سیستم کنترل فازی یکپارچه، رطوبت گیرها را به طور خودکار روشن می کند حتی زمانی که سطح RH توسط سنسورهای رطوبت "Moderate" اندازه گیری شده باشد. در تابستان، سیستم تهویه مطبوع، تهویه هوا را کاهش می دهد تا رطوبت نسبی افزایش یافته توسط سیستم خنک کننده، کاهش یابد.

با استفاده از این روش های کنترل یکپارچه، آسایش انسان در محیط داخلی می تواند بهترین باشد و شرایط محیطی به طور مطلوب بین رطوبت نسبی، درجه حرارت و شرایط آب و هوایی متعادل گردد. از آنجا که راحتی حرارتی در محدوده ی زیادی رطوبت حفظ می شود، متغیر رطوبت به توابع عضویت کمتری نسبت به دما تقسیم میشود. در این ورودی از سه تابع عضویت استفاده شده است. شکل ۴-۱۰ متغیر رطوبت را نشان می دهد.



شکل ۴-۱۰: تابع عضویت ورودی رطوبت

هدف نورپردازی، ایجاد یک محیط راحت برای انجام کارها و وظایف شخصی و دسته جمعی می باشد. یک سیستم کنترل روشنایی خوب، به طور خودکار میزان نور موردنیاز را طبق استانداردهای روشنایی تامین می نماید و تلاش می کند تا از خیرگی (نور زیاد) و یا نور کم جلوگیری نماید [۲۲].

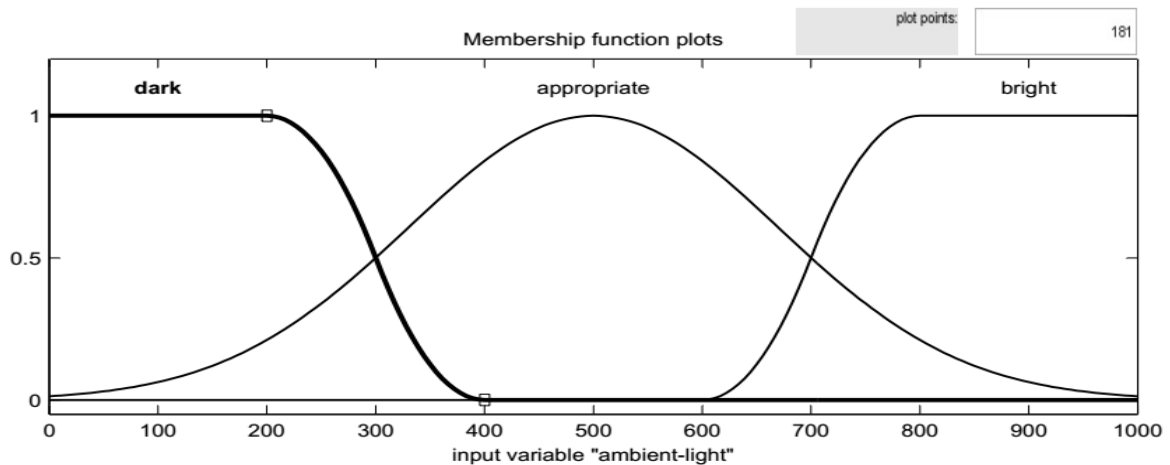
عوامل متعددی وجود دارد که بر روی میزان نور محیط در محیط ساختمان مسکونی تاثیر می گذارد. علاوه بر سیستم نورپردازی مصنوعی، که بخشی ضروری از سیستم اتوماسیون ساختمان است، نور روز طبیعی نیز یک عامل مهم در تعیین روشنایی محیط داخلی است. نور خورشید یک منبع بسیار کارآمد روشنایی است که می تواند نور طبیعی و دلپذیر را به ساکنان یک ساختمان از طریق پنجره ارائه دهد. ولی درعین حال، نور روز وابسته به شرایط آب و هوایی و شرایط آسمان دارد. بنابراین، پیش بینی های آب و هوایی کوتاه مدت به عنوان یکی از متغیرهای ورودی محیطی برای استراتژی های کنترل مورد استفاده قرار می گیرند و در سیستم کنترل فازی یکپارچه در این تحقیق ترکیب می شوند. علاوه بر این، نورپردازی بخش مهمی از سیستم های گرمایش و خنک سازی یک ساختمان را فراهم می کند. هر سیستم روشنایی، دارای بازخوردهای دمایی و بصری است یعنی کم و زیاد شدن نور طبیعی و مصنوعی اثر مستقیم بر میزان دما و میزان نور محیط مسکونی دارد. با توجه به استانداردهای جهانی (مانند جامعه مهندسين روشنایی^۱) و ملی (مانند سازمان نظام مهندسی ساختمان) در زمینه میزان نور توصیه شده برای محیط های مسکونی، ما در این تحقیق میزان نور متعادل را ۲۵۰ لوکس در نظر گرفته ایم.

با توجه به پیش بینی هوا، شرایط آسمان را می توان پیش بینی کرد و برای کنترل روشنایی مورد توجه قرار داد. در روز آفتابی یا روشن، نور روز کافی است و امکان استفاده بیشتر از نور روز برای کاهش مصرف انرژی وجود دارد. در نتیجه، سطح کنترل نور مصنوعی در یک روز روشن، کمتر از آنچه در روزهای بارانی است. عامل تعیین کننده دیگر برای کنترل سطح نور، شرایط محیطی واقعی است. سنسورهای

^۱ IES

نور، میزان روشنایی کامل را در محیط اندازه گیری می کنند که این میزان نور، ترکیب هر دو "نور روز" و "نور مصنوعی" است. سیستم کنترل روشنایی سطوح نور مصنوعی را افزایش یا کاهش می دهد تا سطح کل نور را با توجه به معیارهای مربوطه حفظ کند. این استراتژی کنترل می تواند محیط روشنایی راحت را برای ساکنین فراهم کند و همچنین مصرف انرژی را کاهش دهد.

متغیر ورودی "نور" در شکل ۴-۱۱ به سه تابع عضویت در جعبه ابزار منطق فازی تقسیم شده است. سطح روشنایی کمتر از ۱۵۰ لوکس به عنوان تابع عضویت از نوع "zmf" تعریف شده است. میزان نور روشنایی بالاتر از ۳۵۰ لوکس از نوع "smf" تعریف شده و میزان نور مناسب در بازه ی ۱۵۰ تا ۳۵۰ لوکس و از نوع "gussian" می باشد. این توابع عضویت در شکل ۴-۱۱ داده شده اند.



شکل ۴-۱۱: تابع عضویت ورودی نور محیط

۴-۴. متغیرهای خروجی

در این بخش ما در مورد مرحله نهایی سیستم کنترل فازی یکپارچه (متغیرهای خروجی) بحث می کنیم. اگرچه کنترل دقیق دما، رطوبت و روشنایی در همه جای یک ساختمان ممکن است یک فکر جذاب باشد، ولی کنترل ها معمولاً فقط در یک محدوده تنظیم (و نه یک نقطه تنظیم^۱) برقرار می شوند [۲۲].

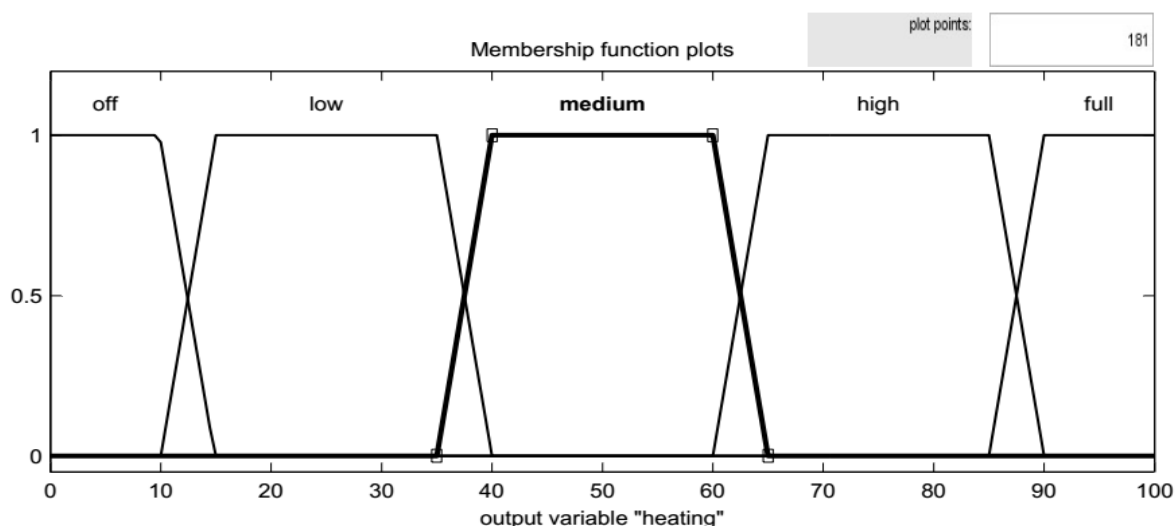
^۱ setpoint

در این تحقیق، پنج متغیر خروجی برای سیستم کنترل فازی یکپارچه برای کنترل عوامل محیطی زیر مورد استفاده قرار می گیرند: سطح تجهیزات گرمایشی، سطح تجهیزات خنک کننده، سطح تجهیزات رطوبت ساز، سطح تجهیزات رطوبت گیر و سطح روشنایی مصنوعی.

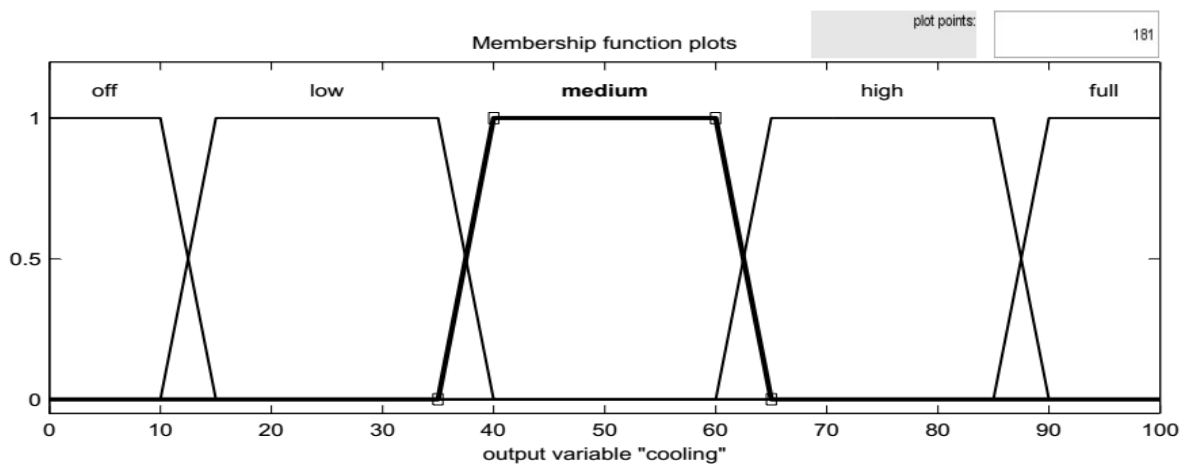
بسیاری از ساختمان های بزرگ امروز با استفاده از سیستم های کنترل مرکزی مدیریت می شوند. هدف از این سیستم ها ایجاد یک محیط راحت، کارآمد و با صرفه جویی در انرژی است.

در سیستم استنتاج فازی که در این تحقیق معرفی شده است، متغیرهای خروجی تجهیزات گرمایش و خنک کننده سیستم های تهویه مطبوع، به منظور حفظ دمای محیط راحت کنترل می شوند. هم چنین سطح کنترل نور مصنوعی، مربوط به مقدار روشنایی محیطی است که توسط سنسورهای روشنایی و شرایط آسمان تعیین می شود.

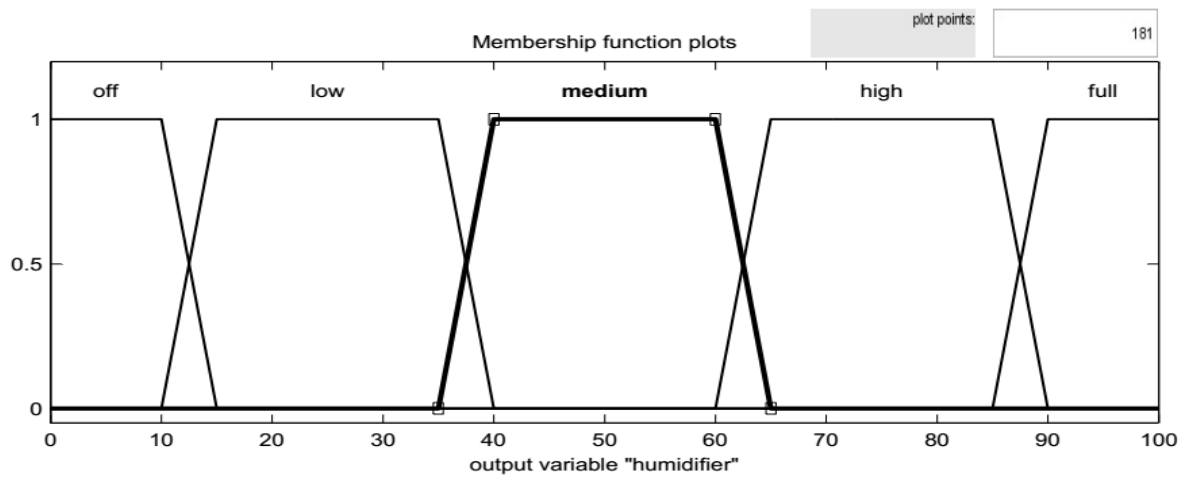
شکل های ۴-۱۲ تا ۴-۱۶ توابع عضویت مربوط به هر خروجی را نشان می دهد که همه ی خروجی ها به ۵ تابع عضویت در بازه ی ۰ تا ۴ تقسیم شده اند. از توابع عضویتی استفاده شده است که در عین سادگی دارای شفافیت نیز می باشد.



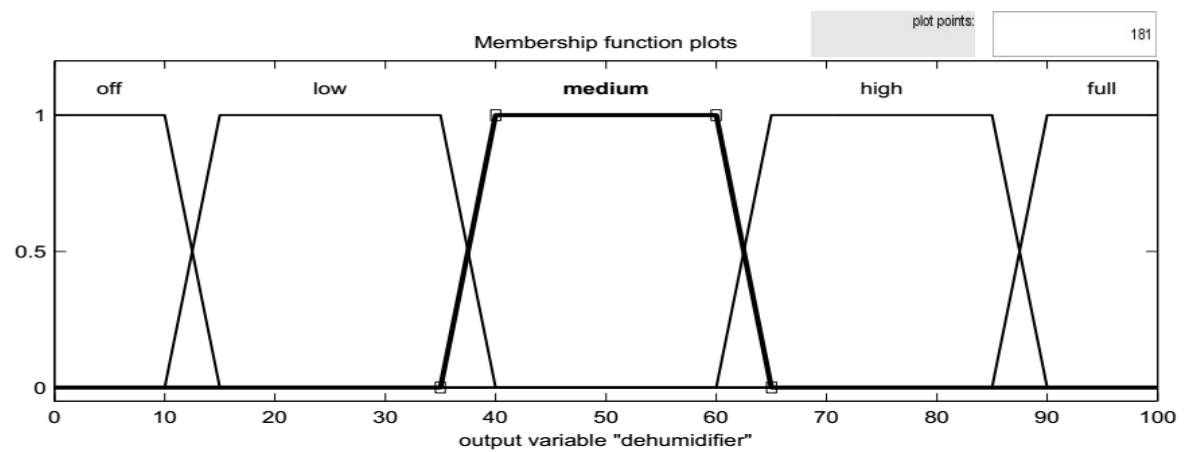
شکل ۴-۱۲: تابع عضویت خروجی گرمایش



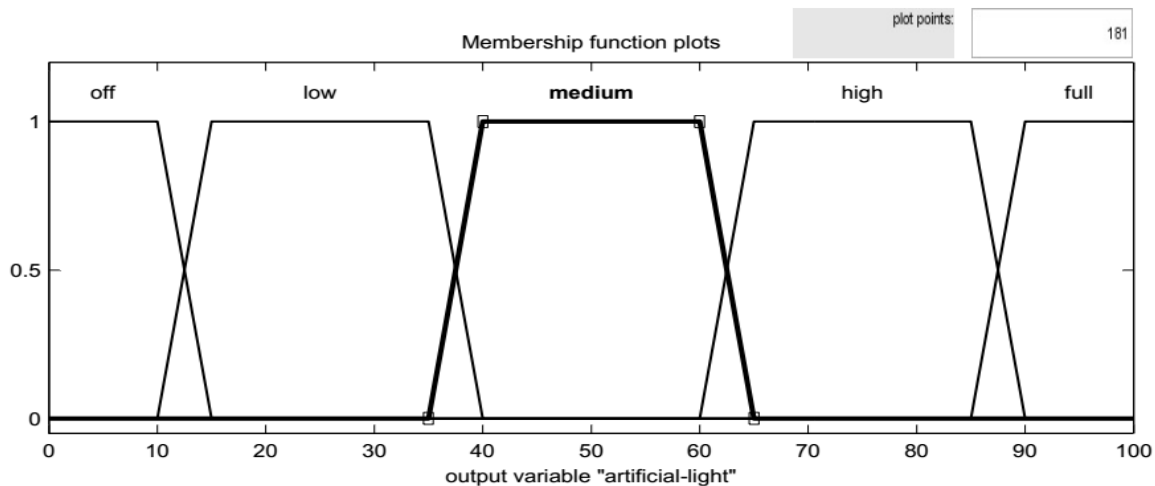
شکل ۴-۱۳: تابع عضویت خروجی سرمایش



شکل ۴-۱۴: تابع عضویت خروجی رطوبت ساز



شکل ۴-۱۵: تابع عضویت خروجی رطوبت گیر



شکل ۴-۱۶: تابع عضویت خروجی نور مصنوعی

خروجی های سیستم فازی بعد از غیرفازی سازی به میزان نیاز به محرک ها اعمال می شوند تا شرایط مطلوب راحتی را فراهم نماید. به عنوان مثال اگر خروجی گرمایش، "medium" باشد، عددی بین ۱,۵ تا ۲,۵ به محرک ها اعمال می گردد که سیستم گرمایش را به میزان متوسط روشن می کند.

۴-۵. قوانین اگر-آنگاه

به طور کلی، بخش "if" متغیرهای ورودی را در این پایان نامه نشان می دهد، در حالی که قسمت "then" متغیرهای خروجی را نمایش می دهد. در سیستم استنتاج فازی، قوانین اگر-آنگاه توابع سیستمی را توصیف می کنند، و ممکن است توسط کارشناسان و/یا پرسنل با تجربه حرفه‌ای ارائه شده باشد.

در این پایان نامه، با توجه به تعداد ورودی ها و خروجی ها و روابط حاکم بر آنها، ۷۵۷ قانون فازی داریم. در واقع این قوانین نشان دهنده ارتباط بین تمام ۶ متغیر ورودی و پنج متغیر خروجی می باشند و سیستم های HVAC و روشنایی را برای ایجاد یک محیط راحت و باصرفه برای اشخاص کنترل می کنند. پس از ایجاد تمامی قوانین اگر-آنگاه، سیستم استنتاج فازی به طور کامل تعریف خواهد شد و تمام متغیرها، توابع عضویت و قوانین لازم برای محاسبه سطوح کنترل، جایگذاری می شوند. شکل ۴-۱۷ نمایشگر تعدادی از قوانین فازی این سیستم می باشد.

1. If (room-status is Empty) then (heating is off)(cooling is off)(humidifier is off)(dehumidifier is off)(artificial_light is off)

2. If (room-status is Sleep) and (season is spring) and (sky-condition is rain) and (temperature is cold) and (humidity is moderate) and (ambient-light is dark) then (heating is high)(cooling is off)(humidifier is off)(dehumidifier is off)(artificial_light is off)

.
.
.

