مجله مهندسی مکانیک مدرس، مهر 1395، دوره 16، شماره 13، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص 47-50

مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین‌المللی تهویه‌مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی
بیرجند، دانشگاه بیرجند، 6 و 7 مهر 1395

مهندسی مکانیک مدرس
mme.modares.ac.ir

اثر رفتار ساکنین در میزان مصرف انرژی در ساختمان‌ها

هادی رامین[1]*، پدرام حنفی زاده[2] و محمد علی اخوان بهابادی[3]

1- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران، تهران
2- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران، تهران
3- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران، تهران
* تهران، صندوق پستی 11155-4563، hadi.ramin@ut.ac.ir

چکیده

بین طراحی و عملکرد واقعی انرژی ساختمانها فاصله وجود دارد، تفاوت عملکردی حتی در ساختمان‌های مشابه هم نیز وجود دارد به‌گونه‌ای که ساختمان‌های کاملا مشابه، عملکرد انرژی متفاوتی دارند. به‌نظر می‌رسد که این مهم وابسته به نوع کاربری افراد ساکن در ساختمان بوده و در واقع رفتار ساکنین منجر به ایجاد چنین تغییراتی شده است. در مقاله حاضر رفتار ساکنین در میزان مصرف انرژی در ساختمان‌ها مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. رفتار ساکنین یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار در میزان مصرف انرژی در ساختمان‌ها بوده و باعث ایجاد عدم قطعیت در تخمین میزان مصرف انرژی می‌شود. تحقیقات صورت گرفته در این حوزه در این مقاله بررسی شده‌اند و وضعیت فعلی بررسی رفتار ساکنین در مصرف انرژی ارزیابی شده و چالش‌های این حوزه بررسی شده است.

کلید واژگان: مصرف انرژی، رفتار ساکنین، طراحی و عملکرد ساختمان‌ها

Occupants' behavior and their effect on energy consumption in buildings

Hadi Ramin*, Pedram Hanafizadeh, Mohammad Ali akhavan behabadi

Department of Mechanical Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
* P.O.B. 11155-4563, Tehran, Iran, hadi.ramin@ut.ac.ir

ABSTRACT

There is a gap between the design performance and the actual energy consumption of buildings. The previous results showed that energy consumption may change considerably even in identical buildings. Occupants in the buildings are responsible for these variations, therefore, understanding their behavior may help to bridge the gap between design and actual energy consumption of buildings. In this paper, occupants' behavior as an important factor in energy saving have been considered. The recent advances in this filed are reviewed in order to understand its current situation.

Keywords: Occupants' behavior, Energy consumption, Building design and operation

1- مقدمه

رفتار ساکنین در ساختمان‌ها می‌تواند اثرات مهمی بر میزان مصرف انرژی در ساختمان‌ها داشته باشد و باعث شود تا فاصله زیادی بین عملکرد پیش‌بینی شده و واقعی مصرف انرژی در ساختمان به‌وجود آید. بی‌توجهی به رفتار ساکنین در ساختمان در هنگام طراحی ممکن است باعث ناکارآمدی سیستم‌های سرمایش، گرمایش و تهویه مطبوع شده و عدم رضایت ساکنین را به دنبال داشته باشد. بنابراین رفتار ساکنین تاثیر قابل ملاحظه‌ای نیز در سایز و ظرفیت تجهیزات تهویه مطبوع خواهند داشت. رفتارهای مرتبط با مصرف انرژی ساکنین در ساده‌ترین شکل‌های آن شامل تنظیم دمای ترموستات، باز و یا بسته کردن پنجره‌ها، خاموش و یا تنظیم نور روشنایی فضا، کشیدن و یا برداشتن پرده، روشن و یا خاموش کردن سیستم‌های تهویه مطبوع و حرکت و جابه‌جا شدن بین فضاها می‌باشد. علاوه‌بر این‌ها، سایر رفتارهای تطبیقی ساکنین از جمله نحوه پوشیدن لباس، مصرف نوشیدنی‌ها و تغییر در نرخ متابولیک بدن مصرف انرژی در ساختمان‌ها را متاثر می‌کنند. در حقیقت رفتارهای ساکنین می‌تواند به‌صورت مستقیم (تنظیم دمای ترموستات و ...) و هم غیرمستقیم (نحوه پوشیدن لباس و ...) در میزان مصرف انرژی در ساختمان‌ها موثر می‌باشند [1].

