

بهبودسازی دمای ساختمان‌های مسکونی کوچک هوشمند با استفاده از قوانین استنتاج فازی با لحاظ راحتی کاربران

یزدان دانشور^۱، مجید سبزه‌پرور^{۲*}، سیدامیرحسین هاشمی^۳

^۱ دانشجوی دکتری گروه مهندسی عمران، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی

^۲ استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی

^۳ استادیار گروه مهندسی عمران، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی

دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۱، بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۳، پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۷، نشر آنلاین: ۱۴۰۰/۱۲/۷

چکیده

مقاله حاضر، مدلی برای مدیریت بهینه مصرف انرژی ساختمان مسکونی هوشمند با در نظر گرفتن مشخصه‌های احساسی برای تأمین راحتی ساکنین می‌باشد. به منظور هوشمندسازی دمای داخلی بر اساس مؤلفه‌های احساسی (پوشش افراد، دمای هوای بیرون، سن، شاخص توده بدنی (BMI)^۳)، میزان رطوبت و تعداد ساکنان) به روش سیستم خبره و پرسش‌نامه، دمایی به‌عنوان مبنا تعیین شده است، دمای ایده‌آل ۲۲ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است. برای صحت‌سنجی قوانین از استاندارد تعیین شاخص‌های حرارتی PMV^۴ و PPD^۵ و معیارهای آسایش حرارتی موضعی استفاده شده و نتیجه آن انطباق قابل قبول دمای خروجی با شاخص‌های حرارتی می‌باشد. برای تعیین قوانین براساس شرایط احساسی، میزان تغییرات دمایی بین ۲- تا ۱/۵+ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است و تعداد ۸۱۰ قانون استخراج گردیده است. برای تنظیم دما بر اساس قوانین یک داشبورد در نرم‌افزار اکسل تهیه شده است که با ورود هر یک از داده‌های موجود بر اساس کیفی و کمی میزان دمای مناسب به‌عنوان خروجی نشان داده می‌شود. برای بررسی نتایج میزان مصرف انرژی در دو حالت تنظیم دما با سیستم هوشمند و تنظیم دمای دستی با یکدیگر مقایسه شده‌اند که نتایج نشان‌دهنده کاهش مصرف انرژی به‌ترتیب در حالت گرمایشی و سرمایشی به‌میزان ۹/۷ و ۱۰/۲ درصد و بهینه شدن مصرف انرژی در استفاده از این سیستم هوشمند می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: خانه هوشمند، تنظیم دمای هوشمند، قوانین خبره، بهینه‌سازی انرژی، راحتی کاربر.

۱- مقدمه

گرفتن مفهوم تقاضا و عدم قطعیت در یک چارچوب بهینه‌سازی شده جدید که مبتنی بر نظریه تصمیم‌گیری است، یک سناریوی ترکیبی در راستای بررسی عملکرد بهینه‌های انرژی هوشمند با توجه به اولویت‌های اقتصادی، محدودیت‌های فنی و حضور عدم قطعیت‌ها، پرداختند. این محققین با در نظر گرفتن هاب‌های انرژی مجهز به تأسیسات هوشمند در برنامه‌های مدیریت تقاضا، به منظور انگیزه دادن به مصرف‌کنندگان برای تجدیدالگوهای مصرفی و نیز رفع اولویت‌های اقتصادی هاب انرژی، سرویس‌های پاسخ به قیمت و بار را در دسترس قرار دادند. با توجه به نتایج اپراتور هاب انرژی هوشمند می‌تواند استراتژی‌های ریسک‌پذیری و ریسک‌گریزی را در برابر عدم قطعیت‌ها اتخاذ نماید.

Lorena Tuballa و Lochinvar Abundo (۲۰۱۶)، به مروری بر شبکه هوشمند با ویژگی‌های کلی، عملکردها و مشخصات آن، پرداختند به‌طوری‌که یک فن‌آوری اساسی و مرتبط با

Mogles و همکاران (۲۰۱۸)، در مقاله‌ای تحت عنوان طراحی تداخلات رفتاری تغییرات انرژی برای یک مدل محاسباتی به بررسی ایجاد ساختاری برای تناسب انواع گوناگونی از مدل‌ها و استفاده از مدل شبیه‌سازی به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی، که بر تصمیمات مصرف تأثیر می‌گذارد، پرداختند. با توجه به نتایج، مدل ارائه شده می‌تواند رفتار صرفه‌جویی در انرژی را بسیار بهتر از مدل‌های تصادفی موجود پیش‌بینی کند و به درستی اثر فن‌آوری‌های پذیرفته شده را تخمین بزند همچنین مدل تحلیلی می‌تواند به یک سیستم تصمیم‌گیری متناسب با تغییر رفتار انرژی تبدیل شود.

Mohammadi و همکاران (۲۰۱۸)، در مقاله‌ای تحت عنوان ادغام هاب‌های انرژی هوشمند در شبکه‌های توزیع با در نظر



انرژی در افراد مختلف و محیط، شناسایی شود و سپس با بررسی مشاهدات، قوانین موجود استخراج و اعتبارسنجی شود. با توجه به این که هدف اصلی پژوهش، ارائه قوانینی به کمک تئوری مجموعه‌ای از پرسش‌ها است، خلاصه‌ای از این تئوری و مفاهیم اساسی مرتبط با آن تشریح می‌شوند. در ادامه با فرایند مدل‌سازی تئوری موجود به کمک داده‌های رفتار افراد در محیط‌های منتخب ادامه می‌یابد و در نهایت خروجی مدل‌های مختلف به کمک نرم‌افزار ارائه می‌شود. همچنین جهت بررسی تأثیر قوانین، میزان مصرف انرژی افراد با توجه به قوانین تعیین شده و بدون لحاظ آن محاسبه می‌گردد. در پایان، به مقایسه بین نتایج مدل‌ها از لحاظ تعیین دما و مصرف انرژی و بهینه‌سازی انجام شده، پرداخته می‌شود.

۲-۱-۱- صحت‌سنجی دمای خروجی

برای اعتبارسنجی این مقاله از استاندارد تعیین شاخص‌های حرارتی PMD و PPD و معیارهای آسایش حرارتی موضعی و نرم‌افزار متلب استفاده شده است که برای این منظور شش مورد از قوانین اعتبارسنجی شده‌اند که نتیجه این اعتبارسنجی انطباق قابل قبول دمای خروجی با شاخص‌های حرارتی می‌باشد (تعیین شاخص‌های حرارتی PMD و PPD و معیارهای آسایش حرارتی موضعی، ۱۳۷۱).

۲-۱-۱- مشخصات استاندارد استفاده شده

هدف از تدوین این استاندارد تعیین روش‌های محاسبه پیش‌بینی احساس حرارتی کلی و تعیین درجه ناراضی‌تی حرارتی افراد در محیط‌های معتدل است. این استاندارد این قابلیت را ایجاد می‌کند تا با محاسبه شاخص‌های PMV (میانگین رأی پیش‌بینی شده)، PPD (درصد ناراضی‌تی حرارتی پیش‌بینی شده) و همچنین معیارهای ناراضی‌تی حرارتی، شرایط آسایش حرارتی تحلیل و بررسی شود. این استاندارد برای افراد سالمی که در معرض شرایط محیط داخل قرار دارند، کاربرد دارد. به توجه به این موارد استفاده از این استاندارد به‌عنوان اعتبارسنجی مقاله قابل قبول می‌باشد (استاندارد "تعیین شاخص‌های حرارتی PMD و PPD و معیارهای آسایش حرارتی موضعی"، ۱۳۷۱).

۲-۱-۲- محاسبه شاخص PMV

PMV شاخصی است که برای پیش‌بینی میانگین آرای حرارتی افراد بر اساس یک مقیاس هفت نقطه‌ای برای احساس حرارتی (جدول (۱)) تعیین می‌گردد. شاخص PMV بر مبنای تعادل حرارتی بدن انسان استوار است (استاندارد "تعیین شاخص‌های حرارتی PMD و PPD و معیارهای آسایش حرارتی موضعی"، ۱۳۷۱).