378. If (room-status is Sleep) and (season is winter) and (sky-condition is clear) and (temperature is warm) and (humidity is wet) and (ambient-light is bright) then (heating is off)(cooling is low)(humidifier is off)(dehumidifier is medium)(artificial_light is off)

380. If (room-status is Normal) and (season is spring) and (sky-condition is rain) and (temperature is cold) and (humidity is moderate) and (ambient-light is dark) then (heating is high)(cooling is off)(humidifier is off)(dehumidifier is off)(artificial_light is full)

.
.
.

756. If (room-status is Normal) and (season is winter) and (sky-condition is clear) and (temperature is warm) and (humidity is moderate) and (ambient-light is bright) then (heating is off)(cooling is low)(humidifier is off)(dehumidifier is off)(artificial_light is off)

757. If (room-status is Normal) and (season is winter) and (sky-condition is clear) and (temperature is warm) and (humidity is wet) and (ambient-light is bright) then (heating is off)(cooling is low)(humidifier is off)(dehumidifier is medium)(artificial_light is off)

شکل ۴-۱۷: تعدادی از قوانین اگر-آنگاه

بعد از طراحی سیستم فازی در جعبه ابزار فازی، به اعتبار سنجی این سیستم با استفاده از معیارهای معتبر خواهیم پرداخت و سپس به طراحی سیستم در فضای m-file نرم افزار MATLAB می پردازیم. هدف از این کار این است که بتوانیم با اعمال ورودی ها میزان انرژی مصرف شده هر یک از سیستم ها و انرژی مصرفی کل را بدست آوریم. ضمن اینکه سیستم استنتاج فازی در فضای m-file دارای سرعت بیشتری بوده و برای هدف ما مناسب می باشد. در نهایت نتایج را با کنترل کننده ی ترموستاتی مقایسه خواهیم نمود.

فصل پنجم

شبیه سازی، اعتبار سنجی و تحلیل نتایج

۵-۱. مقدمه

هدف این پایان نامه، ارائه یک محیط راحت برای ساکنین ساختمان مسکونی می باشد. در عین حال، بهره‌وری انرژی نیز باید از طریق مصرف بهینه بدست آید. با این حال، چگونه می‌توانیم ارزیابی کنیم که آیا محیط ساختمان راحت است یا خیر، و آیا مصرف انرژی آن کارآمد است یا خیر؟ برای داشتن هر دوی راحتی و کارایی، بدن انسان نیاز به یک محدوده متعادل از شرایط محیطی دارد. یک راه برای رسیدن به این رضایت، ایجاد تعادل بین گرمایش، سرمایش، رطوبت ساز، رطوبت گیر، و سیستم های روشنایی است. در این تحقیق، استراتژی های کنترلی و قوانین، در داخل این سیستم ها تعادل دارند و مطابق با معیارها و استانداردهای بین المللی می باشند. این معیارها و استانداردها وسیله ای برای ارزیابی راحتی و بهره وری انرژی در یک محیط هستند و در بخش ۵-۲ توضیح داده می شوند.

در بخش ۵-۳ چندین داده آزمایشی را مورد بررسی قرار داده تا تغییرات لازم در قوانین فازی را انجام دهیم و در بخش ۵-۴ به اعتبار سنجی این آزمایش می پردازیم. سپس در بخش ۵-۵ تحلیل فرآیندها براساس نمودار سایکرومتریک را از نظر می گذرانیم. در بخش بعدی ظرفیت کلی تجهیزات را تعیین می نمائیم. در بخش ۵-۷ خروجی های سیستم فازی و در بخش ۵-۸ میزان مصرف انرژی تجهیزات با اعمال سیستم فازی را بررسی می کنیم. همچنین در بخش ۵-۹ کنترل کننده ی on-off را بررسی کرده و در نهایت در بخش ۵-۱۰ نتایج را با کنترل کننده ی ترموستاتی مقایسه نموده و به تحلیل این نتایج می پردازیم. در ابتدا چند تعریف را از نظر می گذرانیم.

دمای خشک^۱ : دمایی است که توسط دماسنج های معمولی قابل اندازه گیری و نمایش است و به آن دمای حباب خشک نیز می گویند.

^۱ Dry Bulb Temperature (DB)

دمای مرطوب : چنانچه حباب یک دماسنج معمولی را با پارچه ای مرطوب پوشانده و آن را در معرض جریان هوا قرار دهیم، دماسنج دمایی را نشان می دهد که به طور معمول از دمای خشک کمتر است. این دما را دمای مرطوب^۱ یا دمای حباب مرطوب می نامند.

رطوبت : مقدار بخار آب موجود در هوا رطوبت نامیده می شود.

رطوبت نسبی^۲ : نسبتی است بین رطوبت موجود در هوای مورد نظر در مقایسه با مقدار رطوبتی که هوا می توانست تا اشباع شدن کامل تحت همان دما به خود جذب کند.

نسبت رطوبت^۳ : نشانگر نسبت جرم بخار آب به جرم هوای خشک است و در واقع نسبت اختلاط جرمی را مشخص می کند.

گرمای محسوس^۴ : گرمایی است که موجب افزایش دمای ماده می شود بدون اینکه منجر به تغییر حالت یا فاز فیزیکی آن شود. افزایش یا کاهش گرمای محسوس با دماسنج معمولی قابل اندازه گیری است و افزایش آن ارتباطی به محتوای رطوبت ندارد. در عین حال افزایش گرمای محسوس بدون اضافه شدن بخار آب موجب کاهش رطوبت نسبی می شود.

گرمای نهان^۵ : گرمایی است که صرف تغییر حالت ماده می شود و تغییر محسوسی در دما به وجود نمی آورد. این گونه انرژی به طور مستقیم حس نمی شود، بلکه انرژی نهفته ای است که تحت شرایط خاص می توان آن را آزاد نمود.

آنتالپی : کل انرژی داخلی شامل گرمای نهان، آنتالپی^۶ نامیده می شود. آنتالپی به عنوان محتوای گرمایی معمولاً بر حسب Btu بر واحد وزن جامدات و مایعات و Btu بر واحد حجم گازها سنجیده می شود [۲۳].

^۱ Wet Bulb Temperature (WB)

^۲ Relative Humidity

^۳ Humidity ratio

^۴ Sensible heat

^۵ Latent heat

^۶ Enthalpy

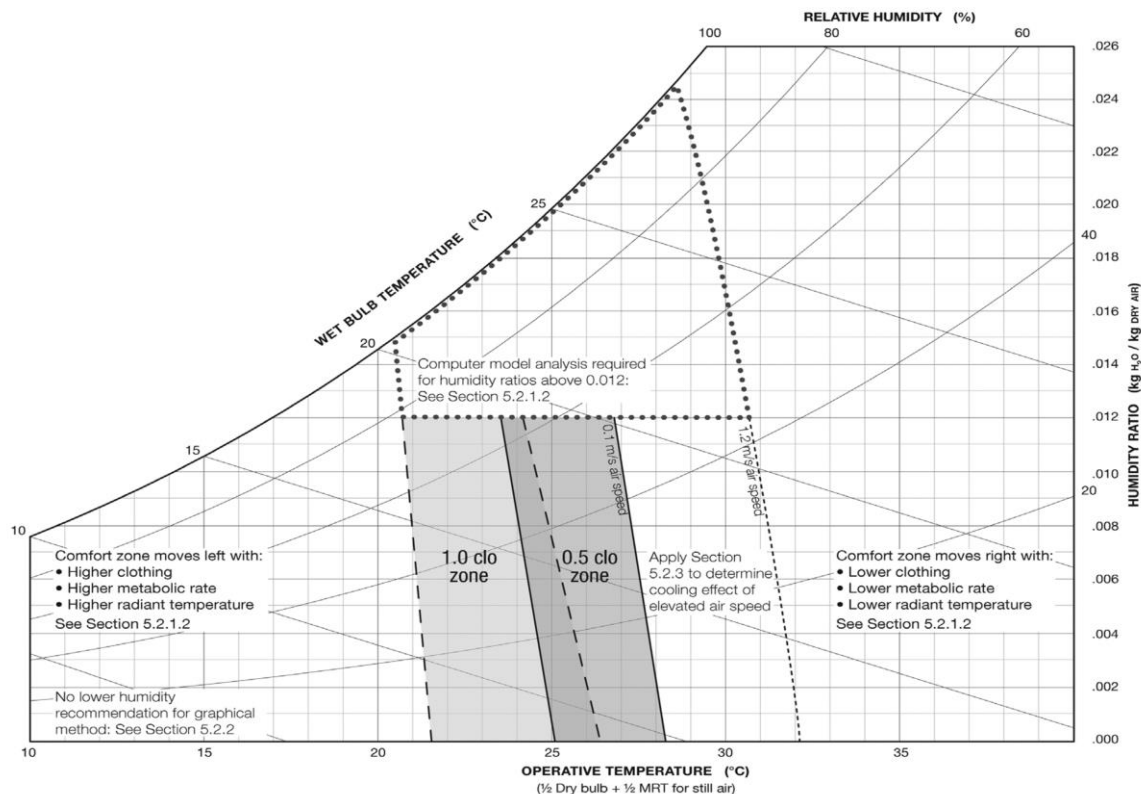
۵-۲. معیارهای راحتی و انرژی

سطح کنترل سیستم های تهویه مطبوع می تواند به طور مستقیم بر شرایط راحتی، میزان مصرف انرژی و اصطهلاک تجهیزات کارکردی تاثیر بگذارد [۱۶]. در نتیجه، قوانین کنترلی و مدل های فازی مورد بحث در فصل ۴ برای رسیدن به الزامات زیست محیطی ساکنین طراحی شده اند. این بخش از پایان نامه معیارها و استانداردها را مورد بررسی قرار می دهد و به طور ویژه بر راحتی و مصرف انرژی متمرکز می شود.

۵-۲-۱. راحتی انسان

مهمترین جنبه‌ی آسایش انسان در محیط داخلی، آسایش حرارتی است که می تواند توسط دما، رطوبت، حرکت هوا، کیفیت هوا و ... اندازه گیری شود. استاندارد ASHRAE مجموعه ای از استانداردهای پذیرفته شده بین المللی، از جمله راحتی و صرفه جوئی انرژی را شامل می شود.

استانداردهای طراحی در این تحقیق برای سطوح راحتی حرارتی، مطابق و منطبق بر ناحیه راحتی ASHRAE نشان داده شده در شکل ۵-۱ می باشد که تعامل بین راحتی و عوامل محیطی مهم مربوطه را خلاصه می کند به طوری که اکثر افراد احساس راحتی می کنند.



شکل ۵-۱: ناحیه‌ی راحتی ASHRAE [۲۴]

براساس این نمودار، شرایط دمایی راحتی می‌تواند تا ۲۷ درجه‌ی سانتیگراد افزایش یابد و تا ۲۰ درجه‌ی سانتیگراد کاهش یابد.

بنابراین با ترکیب این استاندارد و سایر معیارها، محدوده‌ی کنترل شده‌ی HVAC برای راحتی حرارتی در این تحقیق از ۲۰ تا ۲۶ درجه‌ی سانتیگراد برای دمای داخلی و از ۳۰ تا ۶۰ درصد برای رطوبت نسبی می‌باشد.

علاوه بر راحتی حرارتی، نوردهی ایده آل - نه خیلی روشن و نه خیلی تاریک - یکی دیگر از عوامل مهم محیطی است که باعث می‌شود ساکنان احساس راحتی کار کنند. روشنایی به سطح روشنایی اشاره دارد که در واحد Lux اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به استانداردهای مختلف بین‌المللی و ملی در این زمینه، میزان نور مناسب برای یک محیط مسکونی را ۲۵۰ لوکس انتخاب می‌کنیم.

۵-۲-۲. بازدهی انرژی

استاندارد ASHRAE معیارهای قابل قبولی را برای حفظ انرژی در ساختمان های جدید ارائه کرده است. در بیشتر ساختمان ها، بیشترین صرفه جویی در انرژی را می توان از طریق اجرای سیستم های تهویه مطبوع انجام داد. این استاندارد برخی از روشهای پیاده سازی را به شرح زیر ارائه می دهد: اصلاح قوانین کنترل و کنترل نقاط مرجع برای افزایش و کاهش درجه حرارت و رطوبت در صورت لزوم؛ و خاموش کردن یا جداسازی تمام تجهیزات غیراساسی.

در این پایان نامه، استراتژی های کنترل زیر با استفاده از قوانین اگر-آنگاه فازی انجام می شود: استفاده از یک روش یکپارچه برای ترکیب عوامل مختلف محیطی برای دستیابی به شرایط مطلوب و حفظ تجهیزات مناسب؛ استفاده از زمان سکونت در ساختمان های مسکونی، برای حفظ عملکرد سیستم، فقط زمانی که لازم است. تعیین محدوده‌ی نقطه‌ی مرجع به منظور کاهش زمان اجرا سیستم HVAC. هم چنین، روشنایی مصنوعی با استفاده از سیستم BAS به منظور دستیابی به الزامات حفاظت از انرژی کنترل می شود و سطوح روشنایی به صورت خودکار با استفاده از سیستم کنترل فازی برای قرار گرفتن در معرض عوامل کاهش نور و یا روشنایی برای تکمیل نور روز تنظیم می شود.

۵-۳. داده های آزمایشی

در این بخش ما چندین داده‌ی واقعی را انتخاب می کنیم و برای آزمایش و تنظیم سیستم کنترل فازی کنترل بکار می بریم.

ابتدا تقسیم بندی اقلیمی کشور را در جدول (۵-۱) مشاهده می کنیم. در این تقسیم بندی، ایران به ۸ اقلیم مختلف تقسیم شده است که می توان برای هر اقلیم، از سیستم یکپارچه‌ی فازی پیشنهادی

استفاده نمود زیرا میانگین دما و رطوبت در زمستان و تابستان با میزان دما و رطوبت معتدل در سیستم فازی منطبق است.

جدول ۵-۱: تقسیم بندی ۸ گانه اقلیمی کشور [۲۵]

ردیف	نوع اقلیم	میانگین حداکثر دما در تابستان °C	میانگین رطوبت نسبی در تابستان %	میانگین حداقل دما در زمستان °C	میانگین رطوبت نسبی در زمستان %	نمونه شهر
۱	بسیار سرد	۲۵-۳۰	۴۵-۵۵	۱۰- تا -۵	۶۵-۷۵	سراب
۲	سرد	۳۵-۴۰	۲۵-۴۰	۱۰- تا -۵	۶۵-۷۵	تبریز
۳	معتدل و بارانی	۲۵-۳۰	بیشتر از ۶۰	۰-۵	بیشتر از ۶۰	رشت
۴	نیمه معتدل و بارانی	۳۰-۳۵	بیشتر از ۵۰	۰-۵	بیشتر از ۶۰	مغان
۵	نیمه خشک	۳۵-۴۰	۲۰-۴۵	۰-۵	۴۰-۶۰	تهران
۶	گرم و خشک	۳۵-۴۵	۱۵-۲۰	۰-۵	۳۵-۵۰	زاهدان
۷	بسیار گرم و خشک	۴۵-۵۰	۲۰-۳۰	۵-۱۰	۶۰-۷۰	اهواز
۸	بسیار گرم و مرطوب	۳۵-۴۰	بیشتر از ۶۰	۱۰-۲۰	بیشتر از ۶۰	بندر عباس

داده های آزمایشی از نشریه سازمان ملی استاندارد مستخرج شده که مربوط به سال ۱۳۹۰ می باشد. این داده ها را برای نمونه در شهر مشهد انتخاب می نمایم و سیستم فازی را مورد آزمایش قرار می دهیم. جدول (۵-۲) و (۵-۳) به ترتیب مقادیر دما و رطوبت متوسط ماهیانه را در سال ۱۳۹۰ نشان می دهند.

جدول ۵-۲: مقادیر دمای متوسط ماهیانه در سال ۱۳۹۰ برای چند شهر کشور [۲۵]

ماه شهر	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
کرمانشاه	۱۲/۹	۱۷/۸	۲۴	۲۸/۳	۲۷/۵	۲۲/۷	۱۶/۱	۹/۱	۳/۷	۱	۲/۸	۷/۶
گرگان	۱۶/۳	۲۱/۵	۲۵/۷	۲۷/۸	۲۷/۷	۲۴/۶	۱۹/۲	۱۳/۹	۹/۷	۷/۷	۸/۲	۱۰/۷
مشهد	۱۴/۲	۱۹/۴	۲۴/۶	۲۶/۹	۲۴/۹	۲۰/۱	۱۳/۶	۷/۶	۳	۰/۸	۲/۸	۷/۵
همدان	۱۱/۷	۱۶/۲	۲۱/۸	۲۵/۶	۲۴/۸	۱۹/۸	۱۲/۹	۶/۵	۰/۵	-۲/۷	-۱	۴/۹
یاسوج	۱۳/۸	۱۹/۲	۲۴/۲	۲۷/۳	۲۶/۶	۲۲/۳	۱۶/۱	۹/۸	۵/۵	۲/۳	۴/۲	۷/۹
یزد	۱۹/۶	۲۵/۲	۳۰/۶	۳۲/۴	۳۰/۵	۲۶/۳	۱۹/۴	۱۲/۱	۶/۹	۵/۴	۸/۴	۱۳/۳

جدول ۳-۵: مقادیر رطوبت متوسط ماهیانه در سال ۱۳۹۰ برای چند شهر کشور [۲۵]

ماه شهر	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
کرمانشاه	۵۶	۴۸	۲۹	۲۳	۲۳	۲۵	۳۹	۵۸	۷۱	۷۴	۶۹	۶۲
گرگان	۷۱	۶۷	۶۴	۶۵	۶۸	۶۹	۶۹	۷۳	۷۴	۷۳	۷۳	۷۴
مشهد	۶۳	۵۱	۳۸	۳۵	۳۵	۳۹	۵۱	۶۴	۷۳	۷۶	۷۴	۷۱
همدان	۵۳	۵۰	۴۱	۳۶	۳۵	۳۶	۵۰	۶۲	۷۳	۷۷	۷۴	۶۵
یاسوج	۵۲	۴۱	۲۹	۲۷	۲۶	۲۶	۳۸	۵۲	۶۳	۷۳	۶۷	۶۰
یزد	۳۳	۲۶	۱۹	۱۸	۱۸	۱۹	۲۸	۳۹	۴۹	۵۴	۴۵	۳۹

داده های آزمایشی انتخاب شده به شکل زیر می باشد.

جدول ۴-۵: داده های آزمایشی برای شهر مشهد

شهر: مشهد - داده های ورودی												
ماه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
دما (درجه سانتیگراد)	۱۴/۲	۱۹/۴	۲۴/۶	۲۶/۹	۲۴/۹	۲۰/۱	۱۳/۶	۷/۶	۳	۰/۸	۲/۸	۷/۵
رطوبت (درصد)	۶۳	۵۱	۳۸	۳۵	۳۵	۳۹	۵۱	۶۴	۷۳	۷۶	۷۴	۷۱
آب و هوا (فرضی)	ابری	ابری	صاف	صاف	صاف	صاف	ابری	بارانی	صاف	بارانی	ابری	ابری

بایستی توجه نمائیم که وضعیت آب و هوا را به صورت فرضی در نظر گرفته ایم و وضعیت اتاق را در حالت "normal" فرض کرده ایم و همچنین از سیستم روشنایی صرف نظر نمودیم.

۴-۵. اعتبارسنجی

آزمایش و تست مدل، آخرین فرآیند مورد نیاز برای انجام طراحی یک سیستم کامل فازی است. در طی این مرحله، تمام ورودی ها به سیستم معرفی می شوند تا مشاهده کنیم که آیا سیستم مطابق انتظار

رفتار می کند یا خیر؟. پس از تنظیم سیستم با تنظیم توابع عضویت، تغییر مراکز و همپوشانی از توابع عضو ورودی و اضافه کردن قوانین اضافی به تمامی شرایط، می توانیم نتایج شبیه سازی را که انتظار می رود، رضایت بخش دانسته و درون منطقه قابل قبول تعریف شده بدست آوریم. به عبارت دیگر، نتایج نشان می دهد که سیستم کنترل یکپارچه BAS می تواند راحتی و بهره وری انرژی بهینه را به طور موثر و مناسب به دست آورد.