موضوع رفتار ساکنین در ساختمان‌هایی که به‌صورت منفعل[1]، گرمایش، سرمایش و تهویه می‌شوند بسیار با اهمیت‌تر خواهد بود، چرا که در این ساختمانها، برخلاف ساختمان‌های با سیستم‌های تهویه مکانیکی، ایجاد تغییرات آنی در دما و آسایش حرارتی ساختمان، به‌راحتی امکان‌پذیر نمی‌باشد و تغییرات به سختی قابل اعمال می‌باشد. رفتار ساکنین در واقع متشکل از هرگونه عکس‌العمل ساکنین می‌باشد که پتانسیل این را داشته باشد که بر مصرف انرژی در ساختمان تاثیر بگذارد، به‌عنوان مثال در ساختمان‌های با سیستم‌های مکانیکی، چنانچه فرد ساکن در ساختمان احساس گرما کند (آسایش حرارتی خود را از دست داده باشد) عکس‌العمل او می‌تواند، تنظیم مجدد سیستم‌های ساختمان، باز کردن پنجره و در، نوشیدن لیوانی آب، درآوردن لباس و ... باشد، هر کدام از این رفتارها، مصرف انرژی متفاوتی خواهند داشت و از این روست که رفتار ساکنین عامل مهمی در مصرف انرژی می‌باشد. در "شکل 1" دیاگرام محرک‌های ساکنین جهت اعمال تغییر در محیط خود و تاثیر این تغییرات در مصرف انرژی و در نهایت ایجاد شرایط

[1] Passive

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:
Please cite this article using:
H.Ramin, P.Hanafizadeh, M. A.akhavan behabadi, Occupants' behavior and their effect on energy consumption in buildings, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Second International Conference on Air-Conditioning, Heating and Cooling Installations*, Vol. 16, No. 13, pp. 47-50, 2016 (in Persian فارسی)

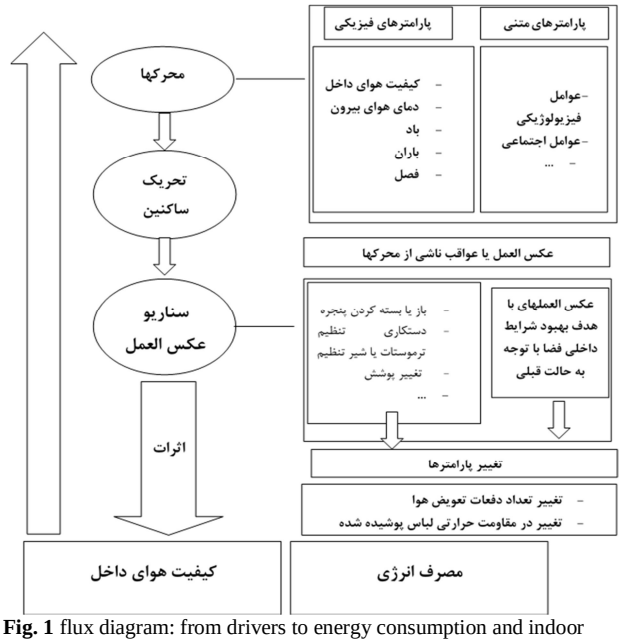

Fig. 1 flux diagram: from drivers to energy consumption and indoor environment [2]

شکل 1 دیاگرام جریان از محرک‌ها تا مصرف انرژی و بهبود شرایط داخلی محیط [2]

آسایش حرارتی در محیط و تغییر کیفیت هوای داخل نشان داده شده است [2].