Smart Grid را ارائه داده‌اند و فعالیت‌های تحقیقی، چالش‌ها و مسائل را شناسایی کردند. در این تحقیق نتایج نشان می‌دهد که چگونه این فن‌آوری‌ها، شبکه برق مدرن را شکل داده‌اند و همچنان به تقویت نقش خود در همسویی بهتر عرضه و تقاضای انرژی ادامه می‌دهند.

Haider و همکاران (۲۰۱۷)، در مقاله‌ای به بررسی پاسخ نسبت به تقاضا برای مدیریت نیازها بدون افزودن ظرفیت تولید جدید با توجه به منابع انرژی موجود پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که اکثر طرح‌های پاسخ تقاضا از یک مشکل بیرونی ناشی می‌شود که این مشکل نیز شامل تأثیر مصرف بالای مشترکین بر نرخ قیمت سایر مشترکان، به‌ویژه در دوره اوج مصرف است که برای غلبه بر این چالش توصیه‌ای برای استفاده از طرح قیمت‌گذاری چند منظوره ارائه کردند.

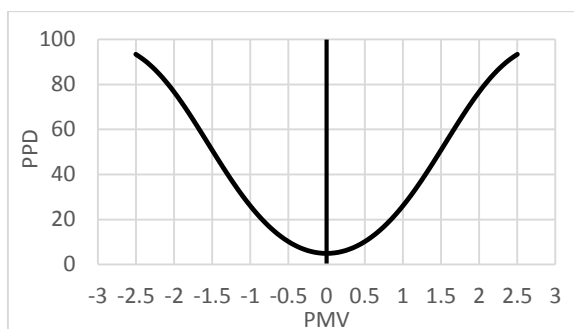
Chol و Joo (۲۰۱۷)، در مقاله‌ای یک الگوریتم بهینه‌سازی توزیع شده را برای زمان‌بندی مصرف انرژی در چند خانه هوشمند با روش جدا شدن وسایل از یکدیگر ارائه کردند. این مطالعه شبیه‌سازی یک الگوریتم توزیع شده، از نظر هزینه برق و سطح راحتی مصرف‌کننده را براساس عملکردی مشابه با الگوریتم متمرکز نشان می‌دهد. در این مقاله تأثیر توپولوژی‌های مختلف شبکه نسبت به الگوریتم پیشنهادی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است و در نتیجه الگویی برای انتخاب پیکربندی بهینه شبکه با توجه به صرفه‌جویی در هزینه برق مصرفی ارائه شده است.

Harkouss و همکاران (۲۰۱۸)، در پژوهشی به این پرداختند که در طراحی ساختمان با انرژی خاص، یافتن بهترین روش از استراتژی‌های موجود یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو می‌باشد که با مشکلاتی مبتنی بر نحوه عملکرد این انرژی در این ساختمان‌ها روبرو است. در این مقاله یک روش برای بهینه‌سازی چند معیاره مبتنی بر شبیه‌سازی روش فوق ارائه شده است که شامل چهار مرحله شبیه‌سازی ساختمان، فرایند بهینه‌سازی، تصمیم‌گیری چند منظوره و استحکام راه حل ارائه شده، می‌باشد. نتایج تجزیه و تحلیل به وضوح نشان می‌دهد که، صرف نظر از آب و هوا، برای طراحی با این روش، ضروری است که حداقل بار حرارتی محیط را از طریق استراتژی‌های غیرفعال‌ی که با اطمینان حاصل می‌شود را به حداقل رساند (Harkouss و همکاران، ۲۰۱۸).

۲- شیوه و حوزه پژوهش

این مقاله قصد دارد به کمک سیستم خبره ارائه شده، رفتارهای مصرف انرژی افراد را مدل‌سازی کند. در این مقاله، رفتار مصرف‌کنندگان انرژی بررسی می‌شود به طوری که جامعه آماری آن، از افراد با جنس و سن در محیط‌های مختلف انتخاب شده است. ابزار به کاررفته براساس نرم‌افزار اکسل می‌باشد. با توجه به هدف این مقاله، باید ابتدا عوامل اثرگذار بر رفتار مصرف‌کنندگان

نارضایتی دارند تخمین بزند. مابقی افراد احساس نسبتاً مطلوبی دارند. توزیع احساس حرارتی فردی در جدول (۱) آمده است.



شکل ۱- PPD تابعی از PMV (استاندارد "تعیین شاخص‌های حرارتی PMD و PPD و معیارهای آسایش حرارتی موضعی"، (۱۳۷۱)

۲-۱-۴- نمونه اعتبار سنجی قوانین خبره

به‌عنوان نمونه در این قسمت شش مورد از قوانین آورده شده است و طبق روابط و جداول موجود در استاندارد میزان PMV و PPD تعیین می‌شود و طبق استاندارد مقادیر PMV بین ۰/۵- تا ۰/۵+ معادل ۹۰٪ رضایت‌مندی ساکنین از وضعیت دمای محیط می‌باشد (استاندارد "تعیین شاخص‌های حرارتی PMD و PPD و معیارهای آسایش حرارتی موضعی"، (۱۳۷۱).

قانون ۱) اگر سن پیر باشد، پوشش کم داشته باشد، درصد رطوبت زیاد باشد، دمای بیرون سرد باشد، تعداد ورود متوسط باشد و شاخص توده بدنی کم باشد دما را ۲۳/۵ درجه سانتی‌گراد تعیین شود.

قانون ۲) اگر سن پیر باشد، پوشش متوسط داشته باشد، درصد رطوبت کم باشد، دمای بیرون معتدل باشد، تعداد ورود کم باشد و شاخص توده بدنی نرمال باشد دما را ۲۴ درجه سانتی‌گراد تعیین شود.

قانون ۳) اگر سن جوان باشد، پوشش متوسط داشته باشد، درصد رطوبت زیاد باشد، دمای بیرون گرم باشد، تعداد ورود زیاد باشد و شاخص توده بدنی زیاد باشد دما را ۱۷ درجه سانتی‌گراد تعیین شود.

قانون ۴) اگر سن میانسال باشد، پوشش خیلی‌زیاد داشته باشد، درصد رطوبت زیاد باشد، دمای بیرون معتدل باشد، تعداد ورود کم باشد و شاخص توده بدنی زیاد باشد دما را ۱۹ درجه سانتی‌گراد تعیین شود.

قانون ۵) اگر سن میانسال باشد، پوشش زیاد داشته باشد، درصد رطوبت کم باشد، دمای بیرون گرم باشد، تعداد ورود زیاد باشد و شاخص توده بدنی نرمال باشد دما را ۱۸ درجه سانتی‌گراد تعیین شود.

جدول ۱- مقیاس هفت نقطه‌ای احساس حرارتی بدن (استاندارد "تعیین شاخص‌های حرارتی PMD و PPD و معیارهای آسایش حرارتی موضعی"، (۱۳۷۱)

شاخص حرارتی	میزان دما (درجه سانتی‌گراد)
گرم	+۲
کمی گرم	+۱
خنثی	۰
کمی سرد	-۱
سرد	-۲
خیلی سرد	-۳
خیلی سرد	۲۵

شاخص PMV را می‌توان از رابطه (۱) محاسبه کرد:

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \times \left\{ \begin{array}{l} (M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \left[5733 - \frac{6.99(M - W)}{P_a} \right] \\ -0.42[(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} \\ M(5867 - P_a) \\ -0.0014M(34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \\ \left[\frac{(t_{cl} + 273)^4}{-(\bar{t}_r + 273)^4} \right] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \end{array} \right\} \quad (1)$$

که در این رابطه M نرخ متابولیک برحسب (W/m^2) ، W توان مکانیکی مؤثر برحسب (W/m^2) ، I_{cl} عایق لباس برحسب $(m^2.K/W)$ ، f_{cl} فاکتور مساحت سطح لباس، t_a دمای هوا برحسب $(^\circ C)$ ، t_r میانگین دمای تابشی برحسب $(^\circ C)$ ، Var سرعت نسبی هوا برحسب (m/s) ، p_a فشار جزئی بخار بر حسب (pa) ، h_c ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی برحسب $(w/(m^2.k))$ ، t_{cl} با دمای سطح لباس برحسب $(^\circ C)$ می‌باشد (استاندارد "تعیین شاخص‌های حرارتی PMD و PPD و معیارهای آسایش حرارتی موضعی"، (۱۳۷۱).