جدول ۵-۵: خروجی سیستم فازی برای داده های آزمایشی شهر مشهد

شهر: مشهد - داده های ورودی												
ماه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
دما (درجه سانتیگراد)	۱۴/۲	۱۹/۴	۲۴/۶	۲۶/۹	۲۴/۹	۲۰/۱	۱۳/۶	۷/۶	۳	۰/۸	۲/۸	۷/۵
رطوبت (درصد)	۶۳	۵۱	۳۸	۳۵	۳۵	۳۹	۵۱	۶۴	۷۳	۷۶	۷۴	۷۱
آب و هوا (فرضی)	ابری	ابری	صاف	صاف	صاف	صاف	ابری	بارانی	صاف	بارانی	ابری	ابری
شهر: مشهد - خروجی های سیستم فازی												
گرمایش	medium	low	off	off	off	off	medium	high	high	full	high	high
سرمایش	off	off	low	low	low	low	off	off	off	off	off	off
رطوبت ساز	low	low	low	low	low	low	low	off	off	off	off	off
رطوبت گیر	low	off	off	off	off	off	off	medium	low	low	low	low

جدول ۵-۵ نتایج شبیه سازی را برای شهر مشهد نشان می دهد. این نتایج نشان می دهند که سیستم مطابق انتظار عمل نموده است. به عنوان مثال در فصل زمستان که دما بسیار پایین است انتظار می رود که سیستم گرمایش در بالاترین ظرفیت خود کار کند و همچنین سیستم سرمایش خاموش باشد. یا در آذر ماه که رطوبت بالای ۶۰ درصد بوده و هوا خیلی سرد است، سیستم گرمایش در حد "بالا" و رطوبت گیر در حد "متوسط" فعال شده اند. طبیعتاً در این حالت سیستم سرمایش و رطوبت ساز خاموش هستند.

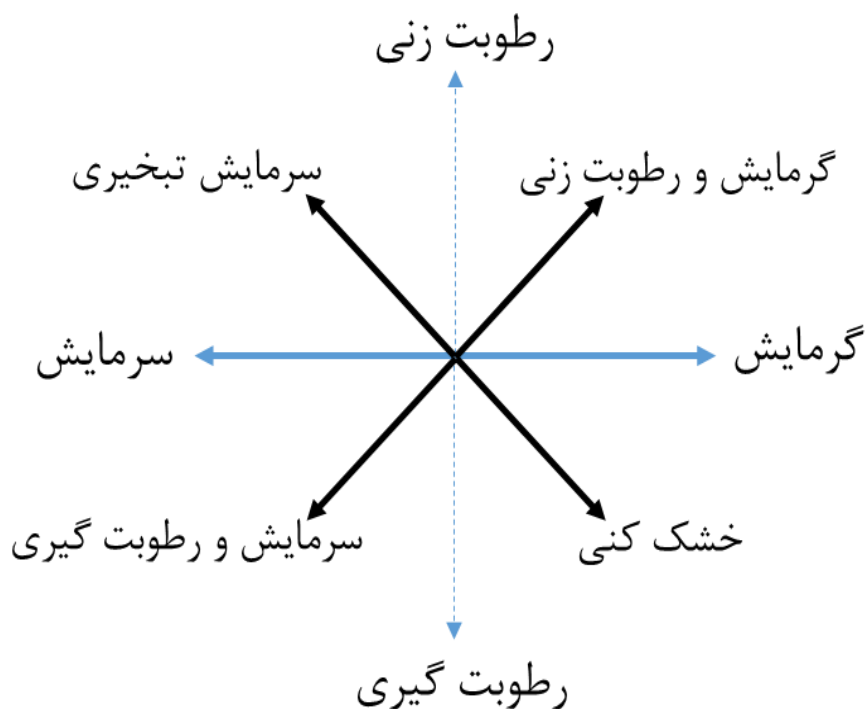
۵-۵. تحلیل فرآیندها براساس سایکرومتریک

نمودارهای سایکرومتریک بیانگر تصویریِ خواصِ ترمودینامیکیِ هوایِ مرطوب هستند و به طرز خارق-العاده‌ای فرآیند تعیین پارامترهای مختلف را سهل می‌نمایند. این گونه نمودارها براساس مقیاس‌های انگلیسی و بین‌المللی و برای ارتفاع‌های مختلف تدوین شده‌اند [۲۳].

تغییر نقاط بر روی نمودار سایکرومتریک به معنای تغییر شرایط است. شکل ۵-۲ اوضاع کلی را با تغییر نقاط در جهات مختلف نمایش می‌دهد. چنانچه محورهای رسم شده را مانند جهات جغرافیایی نام گذاری کنیم، می‌توان گفت که حرکت کاملاً عمودی به سمت شمال به معنای افزایش گرمای نهان و یا به عبارت دیگر توام با فرآیند رطوبت زنی است و در عین حال تغییر شرایط در همان راستا اما در خلاف جهت یعنی به سمت جنوب به معنای کاهش گرمای نهان و یا توام با فرآیند رطوبت گیری است. همانگونه که مشاهده می‌شود حرکت به سمت جنوب به شمال و بالعکس دقیقاً به موازات محور نسبت رطوبت صورت می‌گیرد و این به معنای تغییر این پارامتر است و درست برخلاف آن هیچ گونه ارتباطی به محور افقی دمای خشک ندارد. بنابراین افزایش یا کاهش گرمای نهان توام با رطوبت زنی یا رطوبت گیری تاثیری در افزایش یا کاهش دمای خشک نخواهد داشت. جهت اصلی دیگری که جهتی افقی و به موازات محور دمای خشک است بیانگر افزایش یا کاهش گرمای محسوس می‌باشد. تغییر شرایط به سمت غرب موجب افزایش دمای خشک و زیاد شدن گرمای محسوس و حرکت به سمت شرق نمودار به معنای کاهش دمای خشک و کم شدن گرمای محسوس است. به عبارت دیگر این راستا می‌تواند از یک سمت به معنای گرمایش و در جهت خلاف آن به معنای سرمایش باشد. در این فرآیند نیز هیچ تغییری در نسبت رطوبت به وجود نمی‌آید [۲۳].

جهت فرعی دیگر یعنی راستای شمال غربی به جنوب شرقی و شمال شرقی به جنوب غربی هر دو نشانگر تغییرات توامان گرمای محسوس و گرمای نهان هستند و در هر دوی این فرآیندها دمای خشک و نسبت رطوبت تغییر می‌کنند. محور شمال غربی نشانگر افزایش گرمای محسوس و گرمای نهان و

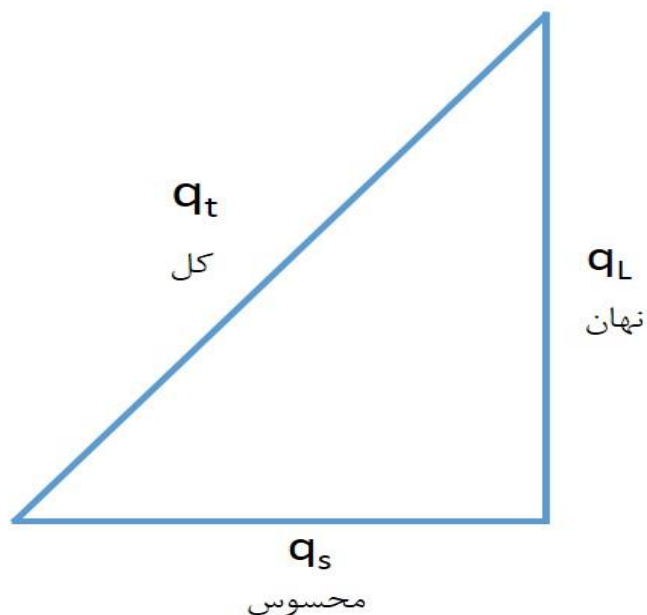
همین طور افزایش نسبت رطوبت است. بنابراین در این شرایط عمل گرمایش و رطوبت زنی صورت می گیرد و درست در خلاف جهت این پیکان، جهت جنوب شرقی قرار دارد که طی آن با کاهش گرمای محسوس و نهان و همین طور کاهش نسبت رطوبت روبرو هستیم، پس می توان گفت که در این شرایط عمل سرمایش به همراه رطوبت گیری صورت می گیرد. محور شمال شرقی افزایش نسبت رطوبت، کاهش گرمای محسوس و افزایش گرمای نهان را نشان می دهد. تحت این شرایط سرمایش تبخیری روی می دهد. پیکان جنوب غربی نمایانگر عملیات خشک کنی است. در این شرایط دمای خشک و گرمای محسوس افزایش یافته و نسبت رطوبت گرمای نهان کاهش می یابد [۲۳].



شکل ۵-۲: تغییر نقاط در نمودار سایکرومتریک [۲۳]

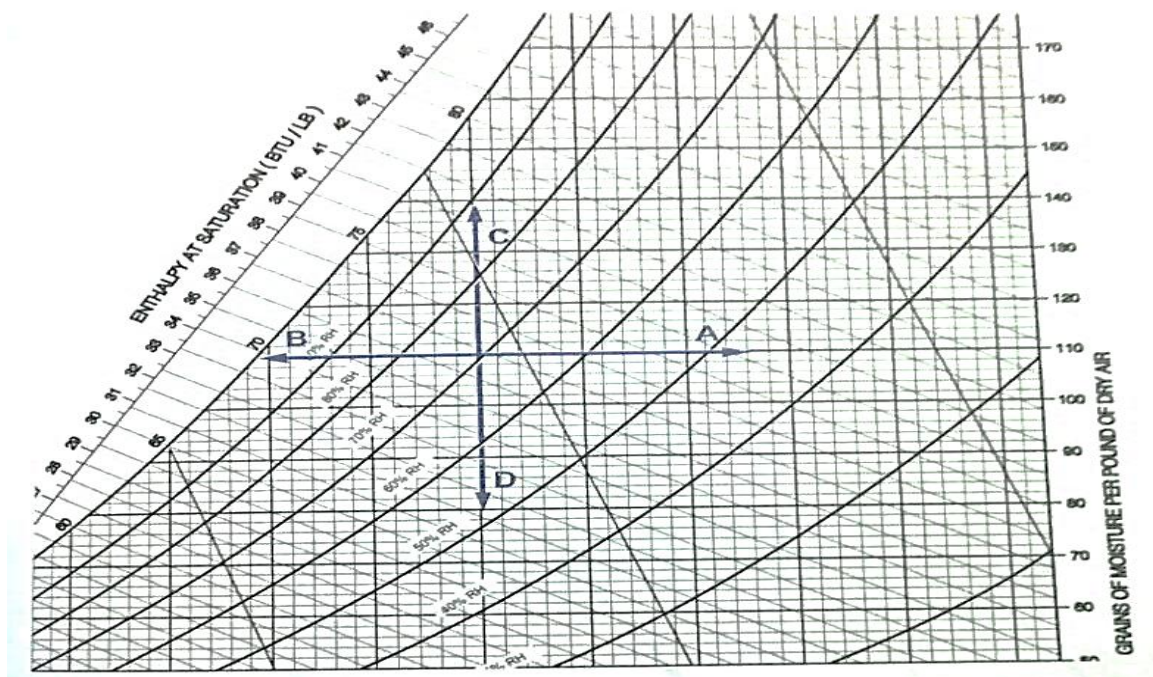
همچنین شکل ۳-۵ تغییرات گرما را نشان می دهد.

تغییرات گرما



شکل ۳-۵: تغییرات گرمای محسوس و نهان در نمودار سایکرومتریک [۲۳]

مطابق شکل ۴-۵ می توان تغییر نقاط در جهات مختلف را چنین تفسیر کرد. حرکت به سمت (A) یا شرق به معنی فرآیند گرمایشی است و همین طور حرکت در جهت (B) یا غرب به معنای سرمایش و حرکت در جهات (C) و (D) به ترتیب به معنای رطوبت زنی و رطوبت گیری است [۲۳].

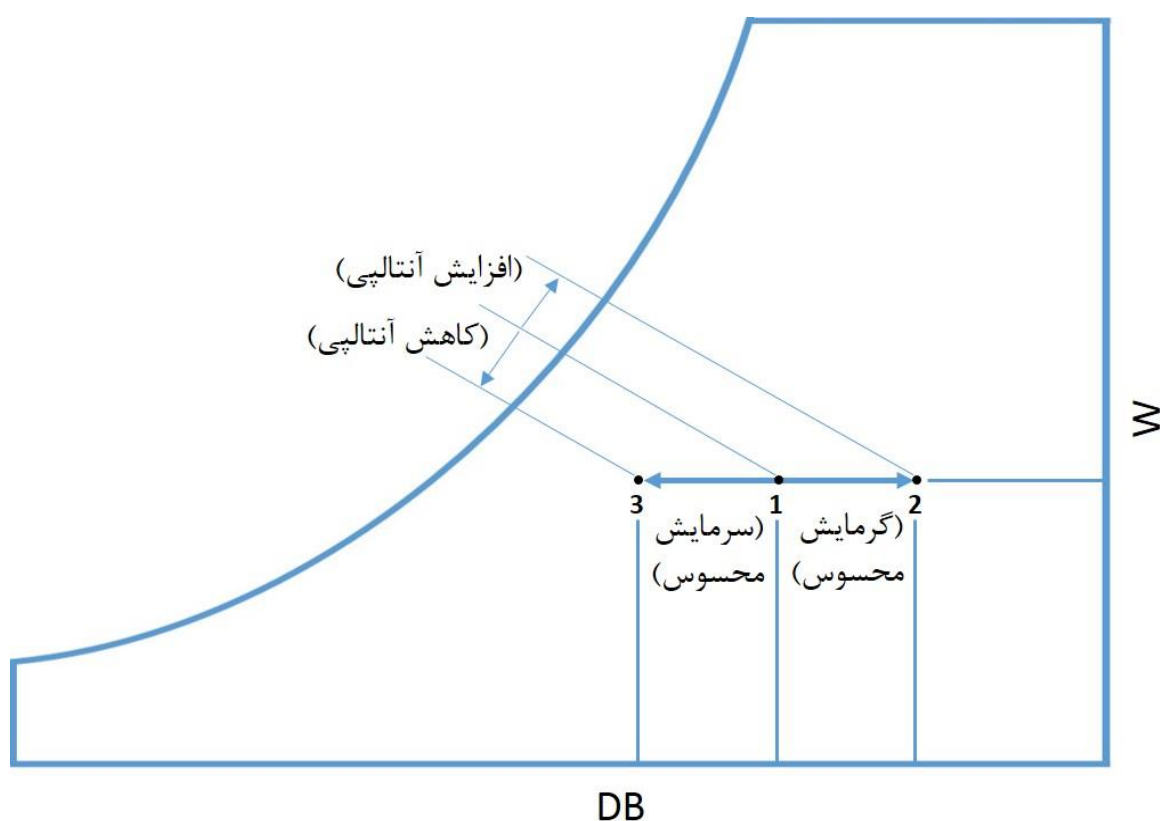


شکل ۴-۵: تغییر نقاط در جهت گرمایش (A)، سرمایش (B)، رطوبت زنی (C) و رطوبت گیری (D) [۲۳]

۵-۵-۱. تغییرات گرمای محسوس

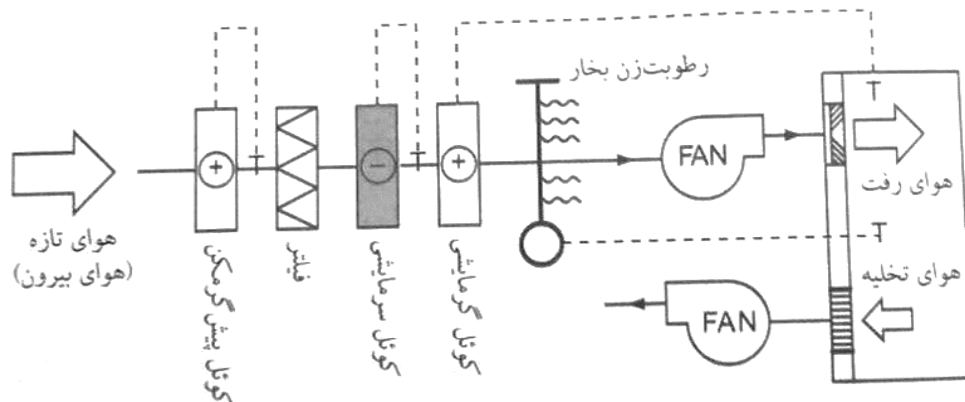
این فرآیند توام با کاهش یا افزایش دمای خشک است و در آن مقدار جرمی بخار آب یا به عبارت دیگر محتوی یا نسبت رطوبت تغییری نمی کند. بنابراین حرکت خط نمایشگر به موازات دمای خشک به صورت مستقیم باعث افزایش یا کاهش آنتالپی می شود. حرکت به سمت چپ که با کاهش دمای خشک و کاهش آنتالپی همراه است، به معنای فرآیند سرمایش محسوس و حرکت به سمت راست که با افزایش دمای خشک افزایش آنتالپی همراه است به معنای فرآیند گرمایش محسوس است [۲۳].

شکل ۵-۵ این فرآیند را نشان می دهد.



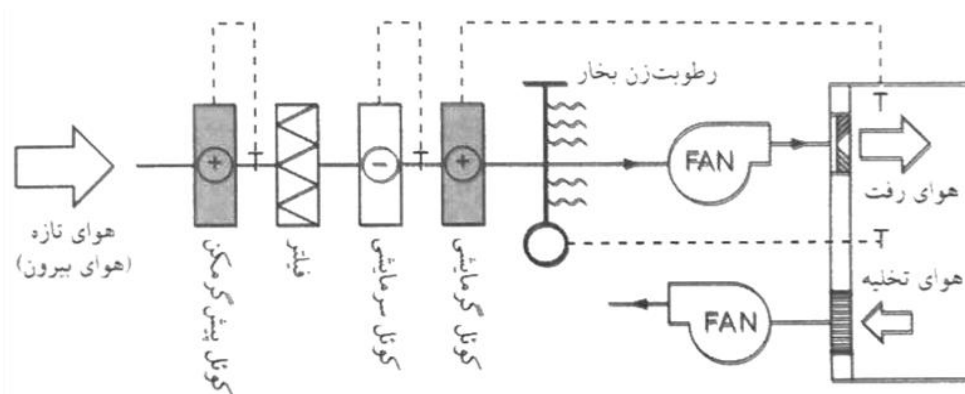
شکل ۵-۵: فرآیند سرمایش و گرمایش در نمودار سایکرومتریک [۲۳]

شکل ۵-۶ سیستم تهویه مطبوع حجم ثابت را برای تامین سرمایش نشان می دهد.



شکل ۵-۶: سیستم تهویه مطبوع حجم ثابت با صددرصد هوای تازه در شرایط تابستانی برای تامین سرمایش [۲۳]

همچنین شکل ۵-۷ سیستم تهویه مطبوع حجم ثابت را برای تامین گرمایش نشان می دهد.