۲-۱-۳- محاسبه شاخص PPD

PPD شاخصی است برای پیش‌بینی کمی درصدی از افراد که به‌دلیل احساس سرما یا گرما ابراز نارضایتی دارند. براساس استانداردهای بین‌المللی، نارضایتی حرارتی شامل احساس خیلی گرمی، گرمی، سردی و خیلی سردی است. در صورتی که مقدار PMV معلوم باشد، شاخص PPD را می‌توان از رابطه (۲) تخمین زد (استاندارد "تعیین شاخص‌های حرارتی PMD و PPD و معیارهای آسایش حرارتی موضعی"، (۱۳۷۱).

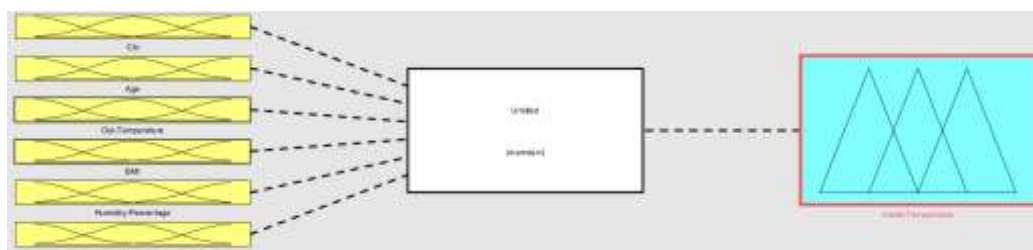
$$PPD = 100 - 95 \times \exp(-0.03353PMV^4 - 0.2179PMV^2) \quad (2)$$

در شکل (۱) رابطه بین این دو شاخص حرارتی رسم شده است. PPD می‌تواند تعداد افرادی را که از نظر حرارتی احساس

همان‌طور که در جدول مشاهده می‌گردد بین قوانین موجود و شاخص حرارتی تنها بین ۰/۵ تا ۰/۷ درجه اختلاف دیده می‌شود و با توجه به این که مقدار PMV بین بازه ۰/۵ تا -۰/۵ قرار گرفته است، نتایج نشان می‌دهد که سیستم خبره و دمای تعیین شده توسط این سیستم به درستی عمل کرده است.

۲-۱-۶- اعتبارسنجی با نرم‌افزار متلب

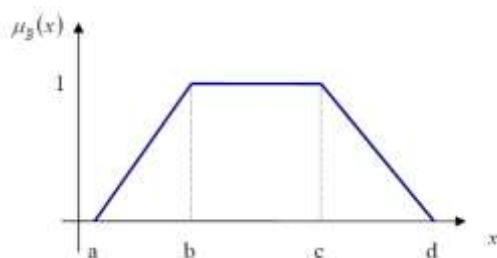
با توجه به این که در این مقاله برای تعیین دمای خروجی از نرم‌افزار اکسل استفاده شده است برای اطمینان از این که قوانین نوشته شده در اکسل و سیستم فازی نوشته شده برای آن (شکل‌های (۳) تا (۸)) به درستی عمل کرده و خروجی حاصل از آن دما را به درستی نشان می‌دهد، در نرم‌افزار متلب نیز این سیستم فازی پیاده شده و پس از آن خروجی‌های دو سیستم با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در شکل (۲) معماری سیستم استنتاج فازی طراحی شده آورده شده است.



شکل ۲- معماری سیستم استنتاج فازی در متلب

در واقع یک مجموعه فازی نرمال و محدب در R (مجموعه مرجع اعداد حقیقی) است.

$$\begin{aligned} \mu_{\bar{A}}(x) &= \left\{ \left(\frac{x-a}{b-a} \right) \right\} & \text{if } a \leq x \leq b \\ \mu_{\bar{A}}(x) &= 1 & \text{if } b \leq x \leq c \\ \mu_{\bar{A}}(x) &= \left\{ \left(\frac{d-x}{d-c} \right) \right\} & \text{if } c \leq x \leq d \\ \mu_{\bar{A}}(x) &= 0 & \text{otherwise} \end{aligned} \quad (3)$$



شکل ۳- اعداد دوزنقه‌ای فازی

قانون ۶) اگر سن پیر باشد، پوشش خیلی کم داشته باشد، درصد رطوبت کم باشد، دمای بیرون سرد باشد، تعداد ورود متوسط باشد و شاخص توده بدنی کم باشد دما را ۲۵/۵ درجه سانتی‌گراد تعیین شود.

۲-۱-۵- نتیجه اعتبارسنجی

با توجه به اطلاعات فوق میزان PMV و PPD برای هریک از قوانین و همچنین دمای ایده‌آل در این قوانین با توجه به رضایت‌مندی افراد در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲- تعیین PMV و PPD مناسب براساس دمای سیستم

قوانین	دمای سیستم خبره (°C)	دمای ایده‌آل (°C)	PMV	PPD (%)
قانون ۱	۲۳/۵	۲۳/۵	-۰/۰۲	۵/۰۰۶
قانون ۲	۲۴	۲۳/۵	-۰/۱۳	۵/۳۵۲
قانون ۳	۱۷	۱۷	-۰/۰۰۱	۵/۰۰۱
قانون ۴	۱۹	۱۸/۵	+۰/۱۸	۵/۶۶۳
قانون ۵	۱۸	۱۷/۳	+۰/۱۷	۵/۵۹۷
قانون ۶	۲۵/۵	۲۶/۲	-۰/۲۱	۵/۹۰۰

۲-۲- استنتاج فازی (قوانین اگر- آنگاه)

قوانین اگر- آنگاه در مدل ارائه گردیده و پایگاه دانش می‌باشند، که با توجه به پرسش‌نامه و مشاوره با افراد خبره طرح‌ریزی گردیده است. با توجه به وجود شش عامل، در اینجا $5 \times 3 \times 3 \times 3 \times 2 = 810$ قانون خواهد بود. به علت محدودیت‌های پیش‌رو به تجزیه و تحلیل تعداد محدودتری از قوانین پرداخته می‌شود به‌عنوان مثال: "اگر سن پیر باشد، پوشش کم داشته باشد، درصد رطوبت زیاد باشد، دمای بیرون سرد باشد، تعداد ورود متوسط باشد و شاخص توده بدنی کم باشد دما را ۲۳/۵ درجه تعیین کنید".

۲-۲-۱- تابع عضویت دوزنقه‌ای

در این مقاله از تابع عضویت فازی برای بازه‌های هر یک از شش پارامتر تأثیرگذار استفاده شده است. یک عدد فازی مانند \bar{A}

۲-۲-۲- فازی زدایی

فازی زدایی به روش میانگین فازی با توجه به رابطه (۴) قابل محاسبه می‌باشد.

$$\begin{aligned} A_{\max}^{((1))} &= (a_1 + a_M + a_2)/3 \\ A_{\max}^{((2))} &= (a_1 + \lfloor 2a \rfloor_M + a_2)/4 \\ A_{\max}^{((3))} &= (a_1 + \lfloor 4a \rfloor_M + a_2)/6 \end{aligned} \quad (۴)$$

$$Z^* = \{A_{\max}^{((1))} + A_{\max}^{((2))} + A_{\max}^{((3))}\}$$

در منطق فازی مجموعه‌های فازی مفاهیم زبانی را تعریف می‌کنند و توابع عضویت ارزش درستی چنین عبارات زبانی را تعریف می‌کنند. درجه عضویت شی در مجموعه فازی ارزش آن را بین ۰ و ۱ قرار می‌دهد که در آن یک کاملاً به معنی عضو مجموعه بودن است و صفر به معنی این است که کاملاً در مجموعه قرار ندارد و ارزش‌های دیگر به معنی این هستند که تا حدی در مجموعه قرار دارند. درجه عضویت شیء در مجموعه فازی به عنوان تابعی تعریف می‌شود که در آن موضوع بحث همان دامنه و فاصله [۰،۱] همان محدوده است.