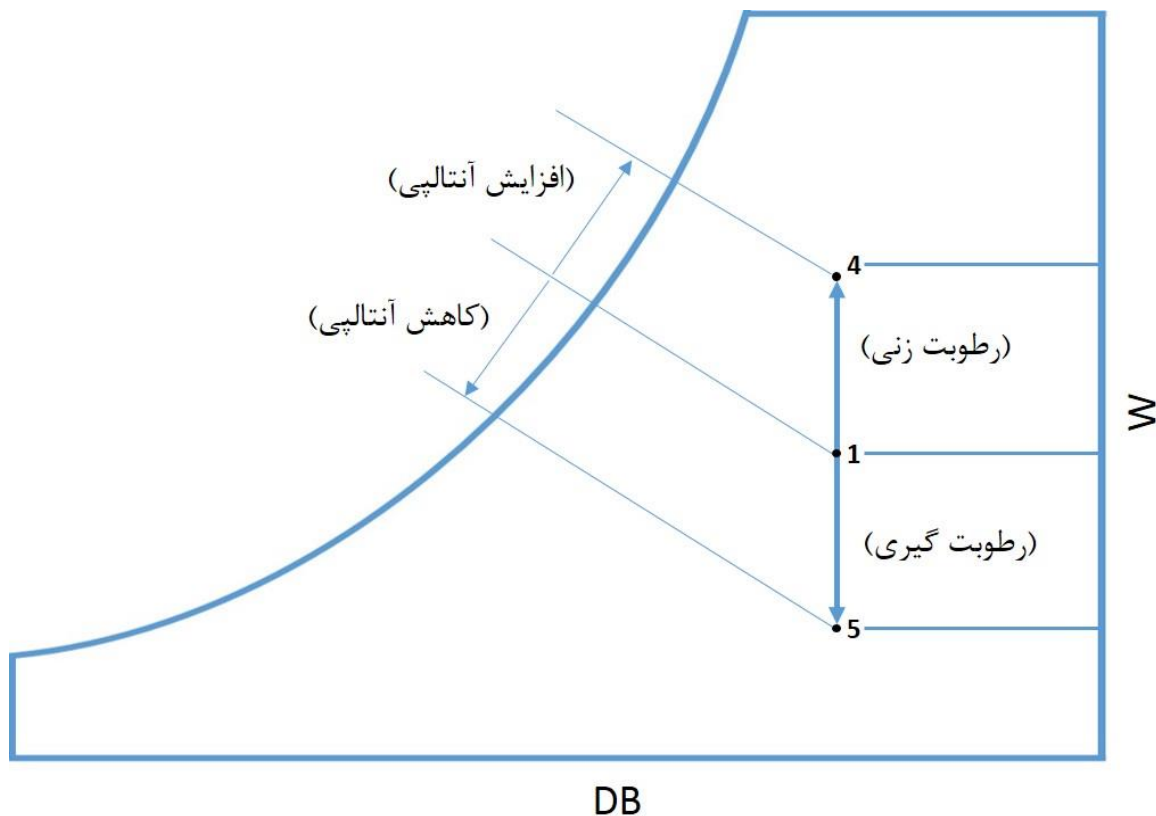


شکل ۵-۷: سیستم تهویه مطبوع حجم ثابت با صددرصد هوای تازه در شرایط زمستانی برای تامین گرمایش [۲۳]

۵-۵-۲. تغییرات گرمای نهان

این تغییرات در اثر رطوبت زنی یا رطوبت گیری روی می دهد. چنانچه بخار آب به هوا اضافه یا از آن کم شود، محتوی رطوبت یا نسبت رطوبت هوا تغییر نموده و گرمای نهان هوا به همان نسبت افزایش یا کاهش می یابد.

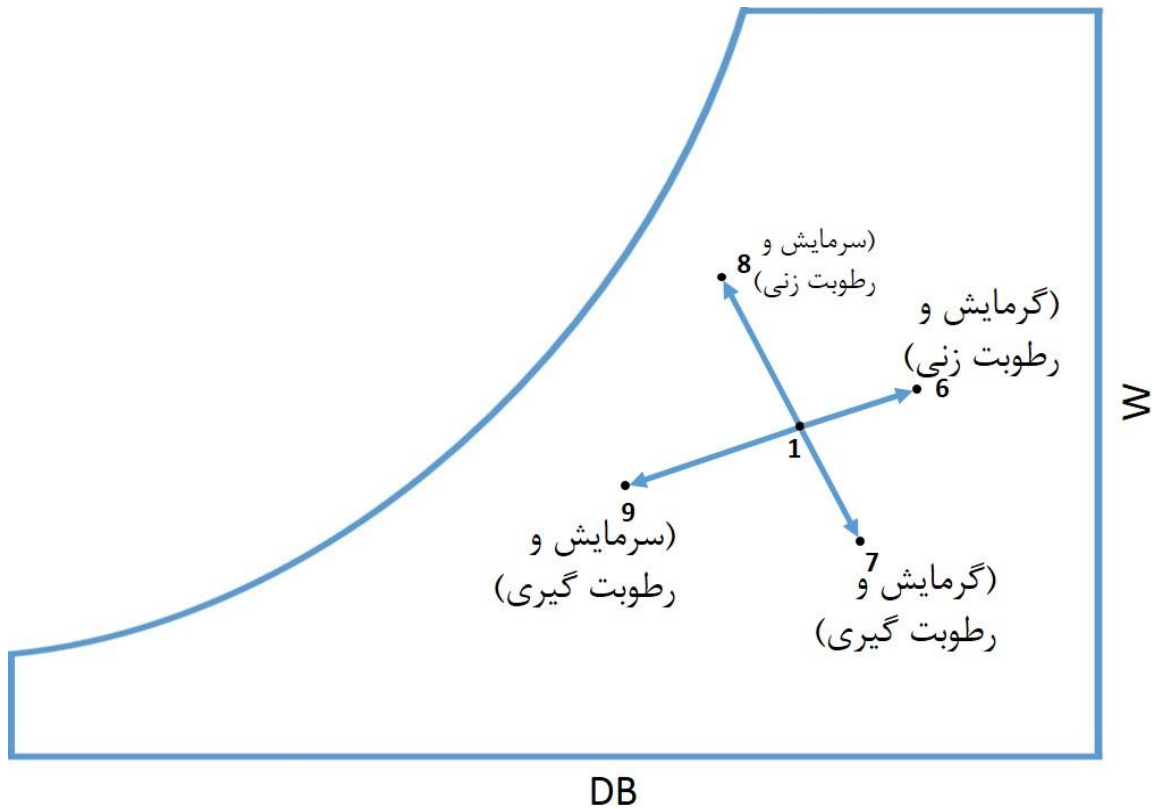
در شکل ۸-۵ پاره خط (۱-۴) نتیجه‌ی رطوبت زنی و پاره خط (۱-۵) نشانه رطوبت گیری است. به طور طبیعی با رطوبت زنی، آنتالپی افزایش یافته و با رطوبت گیری آنتالپی کاهش می‌یابد [۲۳].



شکل ۸-۵: فرآیند سرمایش و گرمایش در نمودار سایکرومتریک [۲۳]

۵-۵-۳. تغییرات گرمای محسوس و نهان

در بیشتر فرآیندهای گرمایشی و سرمایشی، اغلب گرمای محسوس و نهان به همراه هم تغییر می‌کنند و شرایط خاصی را به وجود می‌آورند. این فرآیندها در شکل ۹-۵ نشان داده شده‌اند. در این نمودار پاره‌خط (۱-۶) نمایشگر گرمایش محسوس به همراه رطوبت زنی است. بنابراین افزایش گرمای محسوس در راستای افزایش دمای خشک صورت گرفته است و در عین حال چون رطوبت هم افزایش یافته این خط به سمت بالا تمایل پیدا کرده است. سه پاره خط دیگر نیز به ترتیب نشان دهنده‌ی گرمایش و رطوبت گیری (پاره خط (۱-۷))، سرمایش و رطوبت زنی (پاره خط (۱-۸)) و سرمایش و رطوبت گیری (پاره خط (۱-۹)) می‌باشند [۲۳].



شکل ۵-۹: تغییرات گرمای محسوس و نهان به همراه رطوبت زنی و رطوبت گیری [۲۳]

۵-۴-۵. محاسبه تغییرات گرمای محسوس

برای محاسبه‌ی تغییرات گرمای محسوس به منظور گرمایش یا سرمایش برای هوای مرطوب می توان از رابطه‌ی زیر استفاده کرد:

$$Q_s = 0.24 * m_{da} * \Delta t \quad (۱-۵)$$

Q_s = گرمای محسوس اضافه یا کم شده‌ی هوا (Btu/hr)

m_{da} = وزن هوای خشک (lb/hr)

Δt = تغییرات دما (°F)

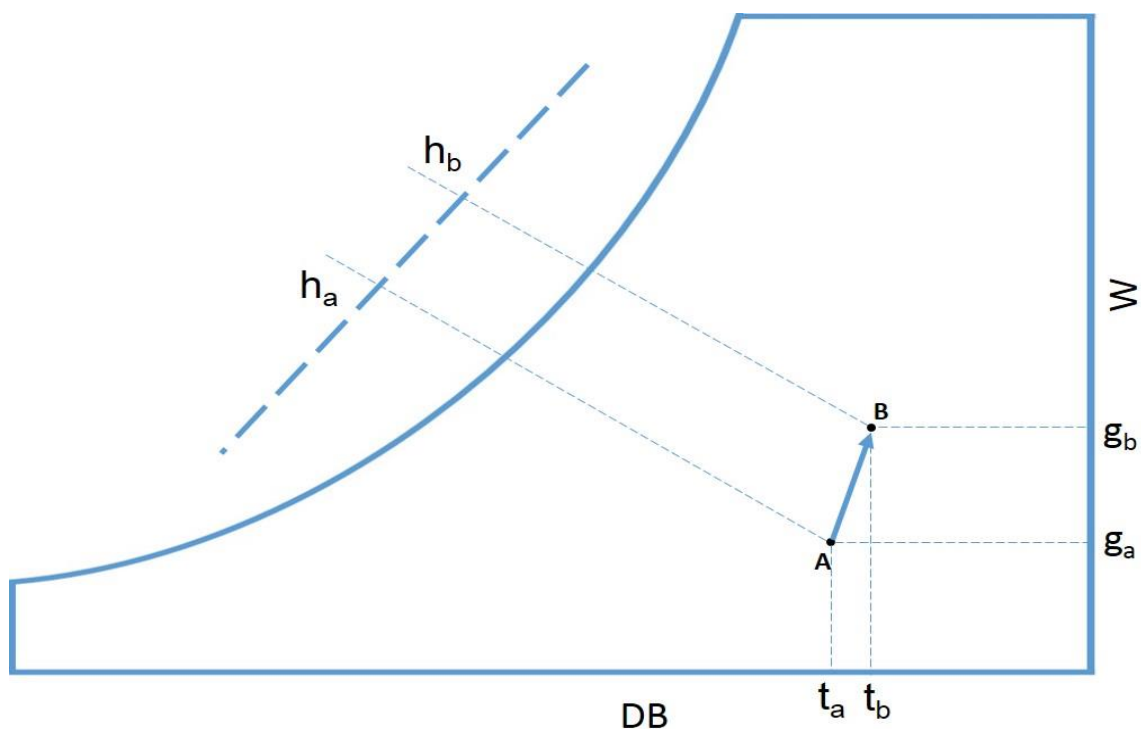
که عدد ۰,۲۴ گرمای ویژه‌ی هوا می باشد.

در عمل و به هنگام محاسبات تهویه مطبوع، مقدار هوا نه به صورت دبی جرمی بلکه به صورت دبی حجمی مورد توجه قرار می گیرد. بنابراین اغلب به جای واحد پوند در ساعت (lb/hr) از فوت مکعب در دقیقه (ft^3/min) یا (CFM) استفاده می شود. در این صورت باید یک تبدیل واحد از پوند در ساعت به فوت مکعب در دقیقه صورت گیرد. که در این صورت رابطه‌ی (۵-۱) به معادله‌ی زیر تبدیل می شود:

$$Q_s = 1.1 * CFM * (t_2 - t_1) \quad (۲-۵)$$

۵-۵-۵. محاسبه تغییرات گرمای نهان

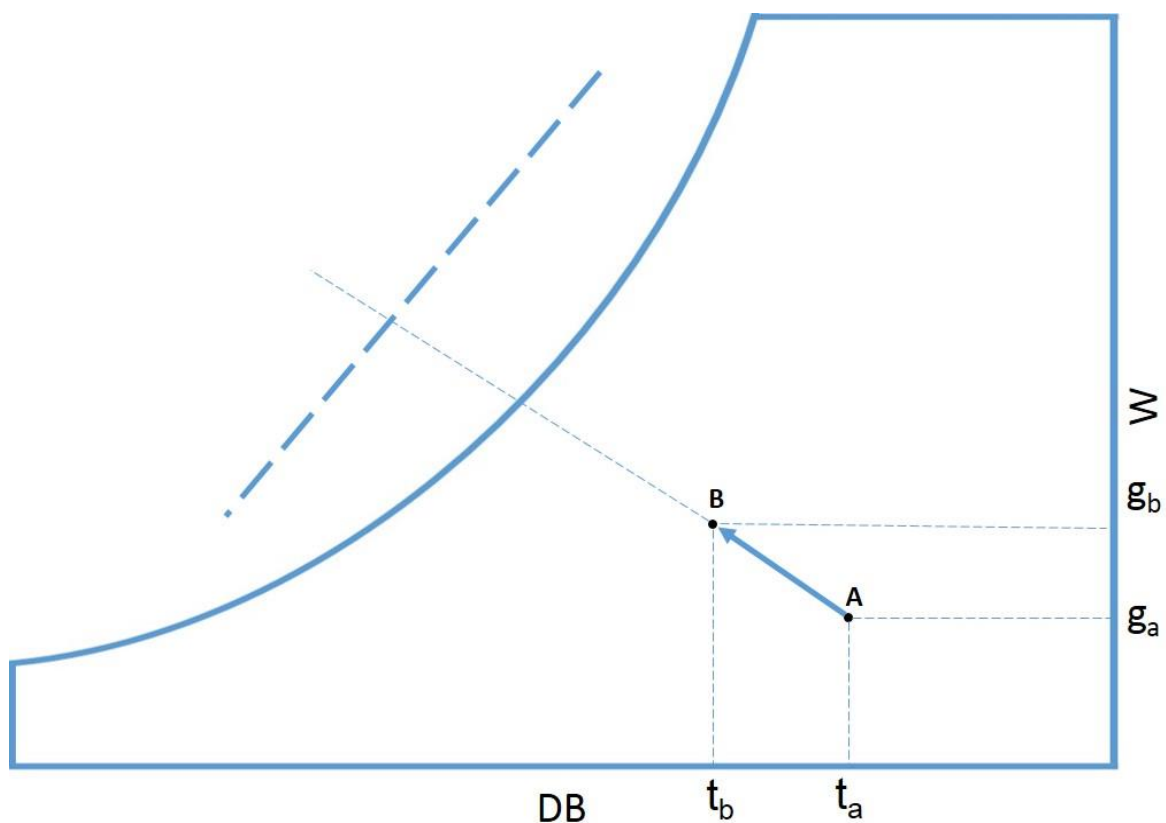
رطوبت زن‌ها ممکن است از نوع بخار آب خشک و یا آبی باشند. در فرآیندهای رطوبت‌زنی با بخار، فرآیند تقریباً ایزوترمال و با تغییر اندک دما همراه است. این تغییر دما در حدود یک درجه‌ی کلوین خواهد بود. به هر حال بخار از هوای عبوری گرم‌تر است و ممکن است باعث افزایش دما شود، اما این افزایش بسیار کم است، زیرا به طور معمول مقدار بخاری که به هوا اضافه می شود چندان زیاد نیست [۲۳].



شکل ۵-۱۰: نمودار رطوبت‌زنی با رطوبت‌زنی بخاری [۲۳]

همانگونه که در شکل ۵-۱۰ مشاهده می شود، عمل رطوبت زنی با بخار موجب افزایش گرمای نهان و تغییرات آنتالپی و نیز افزایش نسبت رطوبت (W) می شود و اندکی اختلاف دمای خشک نیز به وجود می آید که قابل اغماض است.

در رطوبت زن هایی که با پاشش آب کار می کنند، فرآیند تقریباً آدیاباتیک (بی دررو) است و آنتالپی ثابت باقی می ماند، یعنی نه گرمایی به سیستم وارد و نه از آن خارج می شود. در این گونه رطوبت زنی ضمن ثبات آنتالپی با محتوی گرمایی، دمای خشک کاهش می یابد و این به معنای کاهش گرمای محسوس است، اما از آنجا که به هوا بخار آب اضافه شده است، گرمای نهان افزایش می یابد. بنابراین در مجموع در گرمای کل یا آنتالپی تغییر محسوسی رخ نمی دهد. بنابراین می توان چنین فرآیندی را آدیاباتیک دانست. شکل ۵-۱۱ چنین فرآیندی را بر روی نمودار سایکرومتریک نمایش می دهد [۲۳].



شکل ۵-۱۱: نمودار رطوبت زنی با رطوبت زن آبی [۲۳]

همانگونه که در شکل فوق مشخص است، با تغییر نسبت رطوبت از g_a به g_b و کاهش دما از t_a به t_b ، گرمای نهان افزایش و گرمای محسوس کاهش یافته است. بنابراین آنتالپی یا گرمای کل ثابت باقی مانده است.

تغییرات گرمای نهان هوا حتماً به همراه اضافه یا کم شدن رطوبت یا بخار آب است. بنابراین مقدار جرمی بخار آب در هوا عامل اصلی در تعیین تغییرات گرمای نهان خواهد بود. برای محاسبه‌ی جرم بخار آب می‌توان از رابطه‌ی زیر استفاده کرد:

$$m_w = \frac{CFM * (W'_2 - W'_1)}{1556}$$

W' = نسبت رطوبت بر حسب (gr_w/lb_{da})

مشخص است که برای تبخیر آب به منظور رطوبت زنی نیازمند تامین گرما هستیم. گرمای نهان تبخیر آب در فرآیندهای تهویه‌ی مطبوع تقریباً 1055 Btu/lb در نظر گرفته می‌شود. بنابراین می‌توان رابطه‌ی فوق را بر حسب گرمای نهان چنین نوشت:

$$Q_L = 1055 * \frac{CFM * (W'_2 - W'_1)}{1556}$$

$$\rightarrow Q_L = 0.68 * CFM * (W'_2 - W'_1) \quad (3-5)$$

Q_L = تغییر گرمای نهان (Btu/lb)

$W'_2 - W'_1$ = اختلاف نسبت رطوبت (gr_w/lb_{da})

۵-۵-۶. محاسبه تغییرات همزمان گرمای محسوس و نهان

در بسیاری از فرآیندهای تهویه‌ی مطبوع گرمای محسوس و نهان توأم با هم تغییر می‌کنند. یک نوع از این تغییرات مربوط به فرآیند سرمایش به همراه رطوبت گیری است. در برخی شرایط لازم می‌شود که

برای تامین آسایش، گرمای نهان و محسوس هر دو کاهش یابند در این صورت باید هوا سرد و رطوبت گیری شود. برای تعیین هر یک از مقادیر گرمای محسوس و نهان می توان از روابط (۲-۵) و (۳-۵) استفاده کرد. جمع این دو مقدار گرمای کاهش یافته را نشان می دهد [۲۳].

$$Q_t = Q_s + Q_l \quad (۴-۵)$$

Q_t = گرمای کل ، Q_s = گرمای محسوس ، Q_l = گرمای نهان

۵-۶. محاسبه ظرفیت کلی تجهیزات

لازم است که ظرفیت کلی تجهیزات سرمایش، گرمایش، رطوبت ساز و رطوبت گیر را برای منطقه مورد مطالعه تعیین نمائیم.

ما در این تحقیق شهر مشهد را انتخاب کردیم. برای تعیین ظرفیت تجهیزات، بیشترین و کمترین دما و رطوبت را در سه سال متوالی ۱۳۹۲، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ از آمارنامه شهر مشهد استخراج می نمائیم. هدف از این کار این است که سیستم بتواند در بدترین شرایط آب و هوایی بر بارهای گرمایی و سرمایی غلبه کند و شرایط راحتی را بوجود آورد.

جدول ۵-۶: بیشینه و کمینه دما و رطوبت در سال های ۱۳۹۲، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در شهر مشهد [۲۶]

سال	بیشینه دما (°C)	کمینه دما (°C)	بیشینه رطوبت (%)	کمینه رطوبت (%)
سال ۱۳۹۴	۳۶/۸	- ۰/۸	۸۶/۶	۹/۵
سال ۱۳۹۳	۳۶/۴	۰,۵	۹۴	۸
سال ۱۳۹۲	۳۵	-۵/۳	۸۸	۱۲

بنابراین حداکثر و حداقل دما و رطوبت را به صورت زیر انتخاب می کنیم:

$$T_{\max} = 37 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad , \quad T_{\min} = -6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$RH_{\max} = 95 \% \quad , \quad RH_{\min} = 8 \%$$

۵-۶-۱. ظرفیت سیستم سرمایش

با استفاده از رابطه‌ی (۵-۲) ظرفیت سیستم سرمایش را بدست می آوریم. برای تمامی سیستم ها دبی هوای رفت را ۱۰۰۰ CFM انتخاب می نمائیم.

دمای خارج اتاق = ۳۷ درجه‌ی سانتیگراد ، دمای طرح داخل = ۲۳ درجه‌ی سانتیگراد

دبی هوای رفت = ۱۰۰۰ CFM

$$Q_s = 1.1 * CFM * (t_2 - t_1) = 1.1 * 1000 * (73.4 - 98.6) = -27720$$

$$\rightarrow Q_s \cong -28000 \text{ Btu/h} \cong -8.2 \text{ kw}$$

علامت منفی نشان دهنده‌ی این است که سیستم گرما از دست داده است.

۵-۶-۲. ظرفیت سیستم گرمایش

مجدداً با استفاده از رابطه‌ی (۵-۲) ظرفیت سیستم گرمایش را بدست می آوریم.

دمای خارج اتاق = ۶- درجه‌ی سانتیگراد ، دمای طرح داخل = ۲۳ درجه‌ی سانتیگراد

دبی هوای رفت = ۱۰۰۰ CFM

$$Q_s = 1.1 * CFM * (t_2 - t_1) = 1.1 * 1000 * (73.4 - 21.2) = +57420$$

$$\rightarrow Q_s \cong +57500 \text{ Btu/h} \cong +16.8 \text{ kw}$$

۵-۶-۳. ظرفیت سیستم رطوبت ساز

رطوبت خارج اتاق = ۸ درصد ، رطوبت طرح داخل = ۵۰ درصد ، دبی هوای رفت = ۱۰۰۰ CFM
ابتدا با استفاده از نمودار سایکرومتریک نسبت رطوبت را در دمای ۲۳ درجه‌ی سانتیگراد و رطوبت ۵۰ درصد و ۸ درصد بدست می آوریم.

$$W'_2 = 62 \text{ gr/lb} \quad , \quad W'_1 = 12 \text{ gr/lb}$$

با استفاده از رابطه‌ی (۳-۵) داریم :

$$Q_L = 0.68 * CFM * (W'_2 - W'_1) = 0.68 * 1000 * (62 - 12)$$

$$\rightarrow Q_L = +34000 \text{ Btu/h} \cong +10 \text{ kw}$$

۵-۶-۴. ظرفیت سیستم رطوبت گیر

رطوبت خارج اتاق = ۹۵ درصد ، رطوبت طرح داخل = ۵۰ درصد ، دبی هوای رفت = ۱۰۰۰ CFM
مشابه قبل با استفاده از نمودار سایکرومتریک نسبت رطوبت را در دمای ۲۳ درجه‌ی سانتیگراد و رطوبت ۵۰ درصد و ۹۵ درصد بدست می آوریم.

$$W'_2 = 62 \text{ gr/lb} \quad , \quad W'_1 = 120 \text{ gr/lb}$$

$$Q_L = 0.68 * CFM * (W'_2 - W'_1) = 0.68 * 1000 * (62 - 120)$$

$$\rightarrow Q_L \cong -39500 \text{ Btu/h} \cong -11.6 \text{ kw}$$

۵-۷. خروجی‌های سیستم فازی

اکنون برای بررسی کامل سیستم فازی، می خواهیم با وارد کردن داده های واقعی در یک روز، خروجی های سیستم فازی را بدست آوریم.

مفروضات مسئله به قرار زیر است: ۱- سنسورها ایده آل هستند. ۲- دما و رطوبت اولیه‌ی اتاق با دما و رطوبت محیط یکسان است.

ما برای این کار داده‌های واقعی را از سایت هواشناسی <https://www.accuweather.com> در روز هشتم شهریور سال جاری در شهر مشهد مقدس استخراج نموده و به صورت زیر عمل می‌کنیم.

ورودی‌هایی مورد نیاز عبارت‌اند از: وضعیت اتاق، فصل، وضعیت آب و هوا، دما، رطوبت و نور محیط. ورودی‌های فصل، وضعیت آب و هوا، دما و رطوبت را در ساعت ۱۲ قبل از ظهر در m-file وارد نموده، هم‌چنین وضعیت اتاق و نور محیط را به نحو مناسب وارد می‌کنیم. سپس با توجه به خروجی‌های سیستم فازی میزان ظرفیت موردنیاز هر یک از سیستم‌های سرمایش، گرمایش، رطوبت‌ساز و رطوبت‌گیر را استخراج نموده و دما و رطوبت ساعت بعدی (ساعت ۱ بامداد) را بدست می‌آوریم.

به همین ترتیب دما و رطوبت اتاق را به طور دستی برای ۲۴ ساعت شبانه روز استخراج می‌نمائیم.

در عمل این سیستم ۳ نوع ورودی می‌پذیرد: ۱- ورودی وضعیت اتاق از طرف کاربر (user)

۲- ورودی‌های فصل و وضعیت آب و هوا از تقویم (calendar)

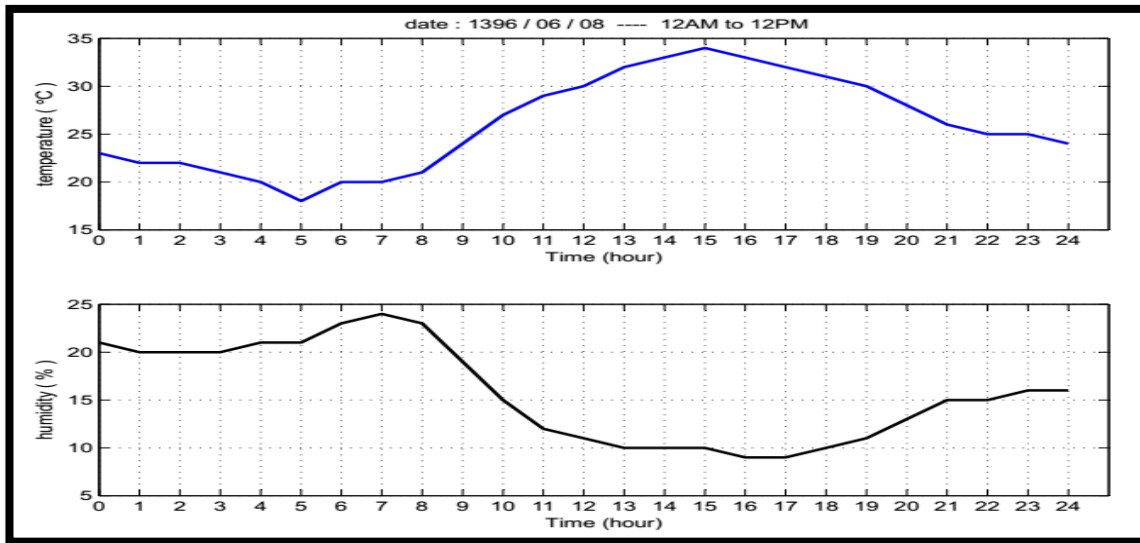
۳- ورودی‌های دما، رطوبت و نور محیط از سنسورهای تعبیه شده در اتاق (sensor).

وضعیت اتاق را به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

از ساعت ۰ بامداد الی ۷ صبح: خواب، از ساعت ۷ الی ۱۰ صبح: عادی، از ساعت ۱۰ الی ۱۳: خالی،

از ساعت ۱۳ الی ۲۲: عادی، از ساعت ۲۲ شب به بعد خواب.

ورودی‌های دما و رطوبت خارج اتاق را در شکل زیر مشاهده می‌نمائیم.



شکل ۵-۱۲: ورودی دما و رطوبت خارج اتاق در تاریخ ۱۳۹۶/۰۶/۰۸

ابتدا خروجی های سیستم فازی (میزان ظرفیت هر یک از تجهیزات) را با توجه به قوانین کنترلی در ساعت ۰ بامداد دست آورده و دما و رطوبت در یک ساعت بعدی را با توجه به معادلات بدست می آوریم.

بنابراین مسئله به شکل زیر خواهد بود:

دمای داخل اتاق = ۲۳ درجه ی سانتیگراد ، رطوبت داخل اتاق = ۲۱ درصد

سیستم های فعال : سیستم سرمایش با ۱/۴ ظرفیت کل خود یعنی :

$$Q_S = -7000 \text{ Btu/h}$$

سیستم رطوبت ساز با ۱/۲ ظرفیت کل خود یعنی :

$$Q_L = +17000 \text{ Btu/h}$$

بنابراین خواهیم داشت :

$$-7000 = 1.1 * 1000 * (t_2 - 73.4) \quad \rightarrow \quad t_2 = 67.03 \text{ }^\circ\text{F}$$

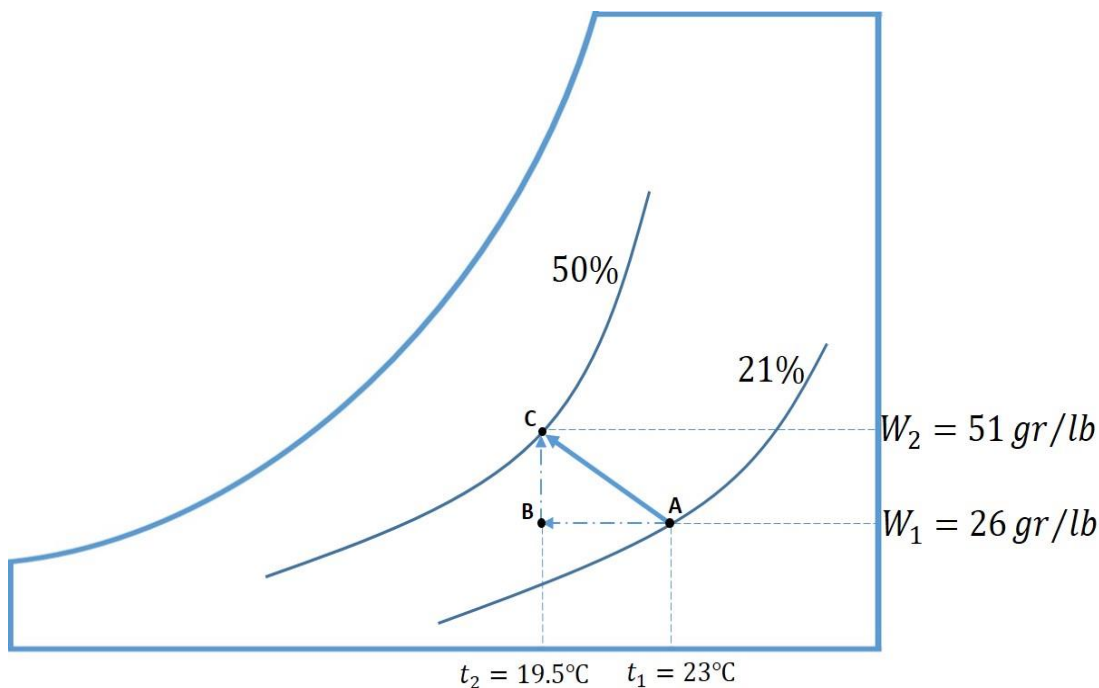
$$\rightarrow t_2 \cong 19.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

اکنون می خواهیم رطوبت نسبی را بدست بیاوریم. ابتدا باید تغییرات نسبت رطوبت را بیابیم. داریم:

$$+17000 = 0.68 * 1000 * (W'_2 - 26) \quad \rightarrow \quad W'_2 = 51 \text{ gr/lb}$$

حال با استفاده از نمودار سایکرومتریک می‌توانیم میزان تغییرات گرما را بدست آوریم. تغییرات گرمای محسوس و نهان در شکل ۵-۱۳ به نمایش درآمده است.

ابتدا نقطه‌ی A را که نشان دهنده‌ی وضعیت اولیه‌ی اتاق است مشخص می‌کنیم. سپس با توجه به دمای ثانویه اتاق، خط (A-B) را رسم می‌نمائیم. با توجه به نسبت رطوبت ثانویه اتاق و دمای ثانویه، نقطه‌ی C بدست می‌آید که رطوبت نسبی ۵۰ درصد را نشان می‌دهد.

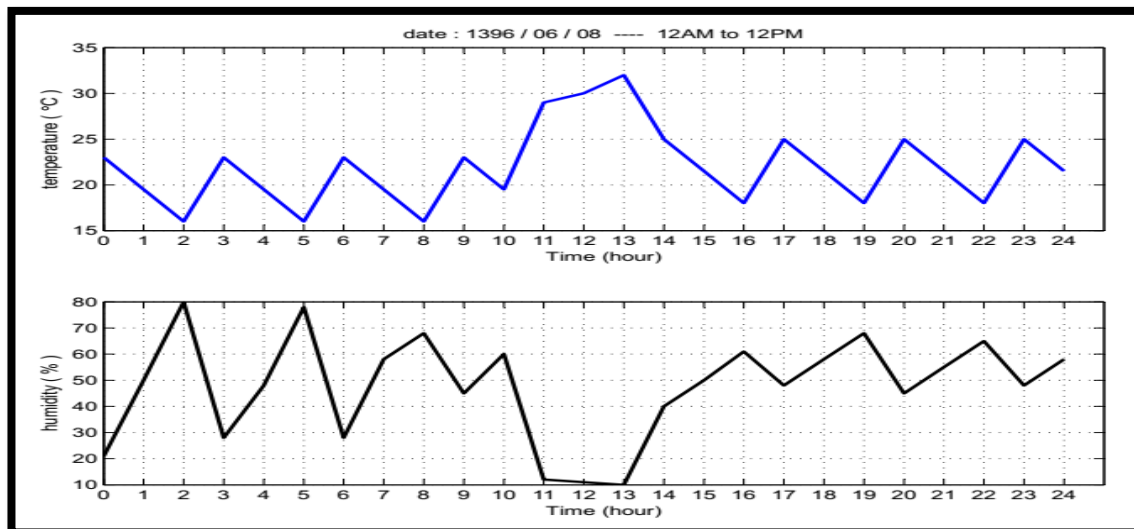


شکل ۵-۱۳: تغییرات گرمای محسوس و نهان اتاق بعد از اعمال سیستم سرمایش و رطوبت ساز

بنابراین دما و رطوبت اتاق در ساعت ۱ بامداد به ترتیب زیر است :

$$t_2 \cong 19.5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad , \quad RH(\%) = 50 \%$$

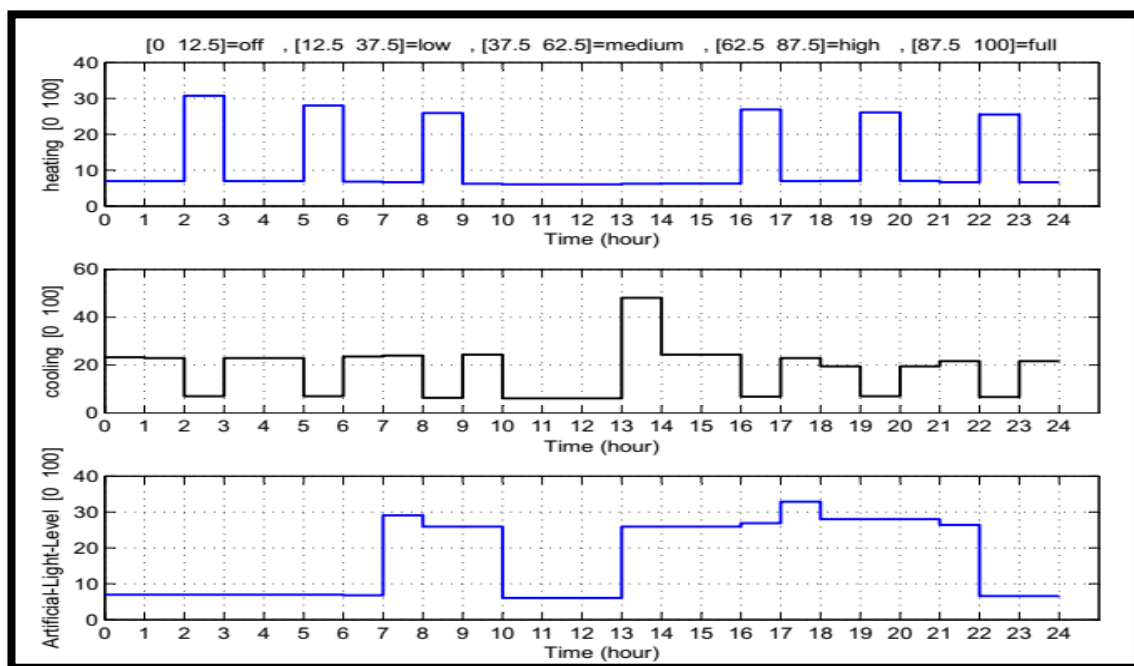
مجدداً برای ساعت بعدی به همین ترتیب ابتدا ظرفیت موردنیاز را با استفاده از سیستم فازی تعیین نموده و سپس دما و رطوبت اتاق را بدست می‌آوریم. شکل ۵-۱۴ دما و رطوبت اتاق را برای ۲۴ ساعت شبانه روز نشان می‌دهد.



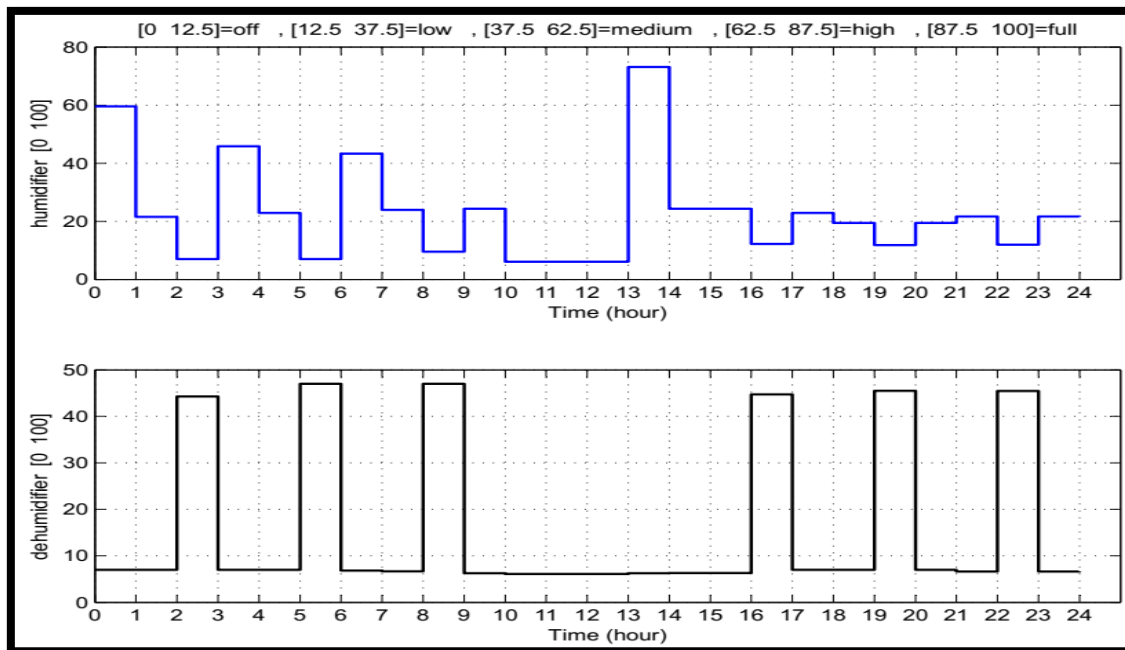
شکل ۵-۱۴: نمودار دما و رطوبت اتاق با اعمال سیستم هوشمند فازی

با توجه به اینکه اتاق بین ساعات ۱۰ الی ۱۳ خالی می باشد، فرض شده است که در این ساعات دما و رطوبت اتاق با دما و رطوبت بیرون برابر می شود.

خروجی های سیستم فازی نیز به صورت زیر می باشند. توجه نمائیم که تمام خروجی ها دارای مقداری بین ۰ تا ۱۰۰ می باشند و به ۵ تابع عضویت off, low, medium, high و full تقسیم شده اند.