۲-۳- جامعه آماری

جامعه آماری این مقاله ساکنان ساختمان‌های مسکونی کوچک مقیاس و خبرگان حوضه ساختمان و مسکن می‌باشند که

جدول ۳- سوالات و دامنه مقادیر مشخصه‌های احساسی

سن	{جوان، میانسال، پیر}	افراد در خانه شما دارای چه سنی می‌باشند؟
شاخص توده بدنی (BMI)	{کم، متوسط، زیاد}	نسبت وزن به مجذور قد در افراد خانه چه عددی می‌باشد؟
میزان پوشش	{خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد}	پوشش شما در منزل معمولاً چقدر است؟
رطوبت	{کم، زیاد}	میزان رطوبت در شهر شما معمولاً چند درصد است؟
دمای هوای بیرون خانه	{سرد، معتدل، گرم}	دمای هوای بیرون خانه‌تان حدوداً چند درجه است؟
تعداد کاربران	{کم، متوسط، زیاد}	تعداد افراد موجود در منزل شما چند نفر است؟

۳-۱- تابع عضویت استفاده شده برای میزان پوشش

به عنوان ورودی اول میزان پوشش افراد مختلف است که به پنج گروه پوششی (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد) تقسیم‌بندی شده است و به صورت نمادین تابع عضویت ذوزنقه‌ای آن در شکل (۴) نمایش داده شده است.

۳-۲- تابع عضویت استفاده شده برای سن

به عنوان ورودی دوم سن افراد مختلف است که به سه گروه سنی (جوان، میانسال، پیر) تقسیم‌بندی شده است و به صورت نمادین تابع عضویت ذوزنقه‌ای آن در شکل (۵) نمایش داده شده است.

تعداد آنان محدود و کمتر از ۱۲۰ نفر است، لذا با توجه به بررسی تحقیقات پیشین، در این مقاله از پرسش‌نامه به روش Delphi استفاده شده است.

۲-۴- پرسشنامه

جهت تعیین دمای بهینه ساختمان از پرسشنامه‌های تحقیق شده، مشتمل بر سوالات مختلف استفاده گردیده است. سوالات این پرسشنامه در شش مؤلفه تدوین گردیده که عبارتند از: مؤلفه‌های سن، شاخص توده بدنی، میزان پوشش، رطوبت هوا، دمای هوای بیرون از خانه و تعداد کاربران می‌باشد که مؤلفه خروجی همان میزان دما است. لازم به توضیح است پرسش‌نامه و مؤلفه‌های فوق‌الذکر در جدول (۳) آورده شده است.

۳- مدل‌سازی و طراحی سیستم خبره فازی

با توجه به این که هدف از این تحقیق طراحی سیستم خبره و ارائه مدل می‌باشد، بنابراین نحوه طراحی برای سنجش احساس رضایت افراد در تقابل با دمای بهینه با توجه به شش عامل، ارائه شده است که این سیستم خبره قابل کاربرد در تمام ساختمان‌های مسکونی می‌باشد. ورودی‌های مدل همان شش عامل تعیین‌کننده مشخصه‌های احساسی ساکنین (سن، شاخص توده بدنی، میزان پوشش، رطوبت، دمای بیرون خانه و تعداد کاربران) می‌باشند.

۳-۳- تابع عضویت استفاده شده برای دمای هوای بیرون

خانه

به عنوان ورودی سوم سن دمای بیرون از خانه در افراد مختلف است که به سه گروه دمایی (سرد، معتدل، گرم) تقسیم‌بندی شده است و به صورت نمادین تابع عضویت ذوزنقه‌ای آن در شکل (۶) نمایش داده شده است.

می‌آید. در جدول (۴) تعدادی از قوانین به‌عنوان نمونه آورده و دمای خروجی تعیین شده است.

جدول ۴- نمونه دماهای خروجی بر اساس شش ورودی

دمای ورودی (°C)	قوانین	سطر
۲۶	اگر میزان پوشش خیلی کم و دمای بیرون سرد و سن جوان و شاخص توده بدنی لاغر و درصد رطوبت کم و تعداد ورود کم باشد.	۱
۲۵/۵	اگر میزان پوشش کم و دمای بیرون سرد و سن جوان و شاخص توده بدنی لاغر و درصد رطوبت کم و تعداد ورود کم باشد.	۲
۲۵	اگر میزان پوشش متوسط و دمای بیرون سرد و سن جوان و شاخص توده بدنی لاغر و درصد رطوبت کم و تعداد ورود کم باشد.	۳
۲۴/۵	اگر میزان پوشش زیاد و دمای بیرون سرد و سن جوان و شاخص توده بدنی لاغر و درصد رطوبت کم و تعداد ورود کم باشد.	۴
۲۴	اگر میزان پوشش خیلی زیاد و دمای بیرون سرد و سن جوان و شاخص توده بدنی لاغر و درصد رطوبت کم و تعداد ورود کم باشد.	۵
۲۵	اگر میزان پوشش خیلی کم و دمای بیرون معتدل و سن جوان و شاخص توده بدنی لاغر و درصد رطوبت کم و تعداد ورود کم باشد.	۶
۲۴	اگر میزان پوشش کم و دمای بیرون معتدل و سن جوان و شاخص توده بدنی لاغر و درصد رطوبت کم و تعداد ورود کم باشد.	۷
۲۴	اگر میزان پوشش متوسط و دمای بیرون معتدل و سن جوان و شاخص توده بدنی لاغر و درصد رطوبت کم و تعداد ورود کم باشد.	۸

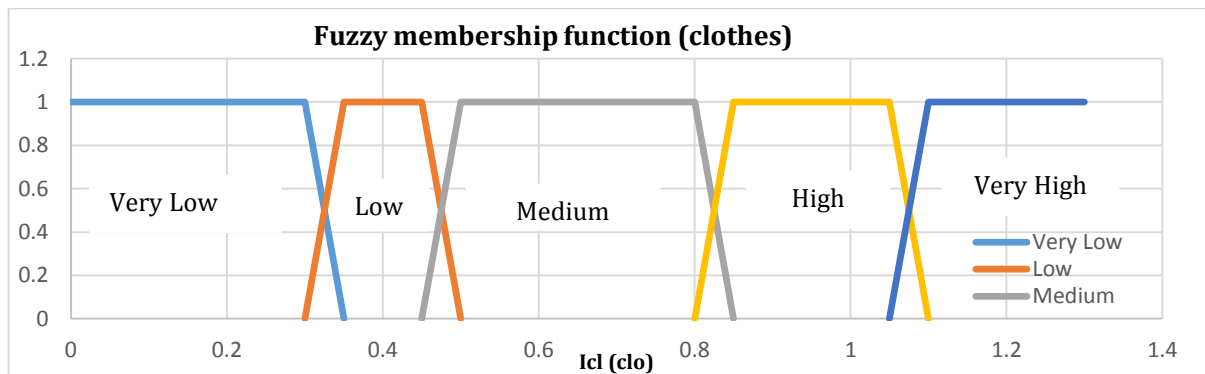
۳-۴- تابع عضویت استفاده شده برای شاخص توده بدنی
 به‌عنوان ورودی چهارم شاخص توده بدنی در افراد مختلف است که به سه گروه تناسبی (کم، متوسط، زیاد) تقسیم‌بندی شده است و به‌صورت نمادین تابع عضویت ذوزنقه‌ای آن در شکل (۷) نمایش داده شده است.

۳-۵- تابع عضویت استفاده شده برای درصد رطوبت هوا
 به‌عنوان ورودی پنجم درصد رطوبت هوای بیرون خانه در افراد مختلف است که به دو گروه درصدی (کم، زیاد) تقسیم‌بندی شده است و به‌صورت نمادین تابع عضویت ذوزنقه‌ای آن در شکل (۸) نمایش داده شده است.

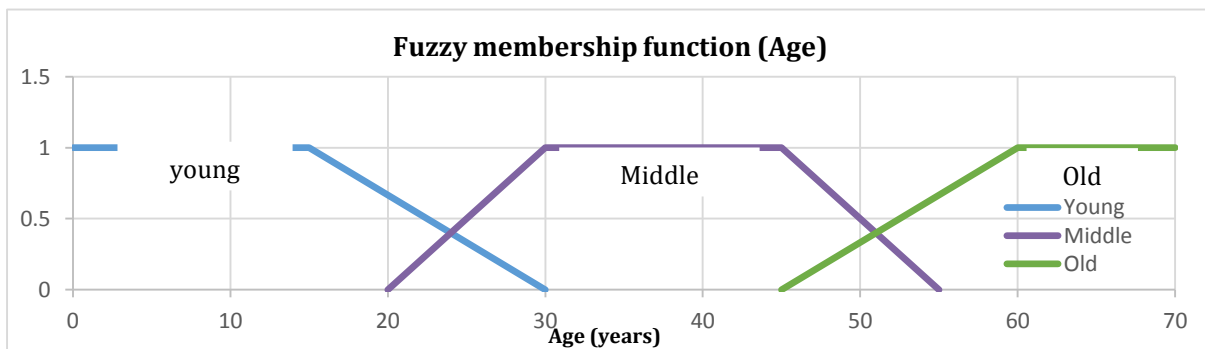
۳-۶- تابع عضویت استفاده شده برای تعداد افراد
 به‌عنوان ورودی ششم تعداد افراد داخل خانه می‌باشد که به سه گروه تعدادی (کم، متوسط، زیاد) تقسیم‌بندی شده است و به صورت نمادین تابع عضویت ذوزنقه‌ای آن در شکل (۹) نمایش داده شده است.

۳-۷- خروجی قوانین

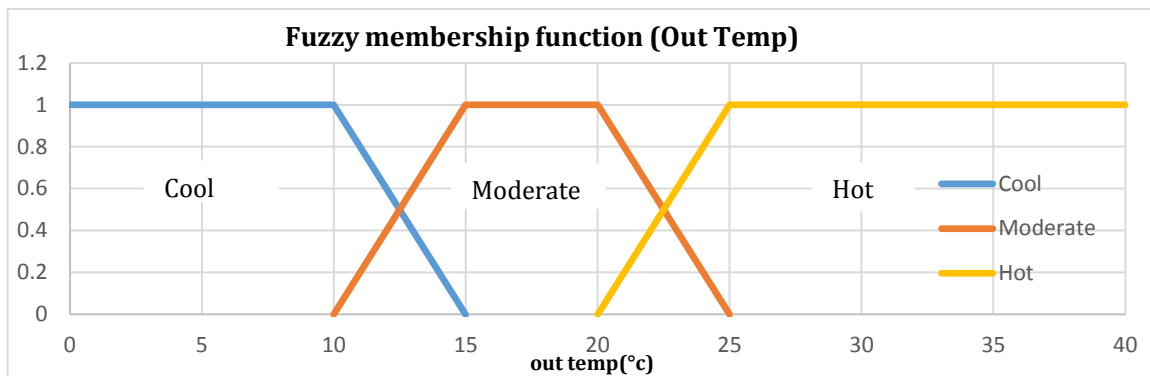
با توجه به توابع عضویت به‌دست آمده و بر اساس پرسش‌نامه و سیستم خبره دمای داخلی خانه به‌عنوان خروجی به‌دست



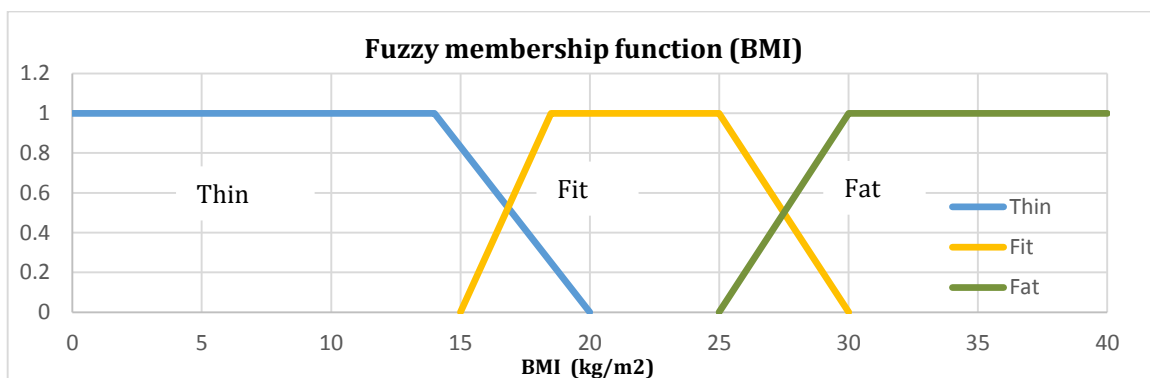
شکل ۴- تابع عضویت ذوزنقه‌ای میزان پوشش



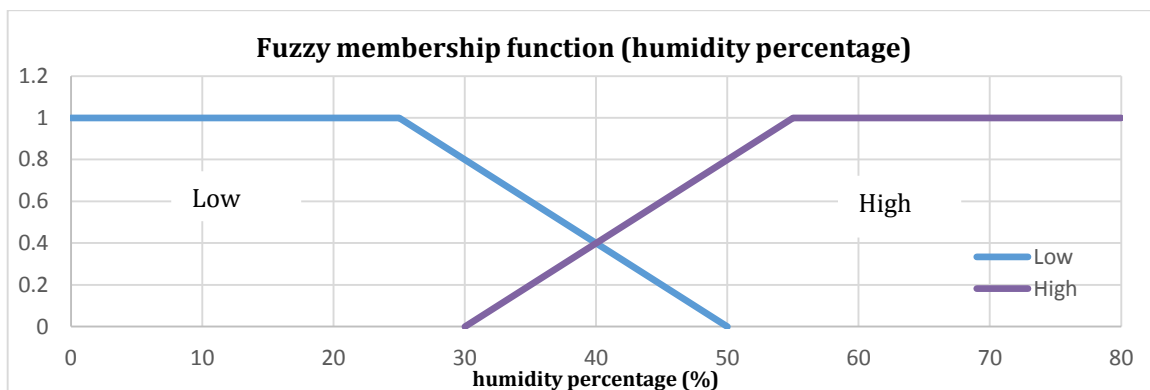
شکل ۵- تابع عضویت ذوزنقه‌ای سن



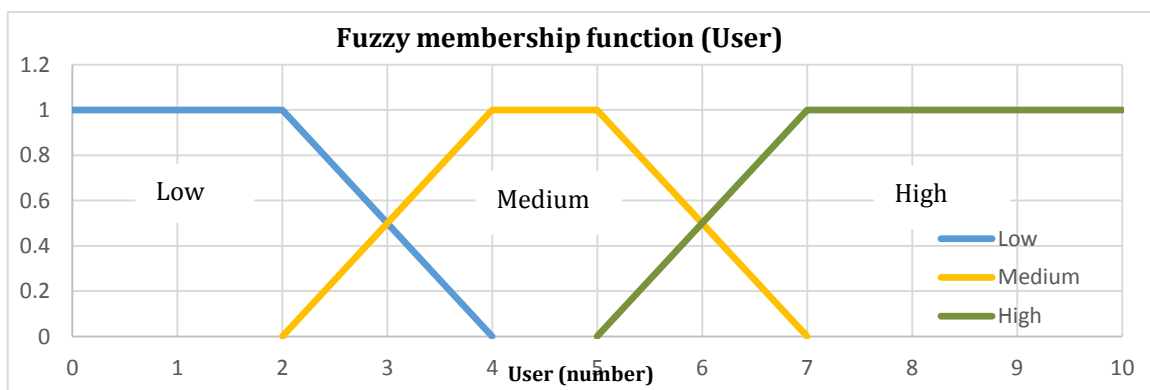
شکل ۶- تابع عضویت دوزنقه‌های دمای هوای بیرون از خانه