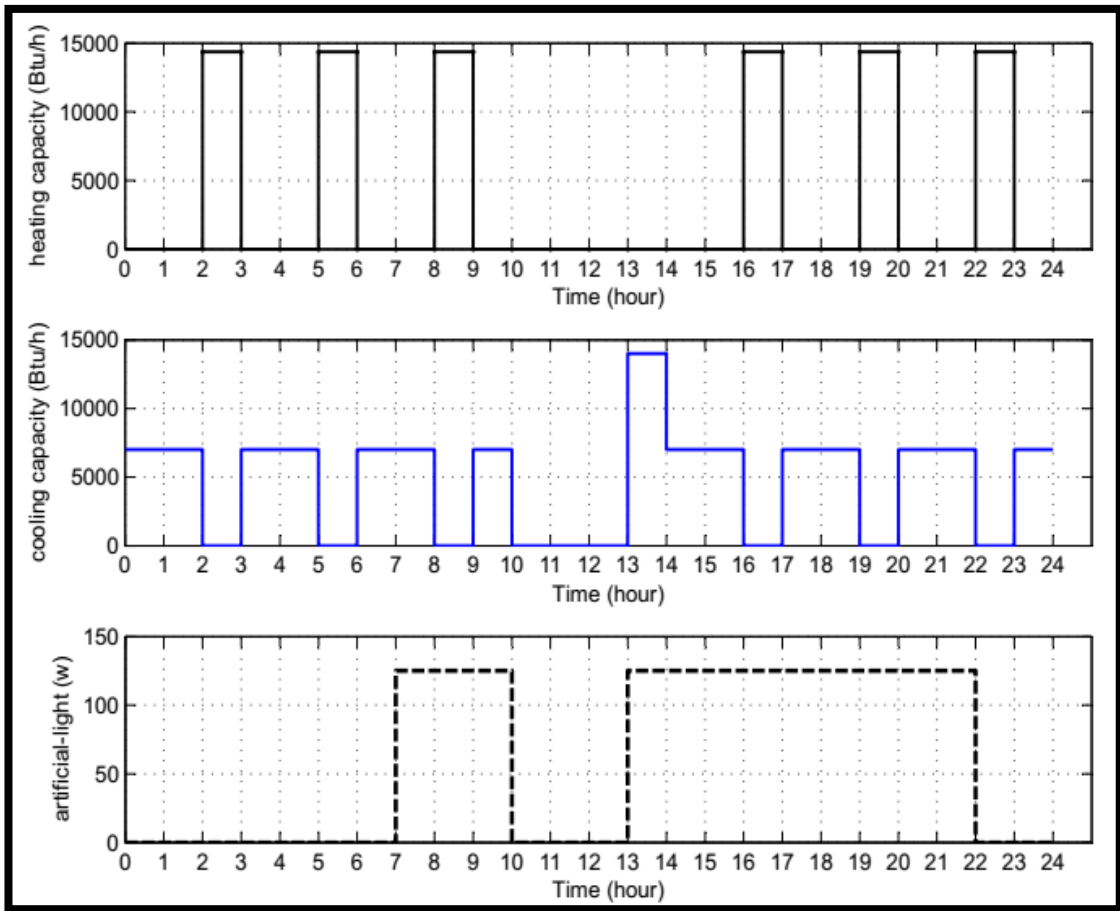
شکل ۵-۱۵: خروجی های گرمایش، سرمایش و نور مصنوعی سیستم فازی



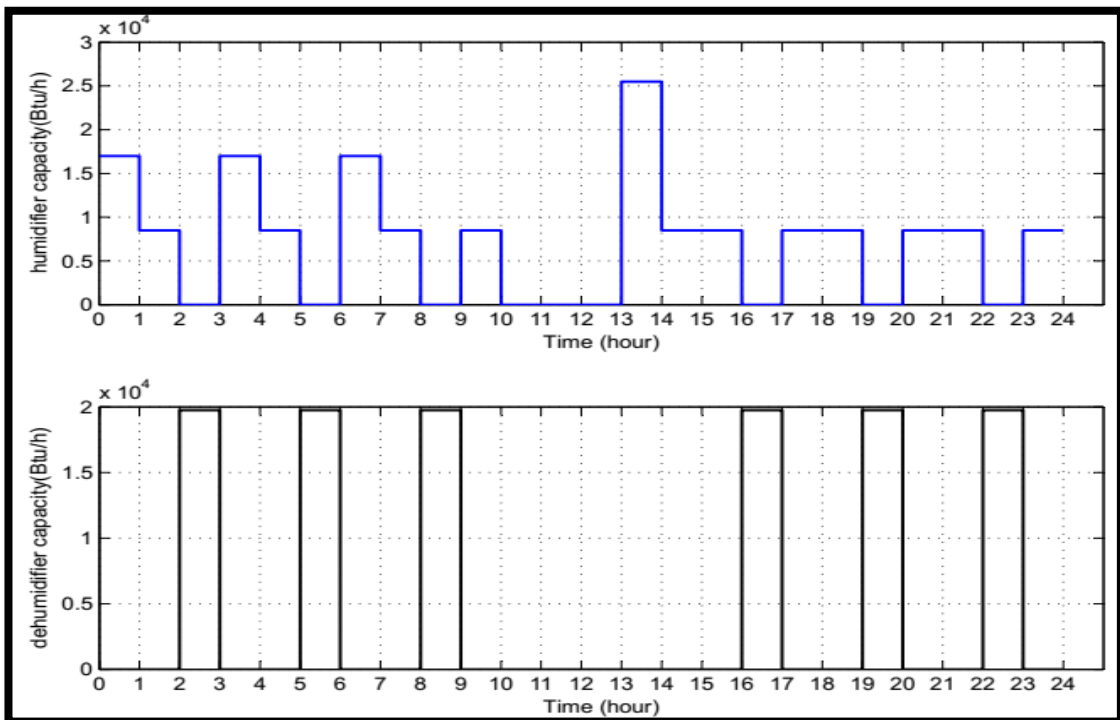
شکل ۵-۱۶: خروجی های رطوبت ساز و رطوبت گیر سیستم فازی

۵-۸. انرژی مصرفی تجهیزات در سیستم فازی

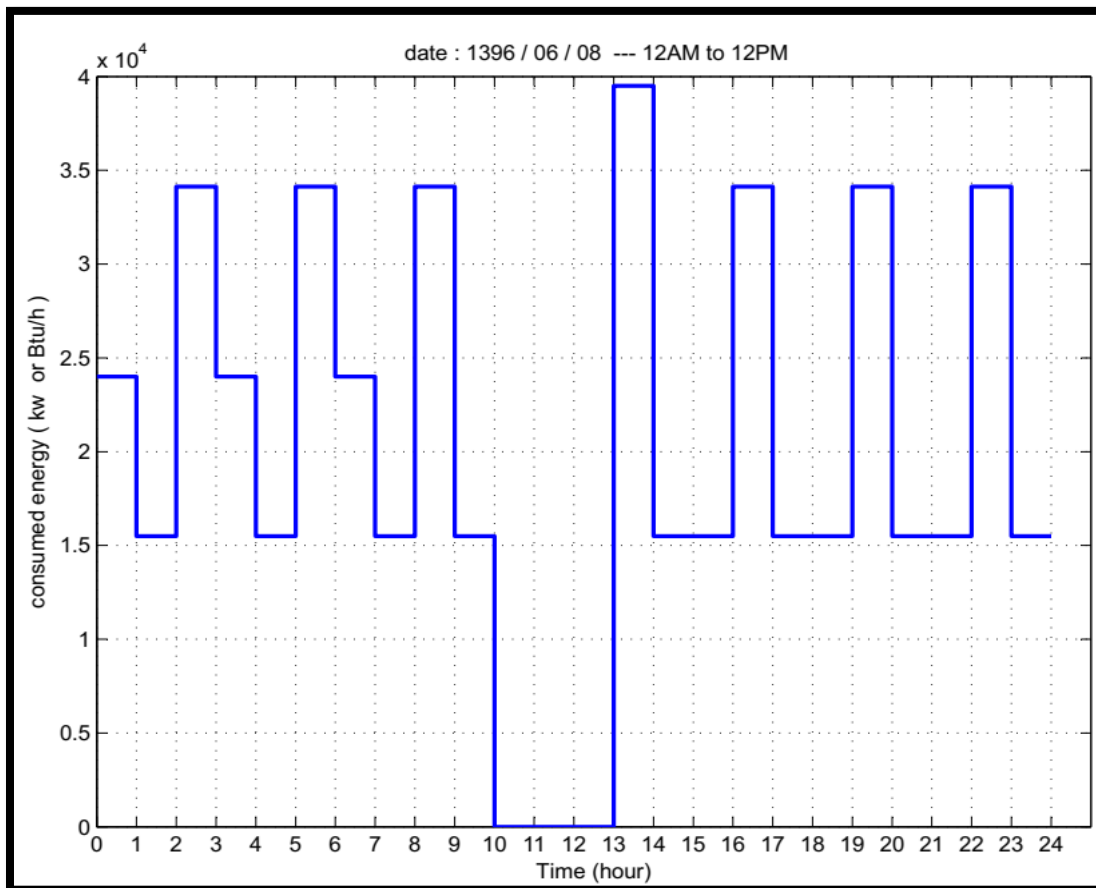
در این قسمت میزان انرژی مصرفی تمامی تجهیزات و مصرف انرژی کل را محاسبه می نمائیم. محاسبه ظرفیت سیستم ها به این صورت است که: اگر تابع عضویت low باشد یعنی $1/4$ ظرفیت کل سیستم فعال است. اگر تابع عضویت medium باشد یعنی $1/2$ ظرفیت کل سیستم فعال است. اگر تابع عضویت high باشد یعنی $3/4$ ظرفیت کل سیستم فعال است و اگر تابع عضویت سیستم full باشد یعنی کل ظرفیت سیستم در حال استفاده است. بنابراین میزان انرژی مصرفی هر یک از سیستم ها در شکل های ۵-۱۷ و ۵-۱۸ ترسیم شده اند.



شکل ۵-۱۷: میزان انرژی مصرفی توسط سیستم سرمایش، گرمایش و نور مصنوعی



شکل ۵-۱۸: میزان انرژی مصرفی توسط سیستم رطوبت ساز و رطوبت گیر



شکل ۵-۱۹: میزان انرژی مصرفی کل

شکل ۵-۱۹ میزان انرژی مصرفی کل را نشان می‌دهد.

۵-۹. کنترل ON-OFF

برای نشان دادن برتری کنترل کننده‌ی فازی، کنترل کننده‌ی ON-OFF را انتخاب می‌کنیم و نتایج را با این کنترل کننده مقایسه می‌کنیم.

قوانین کنترل کننده‌ی ترموستاتی را به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

اگر دما کمتر از ۲۰ درجه‌ی سانتیگراد باشد و وضعیت اتاق "empty" نباشد، سیستم گرمایش به میزان لازم فعال خواهد شد و در غیر اینصورت خاموش خواهد بود.

اگر دما بیشتر از ۲۵ درجه‌ی سانتیگراد باشد و وضعیت اتاق "empty" نباشد، سیستم سرمایش به میزان لازم فعال خواهد شد و در غیر اینصورت خاموش خواهد بود.

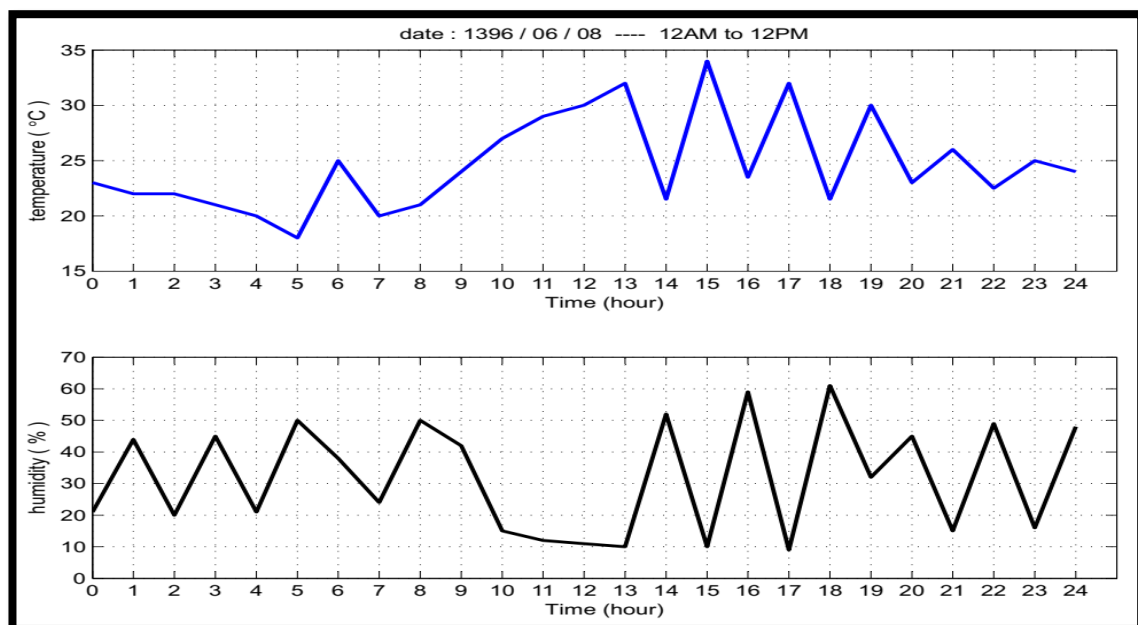
اگر رطوبت کمتر از ۳۰ درصد باشد و وضعیت اتاق "empty" نباشد، سیستم رطوبت ساز به میزان لازم فعال خواهد شد و در غیر اینصورت خاموش خواهد بود.

اگر رطوبت بیشتر از ۶۰ درصد باشد و وضعیت اتاق "empty" نباشد، سیستم رطوبت گیر به میزان لازم فعال خواهد شد و در غیر اینصورت خاموش خواهد بود.

و همچنین اگر روشنایی اتاق کمتر از ۳۰۰ لوکس باشد و وضعیت اتاق "normal" باشد، سیستم روشنایی مصنوعی به میزان لازم فعال خواهد شد و در غیر اینصورت خاموش خواهد بود.

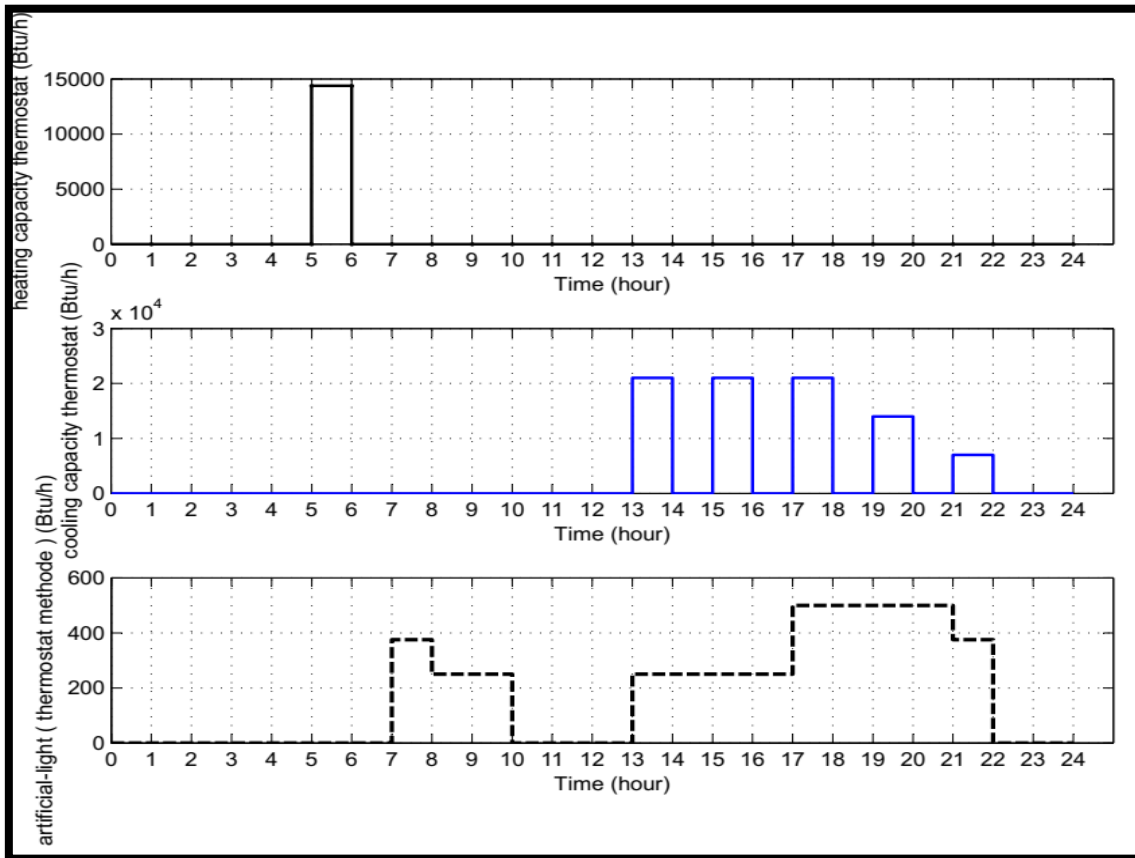
مشابه سیستم فازی ابتدا دما و رطوبت اتاق را همان دما و رطوبت خارج در نظر میگیریم و با توجه به قوانینی که برای کنترل on-off تعریف نمودیم ظرفیت هر یک از تجهیزات را بدست می آوریم و سپس دما و رطوبت اتاق را تعیین می نمائیم.

دما و رطوبت اتاق با اعمال سیستم کنترل on-off در شکل ۵-۲۰ آمده است.



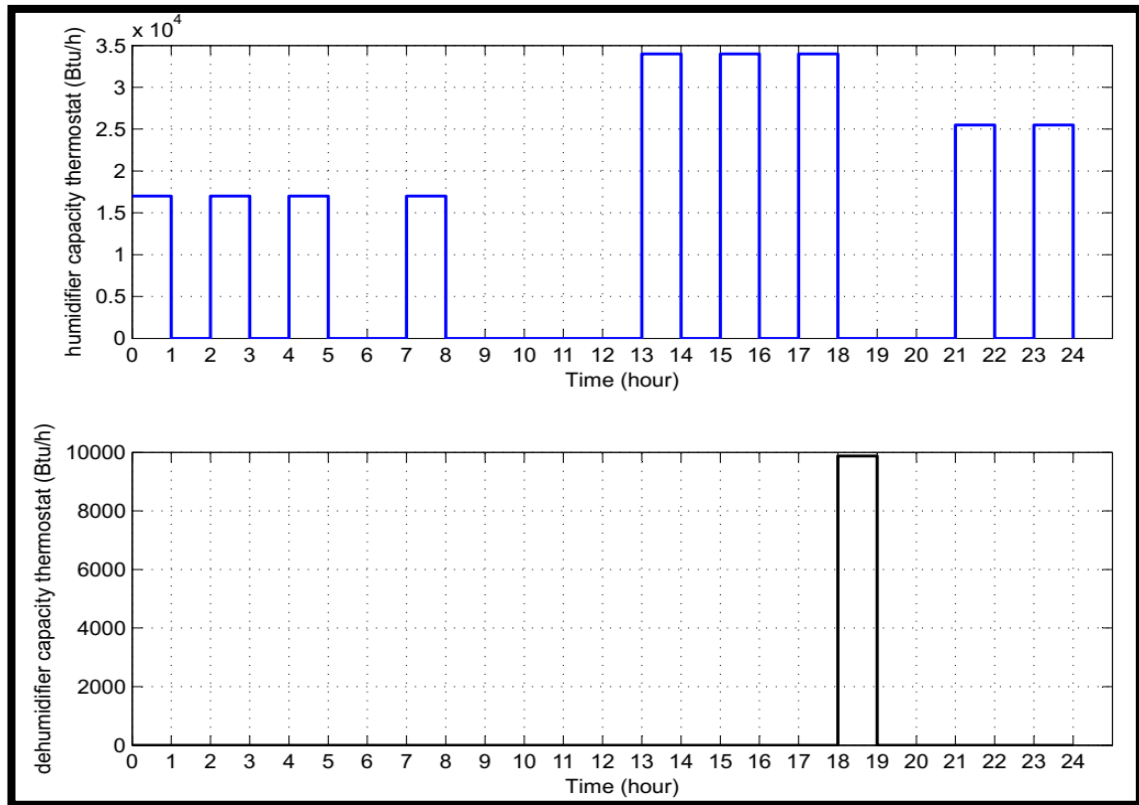
شکل ۵-۲۰: نمودار دما و رطوبت اتاق با اعمال سیستم on-off

هم چنین میزان مصرف انرژی سیستم های سرمایش، گرمایش و نور مصنوعی را در شکل ۵-۲۱ مشاهده می نمائیم.