شکل ۷- تابع عضویت دوزنقه‌های شاخص توده بدنی



شکل ۸- تابع عضویت دوزنقه‌های درصد رطوبت هوا



شکل ۹- تابع عضویت دوزنقه‌های تعداد نفرات

۴- تفسیر نتایج و خروجی‌ها

با توجه به سیستم خبره طراحی شده و با استفاده از قوانین نوشته شده که تعدادی از این قوانین در جدول (۴) آورده شده است، یک سیستم هوشمند تعیین دمای خروجی در اکسل نوشته

شده است که این سیستم بر اساس مقادیر کمی و کیفی شش ورودی با توجه به قوانین، میزان دمای خروجی را تعیین می‌نماید. در شکل (۱۰) نمایی از داشبورد طراحی شده در اکسل قابل رویت می‌باشد.

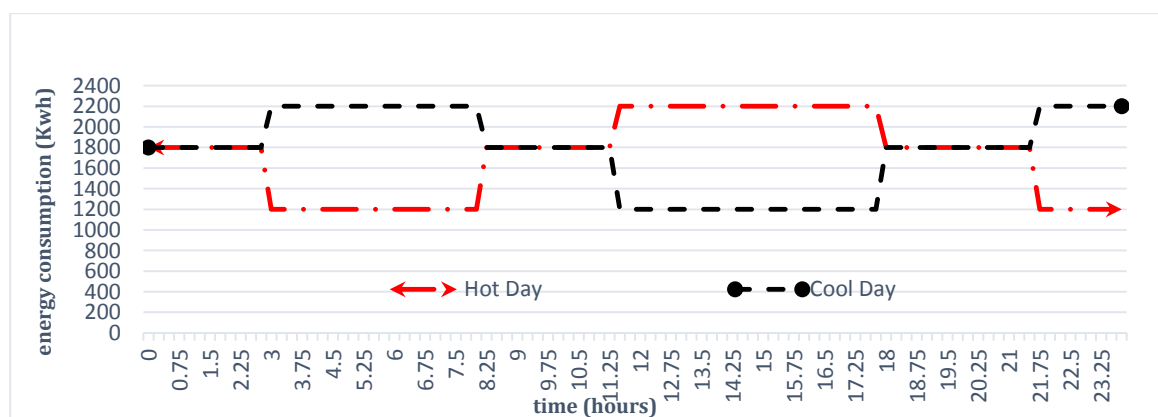


شکل ۱۰- داشبورد تعیین دمای خروجی در اکسل

۴-۱- میزان مصرف انرژی

طبق مطالعات موردی صورت گرفته به‌طور کلی برای یک خانه با مساحت ۱۰۰ مترمربع یک کولر گازی با ظرفیت سرمایشی و گرمایشی ۳۰۰۰۰ BUT/h مورد نیاز می‌باشد. چون در اینجا بحث مقیاس بین تعیین دمای سیستم خبره طراحی شده و سیستم تنظیم دمای سنتی مطرح می‌باشد، پرمصرف یا کم‌مصرف بودن

کولر گازی تفاوتی در این پژوهش نمی‌کند. بنابراین با توجه به توان مصرفی و ترموستات موجود در کولر گازی می‌توان نموداری را برای میزان مصرف کولرگازی در طول یک روز را بر اساس میزان مصرف و با توجه توان مصرفی کولر و مشخصات ارائه شده آن توسط کارخانه سازنده در روزهای سرد و گرم در شکل (۱۱) رسم نمود.



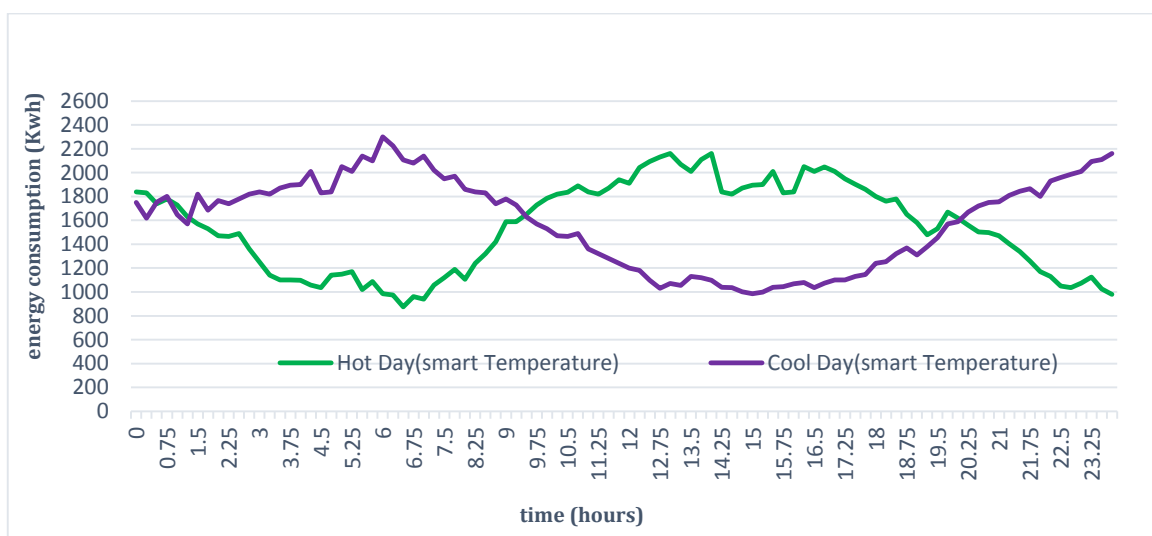
شکل ۱۱- نمودار مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی براساس تنظیم دمای دستی

برق (آمپر متر) به صورت آزمایشی به دست آمده است و تبدیل به واحد مد نظر یعنی کیلووات ساعت شده است.

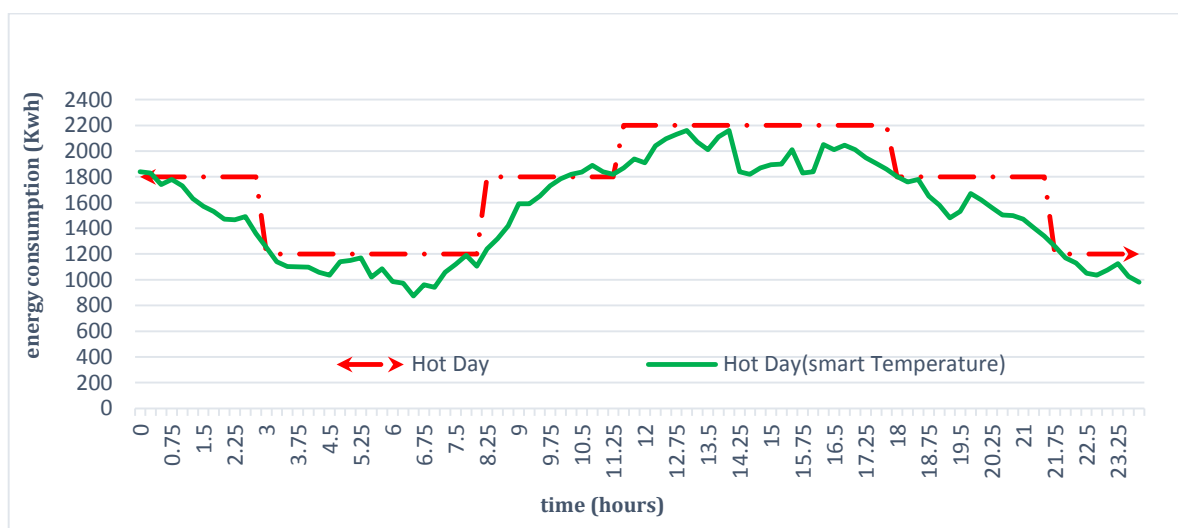
۴-۲- مقایسه نمودارها

برای مقایسه بهتر و بررسی دقیق تر نتایج، دو نمودار قبل یعنی میزان مصرف در حالت تنظیم دما به صورت دستی (شکل (۱۱)) و میزان مصرف براساس تنظیم دما در حالت هوشمند با استفاده از سیستم خبره و داشبورد طراحی شده (شکل (۱۲)) در نمودار شکل (۱۳) برای روز گرم و در نمودار شکل (۱۴) برای روز سرد آورده شده‌اند.

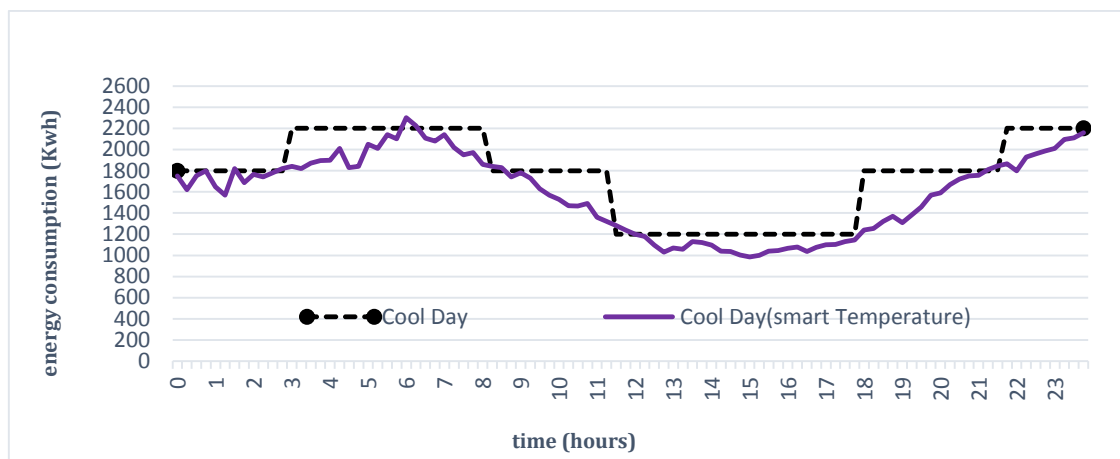
نمودار فوق میزان مصرف انرژی در یک مصرف کننده براساس تنظیم دمای دستی به میزان ۲۳ درجه سانتی گراد در روز گرم سال و میزان ۲۸ درجه سانتی گراد در روز سرد سال را نشان می‌دهد. با استفاده از سیستم خبره و تنظیم دمای هوشمند براساس آن می‌توان میزان مصرف انرژی را در شکل (۱۲) نشان داد. همان طور که در نمودار دیده می‌شود دما براساس سیستم خبره در هر ساعت از شبانه روز بر اساس شرایط حاضر (شش مؤلفه پوشش، سن، دمای بیرون، شاخص توده بدنی، درصد رطوبت و تعداد ورود افراد) دچار تغییر می‌شود و به طبع آن کولر مد نظر هم میزان مصرفش تغییر می‌نماید. در این نمودار با توجه به اینکه دما در هر چند دقیقه احتمال تغییر را دارد، میزان مصرف با وسیله اندازه‌گیری مصرف



شکل ۱۲- نمودار مصرف انرژی سرمایه‌ی و گرمایشی براساس تنظیم دمای هوشمند



شکل ۱۳- مقایسه نمودار مصرف انرژی سرمایه‌ی براساس تنظیم دمای هوشمند و دستی



شکل ۱۴- مقایسه نمودار مصرف انرژی گرمایشی براساس تنظیم دمای هوشمند و دستی

۵- تحلیل نتایج

با پیاده‌سازی مدل سیستم هوشمند تعیین دما میزان مصرف انرژی در هر ساعت از شبانه‌روز کاهش محسوسی را نشان می‌دهد به طوری که میزان مصرف انرژی سرمایشی در روز گرم سال با تنظیم دمای هوشمند سیستم خیره حدود ۱۰/۲ درصد نسبت به تنظیم دمای دستی کاهش داشته است و همچنین میزان مصرف انرژی گرمایشی در روز سرد سال با تنظیم دمای هوشمند سیستم خیره حدود ۹/۷ درصد نسبت به تنظیم دمای دستی کاهش داشته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت با استفاده از این سیستم طراحی شده در ساختمان می‌توان تا حد زیادی میزان مصرف انرژی را صرفه‌جویی نمود و با صرف هزینه کمی، میزان قبوض انرژی را تا ۱۰٪ در طول ۲۴ ساعت کاهش داد که در بلندمدت مبلغ قابل توجهی می‌باشد. برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌گردد سایر مشخصه‌های احساسی و قومیتی برای ایجاد مدل لحاظ گردد.

۶- مراجع

- استاندارد "تعیین شاخص‌های حرارتی PMD و PPD و معیارهای آسایش حرارتی موضعی"، سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۷۱، چاپ اول.
- Harkouss F, Fardoun F, Biwole PH, "Multi-objective optimization methodology for net zero energy buildings", *Journal of Building Engineering*, 2018, 16, 57-71. 10.1016/j.jobe.2017.12.003
- Joo IY, Chol DH, "Distributed optimization framework for energy management of multiple smart homes with distributed energy resources", *Digital Object Identifier*, 2017, 32, 10-1109. 10.1109/ACCESS.2017.2734911
- Lorena Tuballa M, Lochinvar Abundo M, "A review of the development of Smart Grid technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 59, 710-725.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.011>

Mogles N, Padget J, Gabe. Thomas E, Walker I, Lee J, "Computational model for designing energy behaviour change interventions", *User Model User-Adap Inter*, 2018, 28, 1-34.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11257-017-9199-9>

Mohammadi M, Noorollahi Y, Mohammadi B, Hosseinzadeh, M, Yousefi H, Torabzadeh Khorasani S, "Optimal management of energy hubs and smart energy hubs- A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 42, 152-163. 10.1016/j.rser.2018.02.035

Tarish Haider H, Hang See O, Elmenreich W, "A review of residential demand response of smart grid", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 59, 166-178.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.016>

EXTENDED ABSTRACT

Temperature Optimization of Small Smart Residential Buildings Using Fuzzy Inference Rules Considering User Comfort

Yazdan Daneshvar ^a, Majid Sabzehparvar ^{b,*}, Seyed Amir Hossein Hashemi ^c

^a Department of Civil Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

^b Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

^c Department of Civil Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Received: 22 December 2021; **Review:** 22 February 2022; **Accepted:** 26 February 2022

Keywords:

Smart home, Smart temperature regulation, Expert rules, Energy optimization, User comfort.

1. Introduction

The present article is a model for the optimal management of energy consumption of smart residential buildings by considering the emotional characteristics to ensure the comfort of residents. In order to smarten the indoor temperature based on emotional components (clothing, outdoor temperature, age, body mass index (BMI¹), humidity and number of residents) by expert system and questionnaire, temperature has been determined as a basis. Mogles et al, in an article entitled Designing Behavioral Interactions of Energy Changes for a Computational Model, investigated creating a structure to fit various types of models and using the simulation model as a tool for evaluation, which affects consumption decisions. According to the results, the presented model can predict the energy saving behavior much better than the existing stochastic models and correctly estimate the effect of the accepted technologies. Also, the analytical model can become a decision-making system in accordance with the change of energy behavior (Mogles et al., 2018).