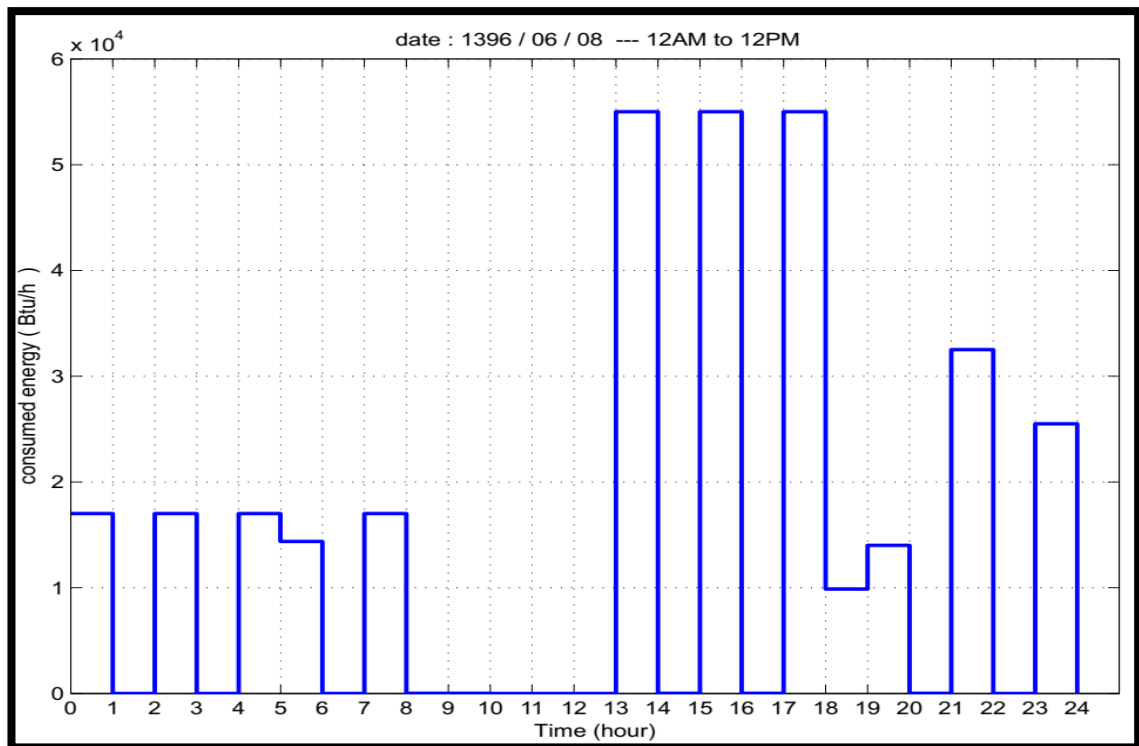
شکل ۵-۲۱: میزان انرژی مصرفی توسط سیستم گرمایش، سرمایش و نور مصنوعی

در شکل ۵-۲۲ نیز مصرف انرژی سیستم های رطوبت ساز و رطوبت گیر را در ۲۴ ساعت شبانه روز ملاحظه می کنیم.



شکل ۵-۲۲: میزان انرژی مصرفی توسط سیستم رطوبت ساز و رطوبت گیر

در شکل ۵-۲۳ مصرف انرژی کل تمامی تجهیزات قابل مشاهده است.

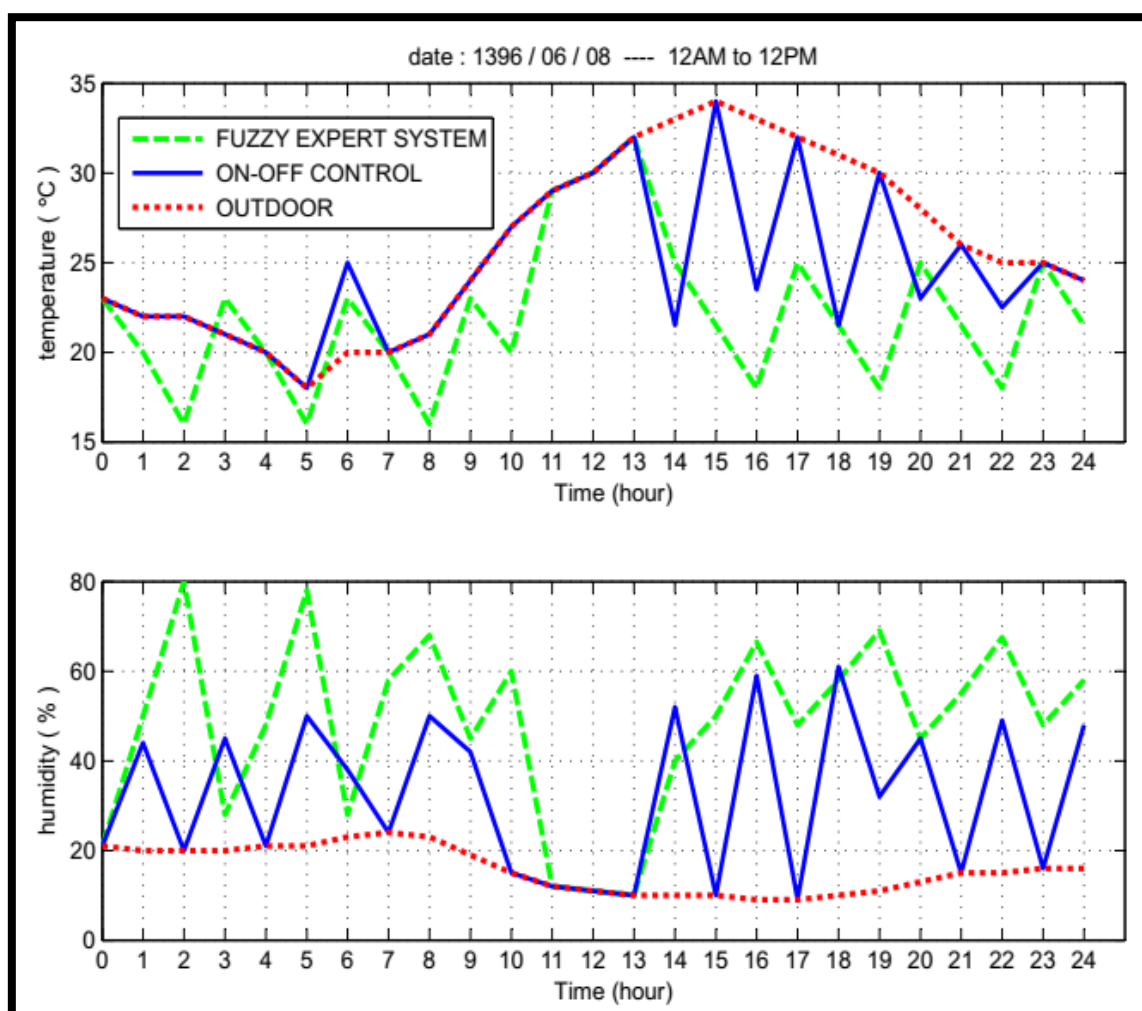


شکل ۵-۲۳: میزان انرژی مصرفی کل

۵-۱۰. مقایسه سیستم خبره فازی و سیستم کنترل ON-OFF

اکنون نوبت مقایسه‌ی دو سیستم کنترلی می باشد. در شکل ۵-۲۴ دما و رطوبت اتاق با اعمال سیستم خبره‌ی فازی و کنترل ON-OFF و همچنین با دما و رطوبت بیرون مقایسه شده است.

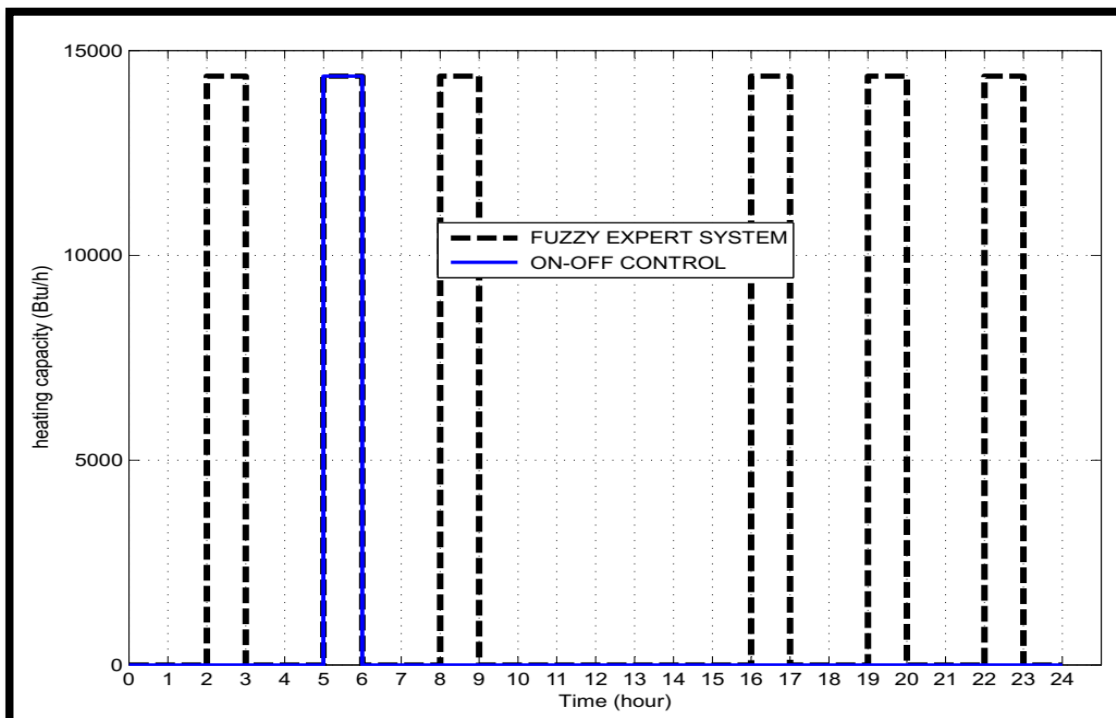
این شکل نشان می دهد که سیستم خبره‌ی فازی با توجه به قوانین کنترلی که از آن بهره می برد توانسته است دما و رطوبت اتاق را در بازه‌ی مناسبی قرار دهد در حالی که کنترل ترموستاتی نه از نظر کنترل دما و نه از نظر کنترل رطوبت نتوانسته است به طور مطلوب عمل کند.



شکل ۵-۲۴: دما و رطوبت اتاق با سیستم فازی و کنترل on-off در مقایسه با دما و رطوبت بیرون

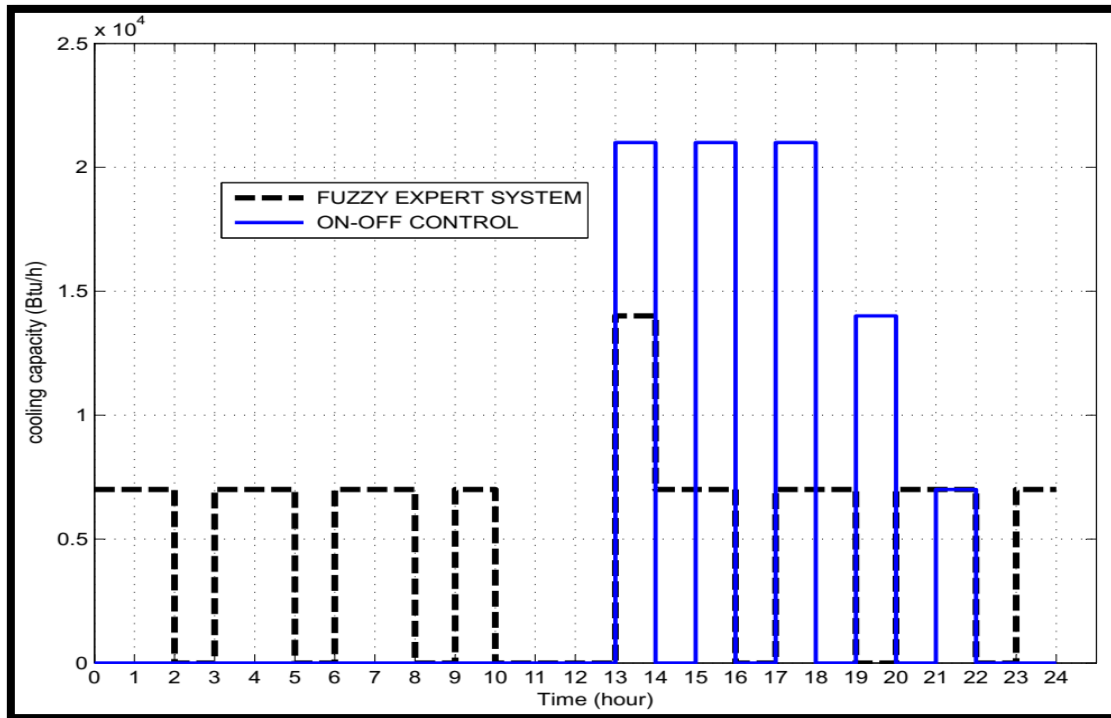
به عنوان نمونه در ساعت ۲ بامداد، سیستم فازی دما را تا ۱۶ درجه‌ی سانتیگراد پایین آورده و رطوبت را به ۸۰ درصد رسانده که شرایط مناسبی را از نظر آسایش حرارتی فراهم آورده در حالی که کنترل ON-OFF نه تنها دما را کاهش نداده بلکه با رسیدن رطوبت به ۲۰ درصد شرایط خفقان آوری را برای ساکنین اتاق بوجود آورده است.

شکل ۵-۲۵ تا ۵-۳۰ سیستم های خبره فازی و کنترل ON-OFF را از نظر میزان مصرف انرژی مقایسه نموده اند.



شکل ۵-۲۵: میزان انرژی مصرفی توسط سیستم گرمایش

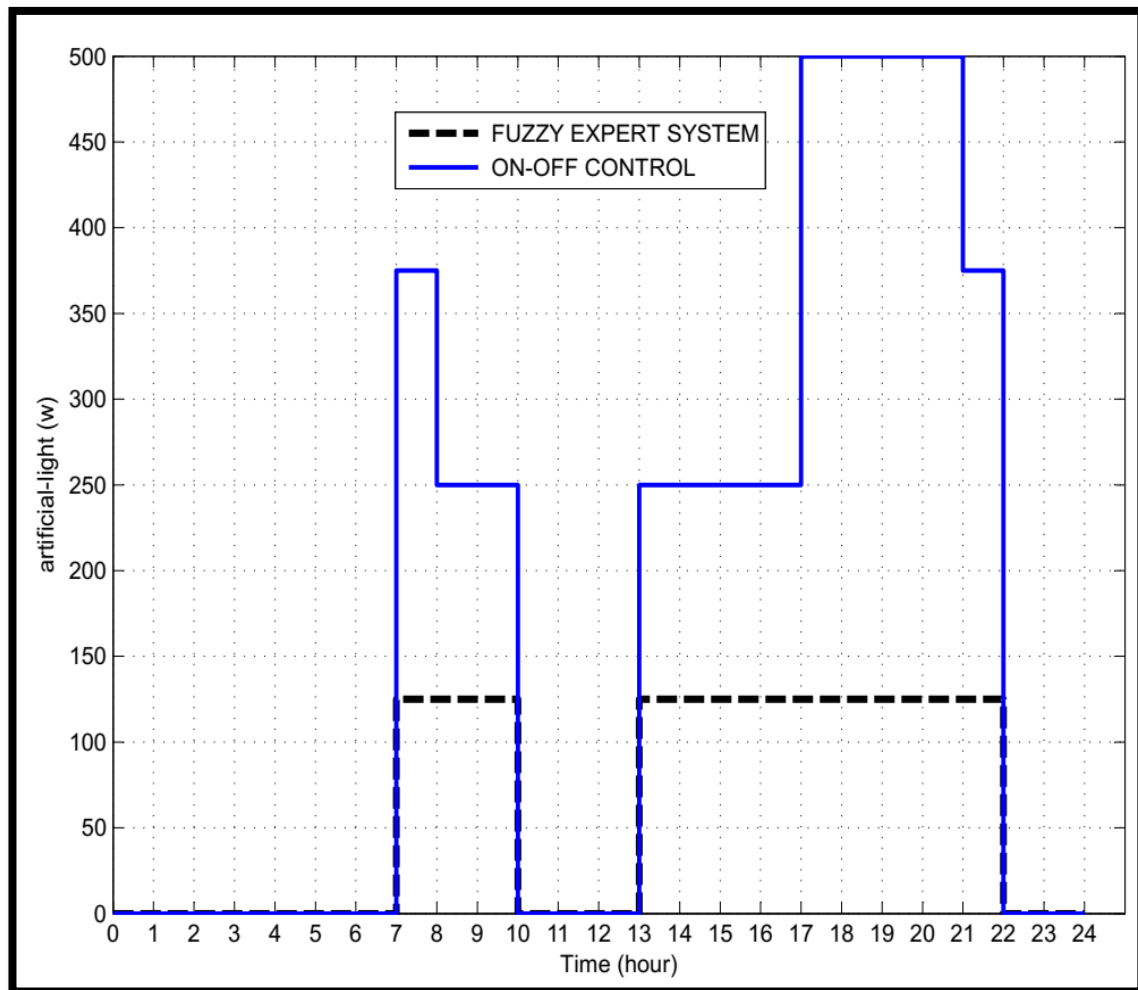
این شکل نشان می دهد که سیستم گرمایش در کنترل ترموستاتی فقط در ساعت ۵ الی ۶ صبح روشن بوده و در ساعات دیگر خاموش بوده است. در حالی که در کنترل فازی با توجه به میزان دما و رطوبت اتاق، سیستم گرمایش فعال شده تا بتواند سطح آسایش حرارتی را فراهم نماید.



شکل ۵-۲۶: میزان انرژی مصرفی توسط سیستم سرمایش

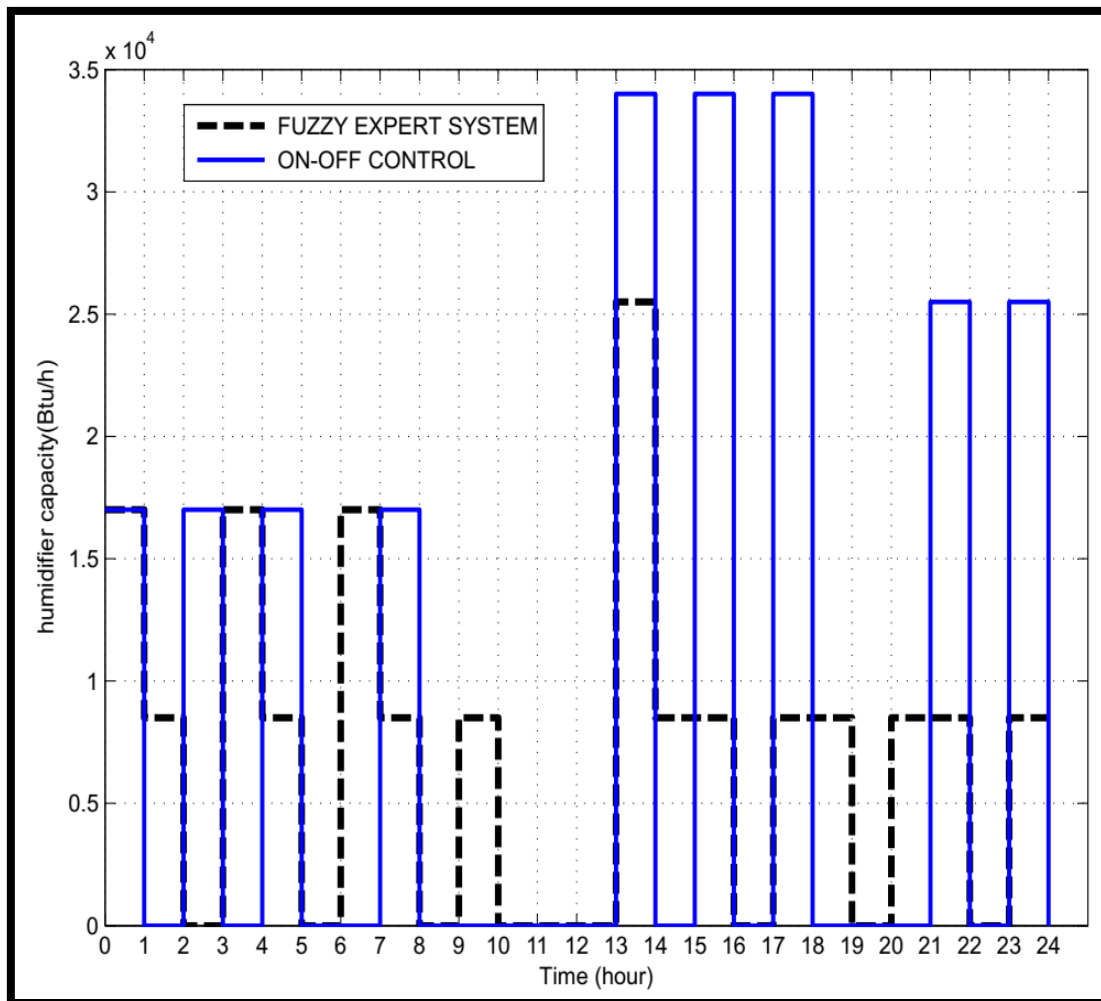
شکل فوق گویای این حقیقت است که از ساعت ۰ الی ۱۰ صبح، کنترل ON-OFF هیچ عکس العملی را از خود نشان نداده است زیرا این کنترل کننده فقط به میزان دما واکنش نشان داده و چون دما بین ۲۰ تا ۲۵ درجه‌ی سانتیگراد بوده است بنابراین حالت را متعادل در نظر گرفته در حالیکه سیستم خبره‌ی فازی با توجه به میزان دما، میزان رطوبت و فصل بهترین شرایط راحتی را برای ساکنین فراهم نموده است.

از ساعت ۱۳ ظهر به بعد نیز با افزایش دما، کنترل ترموستاتی میزان مصرف انرژی را افزایش داده تا بتواند بر افزایش دمای ظهر تابستانی غلبه کند در حالیکه در همین ساعات با افزایش دما، رطوبت کاهش پیدا کرده و نیازی به افزایش سیستم سرمایش به بیش از نصف ظرفیت آن نمی باشد، بنابراین کنترل ترموستاتی علاوه بر افزایش مصرف انرژی، راحتی ساکنین را نیز از بین برده و میزان ناراضی‌تی آنان را افزایش داده است.



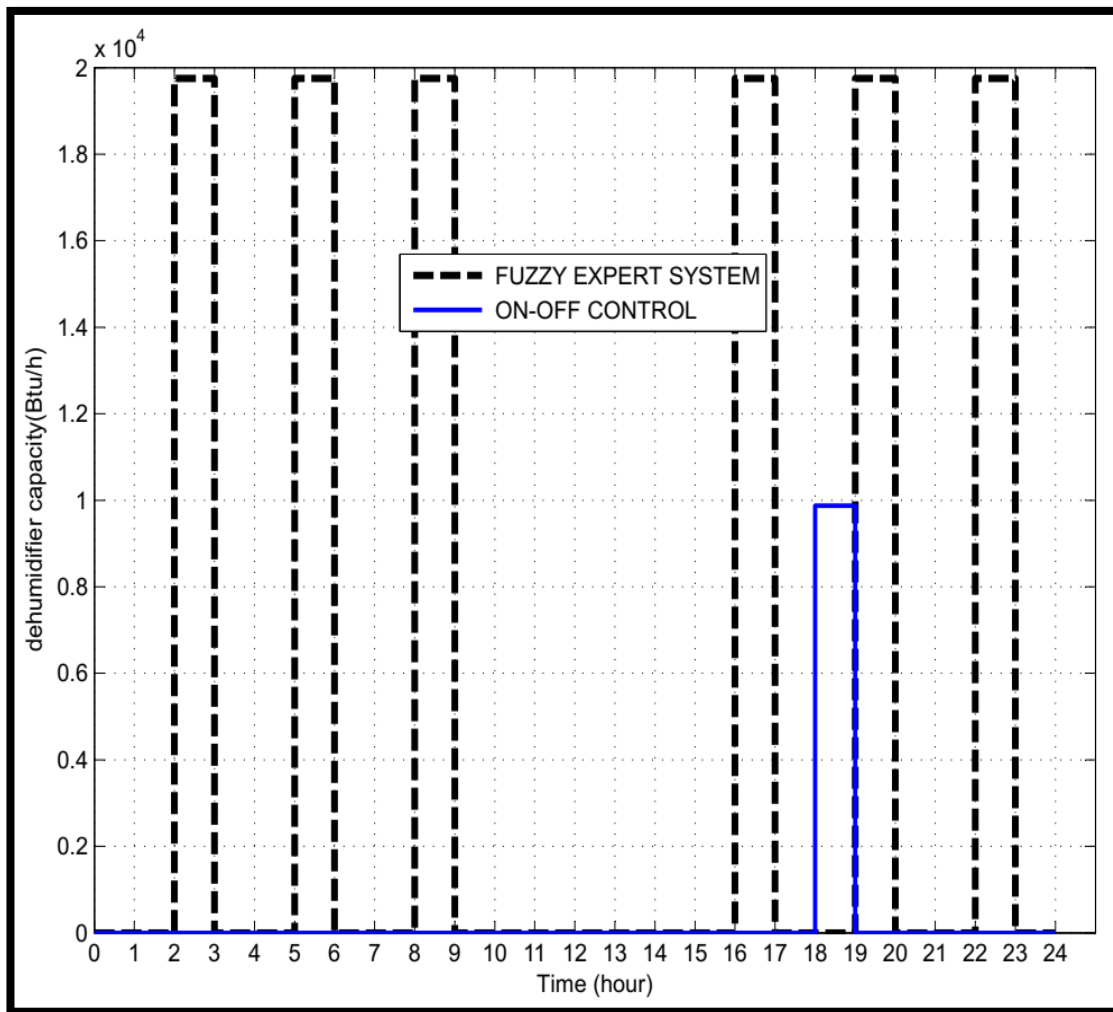
شکل ۵-۲۷: میزان انرژی مصرفی توسط سیستم نور مصنوعی

شکل ۵-۲۷ میزان انرژی مصرفی توسط لامپ های داخل اتاق را نشان می دهد. این نمودار به خوبی نشان می دهد که سیستم هوشمند فازی با استفاده از قوانین خبره توانسته است علاوه بر صرفه جویی در مصرف انرژی، یک محیط راحت را از نظر بصری برای ساکنین فراهم آورد. در این بین کنترل ON-OFF نه تنها باعث صرفه جویی در مصرف انرژی نشده بلکه راحتی بصری ساکنین را با توجه به میزان نور زیاد اتاق از بین برده است.



شکل ۵-۲۸: میزان انرژی مصرفی توسط سیستم رطوبت ساز

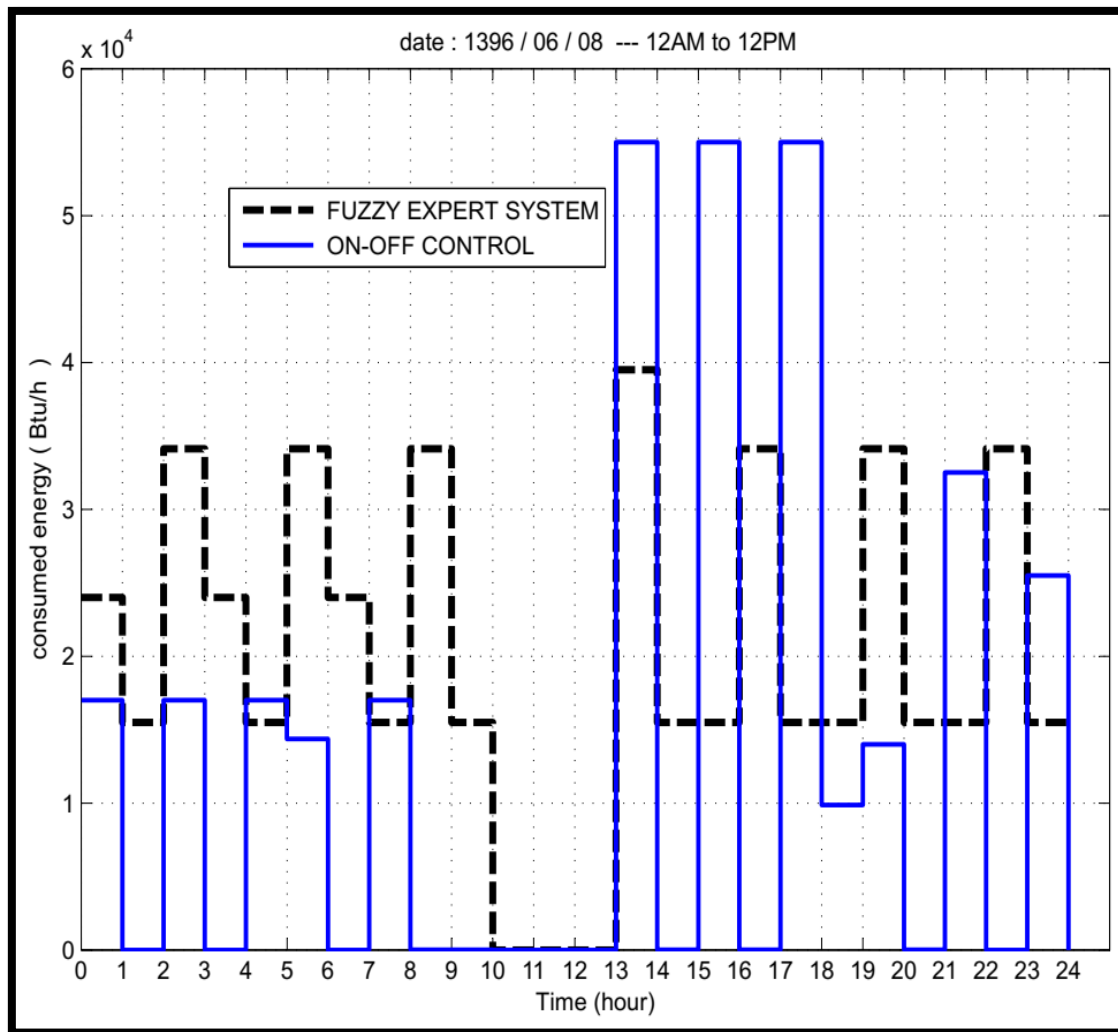
سیستم رطوبت ساز کنترل ON-OFF فقط از میزان رطوبت تاثیر می پذیرد و اگر رطوبت کمتر از ۳۰ درصد باشد فعال خواهد شد در حالیکه در عمل میزان رطوبت و دما تاثیر بالقوه ای بر یکدیگر دارند و حتی فصل نیز در تعیین میزان ظرفیت سیستم رطوبت ساز نقش اساسی دارد. شکل ۵-۲۸ نشان می دهد که کنترل فازی با استفاده از یک سیستم یکپارچه و هوشمند با افزایش مصرف انرژی در مواقع لزوم، راحتی حرارتی ساکنین را تامین نموده است.



شکل ۵-۲۹: میزان انرژی مصرفی توسط سیستم رطوبت گیر

شکل فوق نیز میزان مصرف انرژی سیستم رطوبت گیر را نشان می دهد.

میزان انرژی مصرفی کل تجهیزات از جمع انرژی مصرفی تک تک سیستم ها بدست می آید. با توجه به شکل ذیل که میزان انرژی مصرفی کل را به کیلو وات نشان می دهد، می توان ملاحظه نمود که در روز ۸ شهریور ۱۳۹۶ چه میزان انرژی در تجهیزات تهویه مطبوع و روشنایی مصرف شده است.



شکل ۵-۳۰: میزان انرژی مصرفی کل

این شکل نشان می دهد که کنترل ON-OFF میزان انرژی کمتری نسبت به سیستم خبره ی فازی مصرف نموده است ولی در مقابل نتوانسته است محیطی راحت را برای ساکنین فراهم آورد. در واقع کنترل یکپارچه ی فازی با مصرف انرژی بیشتر، راحتی بیشتری را نیز فراهم نموده و توانسته است تعادل بین مصرف انرژی و راحتی ساکنین را برقرار سازد.

فصل ششم

نتیجه گیری و پیشنهادها

۶-۱. نتیجه و بحث

این تحقیق یک رویکرد یکپارچه برای کنترل یک سیستم اتوماسیون ساختمان با استفاده از تکنیک های منطق فازی ارائه می دهد. ایده اصلی یک سیستم کنترل منطقی فازی تقلید از اقدامات کنترل دستکاری انسانی می باشد که به طور کلی از طریق مجموعه‌ای از قوانین اگر-آنگاه فازی به نمایش در می آید. سیستم منطق فازی یک الگوریتم برای تبدیل راهبردهای کنترل زبانی به استراتژی های کنترل خودکار مبتنی بر اطلاعات خبره و/یا متخصص فراهم می کند. دو دلیل عمده برای استفاده از یک سیستم کنترل فازی برای BAS این است که: منطق فازی برای سیستم هایی مناسب می باشد که برای استفاده از روش های کنترل معمولی بیش از حد غیر خطی هستند و همچنین مهندسان را قادر می سازد به طور سیستماتیک استراتژی های کنترل براساس اطلاعات غیرصریح را از طریق توصیف های زبانی بکار برند.

در این پایان نامه توانایی کنترل کننده‌ی آزاد از مدل^۱ فازی در مقابل کنترل کننده‌ی ON-OFF در ایجاد تعادل بین شرایط راحتی محیط و مصرف انرژی ملاحظه گردید.

۶-۲. پیشنهاد برای کارهای آتی :

- در نظر گرفتن شاخص هایی مانند "میزان نارضایتی افراد" برای ارتقای سطح راحتی

- انجام تحقیق فوق برای اقلیم های مختلف آب و هوایی

- انجام تحقیق فوق در یک اتاقک نمونه با وجود سنسورها و محرک های واقعی

- ساخت نمونه BCS فازی خانگی.

^۱ model-free

فصل هفتم

مراجع

[1] Wong J.K.W. ,Li H. and Wang S.W. (2005) "Intelligent building research - a review" Automation in Construction 14 143–159.

[۲] ریاضتی م ، زمانیان م ، (۱۳۹۳) " مدیریت هوشمند ساختمان (BMS) و بهینه سازی مصرف انرژی " ، سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی.

[3] <http://www.saba.org> (Iran Energy Efficiency Organization – IEEO-SABA)

[4] Shaikh P.H, Nor N.B.M, Nallagownden P, Elamvazuthi I, Ibrahim T (2014) "A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings " Renewable and Sustainable Energy Reviews 34 409–429.

[5] Dounis A.I, Caraiscos C. (2009) "Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment—A review" Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 1246–1261.

[6] Dounis A.I, Santamouris M, Lefas C.C, Argiriou A. (1994) "Design of a fuzzy set environment comfort system". Energy and Buildings ;22:81–7.

[7] Kolokotsa D. (2001), PhD.thesis, "Design and implementation of an integrated intelligent building indoor environment management system using fuzzy logic, advanced decision support techniques, local operating network capabilities and smart card technology". Technical University of Crete.

[8] Kolokotsa D, Niachou K, Geros V, Kalaitzakis K, Stavrakakis G.S, Santamouris M. (2005) "Implementation of an integrated indoor environment and energy management system". Energy and Buildings;37:93–9.

[9] Zhao Z.Y, Tomizuka M, Isaka S. (1993) "Fuzzy gain scheduling of PID controllers". IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics;23(5):1392–8.

[10] Attia A.H, Rezeki S.F, Saleh A.M (2015) " Fuzzy logic control of air-conditioning system in residential buildings ". Alexandria Engineering Journal ;54, 395–403.

[11] Calvino F, Gennusa M.L, Rizzo G, Scaccianoce G (2004) "The control of indoor thermal comfort conditions: introducing a fuzzy adaptive controller ". Energy and Buildings 36:97–102.

[12] Dounis A.I, Manolakis D.E (2001) "Design of a fuzzy system for living space thermal-comfort regulation". Applied energy 69:119-144.

[13]] Kolokotsa D, Tsiavos D, Stavrakakis G.S, Kalaitzakis K, Antonidakis E, (2001) "Advanced fuzzy logic controllers design and evaluation for buildings occupants thermal-visual comfort and indoor air quality satisfaction" Energy and Buildings 33:531–543.

[14] Etik N, Allahverdi N, Sert I.U, Saritas I (2009) "Fuzzy expert system design for operating room air-condition control systems" *xpert Systems with Applications* 36:9753–9758.

[15] Khalid R, Abid S, Zafar A, Yasmeen A, Khan Z.A, Qasim U, Javaid N.(2017) "Fuzzy Energy Management Controller for Smart Homes".

[16] Shaikh P.H, Nor N.B.M, Nallagownden P, Elamvazuthi I (2013)" Indoor Building Fuzzy Control of Energy and Comfort Management" *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 6(23): 4445-4450.

[17] Yang R. (2013), PhD.thesis, "Development of Integrated Building Control Systems for Energy and Comfort Management in Intelligent Buildings" , The University of Toledo.

[۱۸] فردادی م، (۱۳۸۳)، پایان نامه ارشد: "شبیه سازی و مدیریت انرژی یک ساختمان مسکونی با استفاده از شبکه های عصبی و منطق فازی به روش تجربی و تحلیلی"، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف.

[۱۹] نوروزی، چ، ملک آبادی، الف، حدیدی، الف، حلاجی، م، (۱۳۹۰)، "بهبود شرایط آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی با استفاده از منطق فازی"، مجموعه مقالات سومین کنفرانس بین المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع، تهران.

[۲۰] صبوری، م، طاهری، م، (۱۳۹۳)، "بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمانهای هوشمند با منطق فازی"، چهارمین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران.

[21] Shaikh P.H, Nor N.B.M, Nallagownden P, Elamvazuthi I (2013)" Building Energy Management through a Distributed Fuzzy Inference System " *International Journal of Engineering and Technology (IJET)* Vol 5 No 4.

[22] Stein, B, Reynolds J.S (2000). *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*'. John Wiley and Sons, Inc.

[۲۳] سلطاندوست م، (۱۳۸۷) "سایکرومتریک"، انتشارات یزدا.

[24] 2010 ASHRAE Handbook - Fundamentals (I-P Edition). American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2010.

[۲۵] نشریه سازمان ملی استاندارد ایران.

[۲۶] آمارنامه شهر مشهد، معاونت برنامه ریزی و توسعه شهرداری مشهد، سال های ۱۳۹۲، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴.

ABSTRACT

Since a building is a complex and nonlinear system, and it can not be considered a specific mathematical model, so one can not use methods that require a model to control a building. The advantage of fuzzy controllers is that there is no need for a building process model. Since energy saving is meaningless regardless of the comfort of the residents, this research has been written using fuzzy logic and international criteria to balance these two factors. 6 inputs and 5 outputs are considered. If-then rules are determined using expert information and precise criterias. The latent and sensible heat changes of the room are obtained using a Psychrometric chart. The energy consumption of each output equipment has been determined and the results have been compared with the thermostat controller and analyzed the energy consumption of the building and the comfort of the residents.

Key words: Intelligent Building - Fuzzy Inference System - ASHRAE Standard - Energy and comfort - Psychrometric



Faculty of Electrical Engineering and Robotic

M.Sc.thesis in Control Engineering

Intelligent energy control of residential buildings with fuzzy logic

By: Ehsan Ghezelbash

Supervisor:

Dr. Heidar Toosian.shandiz

September 2017