2. Methodology

This article intends to model the energy consumption behaviors of individuals with the help of the presented expert system. In this article, energy consumption behavior is studied and its statistical population is selected from people of different genders and ages in different environments. The tool used is based on Excel software. According to the purpose of this article, the factors affecting the energy consumption behavior of people in the environment should be identified first and then the existing laws should be extracted and validated by examining the observations. Therefore, the factors affecting consumption are identified. Considering that the main purpose of the research is to present a model of rules with the help of set theory of questions, a summary of set theory of these questions and the basic concepts related to it are described. Then, with the modeling process of the existing theory, it continues with the help of data on the behavior of people in selected environments, and finally, the outputs of the implementation of different models are presented with the help of software. Finally, a comparison between the results of the models in terms of temperature determination and energy consumption and optimization is performed.

2.1. Output temperature validation

For validation of this article, the standard of determining PMD and PPD thermal indices and local thermal comfort criteria have been used. For this purpose, 5 items of validation rules have been validated. The result of this validation is acceptable compliance with the mentioned standard (Determination of PMD thermal indices And PPD and local thermal comfort criteria, 1992).

2.2. Validation result

The results of the validation show that there is only a difference of 0.5 degrees between the existing laws in the second law, and considering that the PMV value is between 0.5 and -0.5, so the expert system and the temperature determined by this The system has worked properly.

3. Modeling and design of fuzzy expert system

Considering that the purpose of this research is to design an expert system and present a model, therefore, a design method for measuring people's satisfaction with optimal temperature with respect to six factors has been presented, which is an expert system that can be used in all residential buildings.

3.1. Membership functions used for emotional indicators

Six factors that determine the emotional characteristics of residents (age, body mass index, coverage, humidity, outdoor temperature and number of users) are included as input. For example, the coverage of different people is divided into five coverage groups (very low, low, medium, high, very high) and its trapezoidal membership function is symbolically shown in Fig. 1.

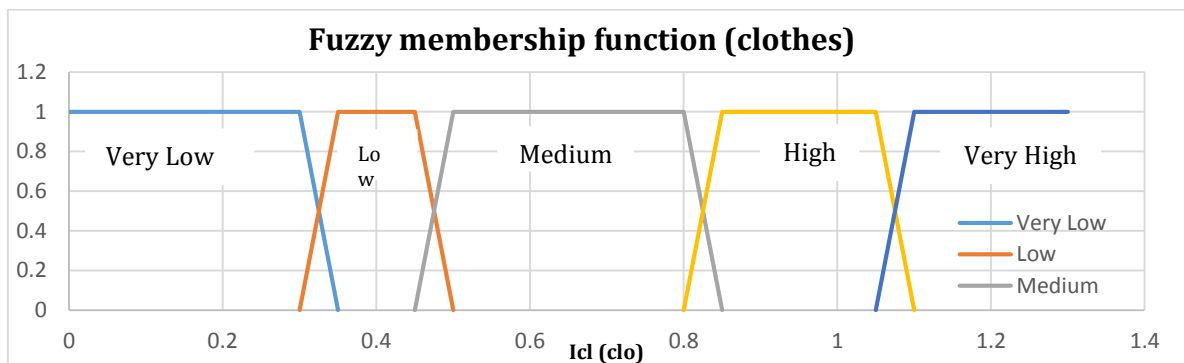


Fig. 1. The coverage trapezoidal membership function

4. Interpretation of results and outputs

According to the expert system designed and using the written rules, an intelligent system for determining the output temperature is written in Excel, which determines the output temperature based on the quantitative and qualitative values of these six inputs according to the rules.

4.1. Compare charts

For better comparison and more detailed review of the results, two graphs, namely the amount of consumption in the temperature setting mode manually and the consumption rate based on the temperature setting in the smart mode using the expert system and dashboard designed in the diagram in Fig. 2 for hot days and in The diagrams in Fig. 3 are for the cold day.

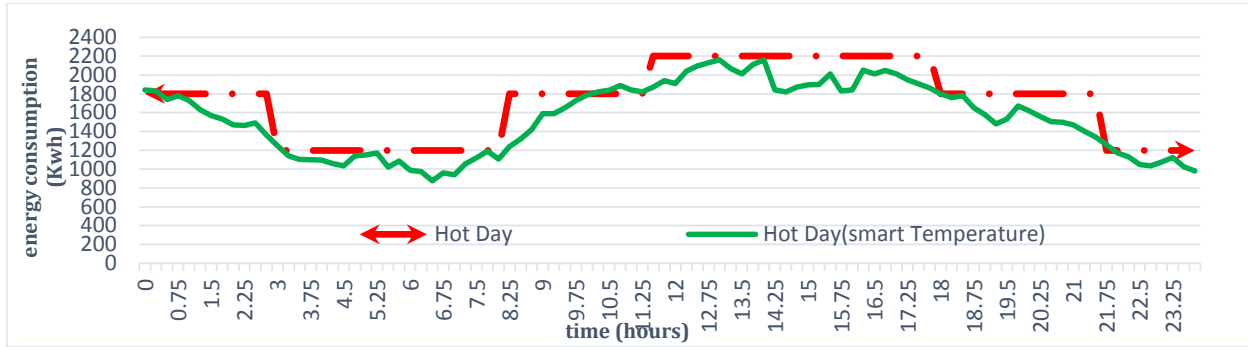


Fig. 2. Comparison of cooling energy consumption charts based on intelligent and manual temperature adjustment

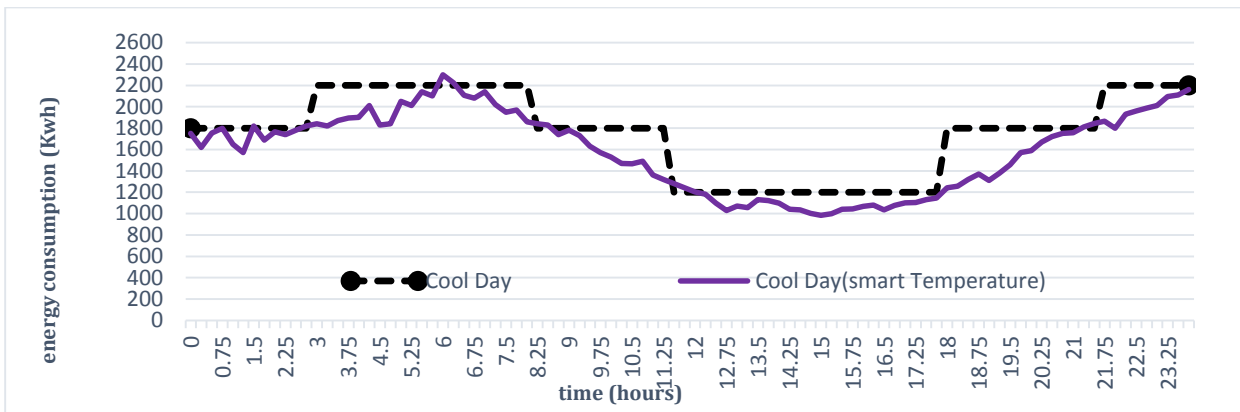


Fig. 3. Comparison of cooling energy consumption charts based on intelligent and manual temperature adjustment

5. Conclusions

By implementing the smart system model, temperature determination shows a significant reduction in energy consumption per hour of the day and night, so that the amount of cooling energy consumption on hot days of the year by reducing the intelligent temperature of the expert system has decreased by about 10.2% compared to manual temperature adjustment. Also, the amount of heating energy consumption on the cold day of the year by adjusting the intelligent temperature of the expert system has decreased by about 9.7% compared to manually adjusting the temperature. Therefore, it can be concluded that using this system designed in the building can save a lot of energy consumption and with a small cost, reduce the amount of energy bills by up to 10% in 24 hours, which is a significant amount in the long run. For future research, it is suggested that other emotional and ethnic characteristics be considered to create the model.

5. References

- Standard "Determination of PMD and PPD thermal indices and local thermal comfort criteria", National Standard Organization of Iran, 1992, First Edition.
- Mogles N, Padgett J, Gabe. Thomas E, Walker I, Lee J, "Computational model for designing energy behaviour change interventions", *User Model User-Adap Inter*, 2018, 28, 1-34.
- <https://link.springer.com/article/10.1007/s11257-017-9199-9>