یکی از راه‌های برجسته کردن اثرات رفتار ساکنین در ساختمان‌ها، بررسی آنالیز انرژی در ساختمان‌های مشابه می‌باشد. ساکولو [3] و ساندرگر [4] از این شیوه برای بررسی رفتار ساکنین استفاده کردند. ساکولو [3] مصرف انرژی را در بین 20 خانه مسکونی مشابه با هم مقایسه کرد و مشاهده کرد که اختلاف زیادی بین انرژی مصرف شده وجود دارد. ساندرگر [4] نیز مصرف گاز طبیعی را در 205 خانه شهری مشابه با هم مقایسه کرد و به نتیجه مشابهی رسید.

در استاندارد اشری 90.1 [5] بیان می‌دارد که اختلاف بسیار زیادی بین مصرف انرژی اندازه‌گیری شده واقعی و طراحی وجود دارد. این موضوع کاربرد و اثر شبیه سازهای عملکرد ساختمان‌ها را محدود ساخته است، چرا که به طراحی‌ها نمی‌توان اعتماد کرد. از این‌رو کسب درک بهتری از رفتار ساکنین در ارتباط با ساختمان‌ها، می‌تواند فاصله بین انرژی مصرف شده واقعی در ساختمان‌ها و انرژی مصرفی پیش‌بینی شده را کمتر کند. با این حال مسئله کمی کردن رفتار ساکنین چالشی پیش روی محققان است.

مطالعات و پیشرفت‌های اخیر در بررسی و کمی کردن رفتار ساکنین در ساختمان‌ها را می‌توان در سه بخش دسته‌بندی کرد: الف: جمع‌آوری داده همچون حسگرهای آنی از راه دور جهت بررسی ارتباط ساکنین با تکنولوژی‌های ساختمان ب: مدل‌سازی و تحلیل به منظور استخراج مدل رفتاری از داده‌های میدانی و ج: تکنیک‌های شبیه‌سازی به منظور کمی کردن مصرف انرژی مرتبط با رفتار ساکنین. در ادامه هر کدام از این مباحث بررسی و تحلیل می شوند.

2- تکنیک‌های جمع‌آوری داده

جمع‌آوری داده به منظور بررسی رفتار ساکنین در جهت بهینه کردن عملکرد انرژی ساختمان از جمله چالش‌های طراحی پایدار ساختمان می‌باشد. مطالعات و پیشرفت‌های اخیر را می‌توان در چهار حوزه الف: حضور ساکنین و جابجایی آن‌ها، ب: آسایش حرارتی، ج: پنجره‌ها و کرکره و د: تجهیزات الکتریکی و روشنایی دسته‌بندی کرد.

الف: حضور ساکنین و جابه‌جایی آن‌ها: استفاده از سنسورهای وایرلس و یا کامپیوترهای پوشیدنی[1] برای مشخص کردن حضور و یا جابه-جایی ساکنین که پارامتری مهم و تاثیرگذاری بر روشنایی، دمای تنظیم ترموستات، تجهیزات تهویه مطبوع، نیاز به هوای تازه و ... می‌باشد، بسیار کاربردی می‌باشد. معمولا نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی، متکی بر برنامه مشخص، همگن و استاندارد حضور ساکنین می‌باشند و بنابراین دقت کافی را جهت شبیه‌سازی ندارد. دستیابی به اطلاعات حضور ساکنین این امکان را فراهم می‌سازد که با تنظیم مناسب استراتژی‌های سرمایش، گرمایش و تهویه مطبوع، صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در مصرف انرژی به‌وجود آید [6]. در بسیاری از کشورهای دنیا از روش‌های آماری نیز جهت برآورهای کلی استفاده می‌شود از جمله این موارد می‌توان به برآورد گذران وقت[2] اشاره کرد که لازم است مراکز آماری کشور ما نیز طرح‌های آماری متناسب را پیاده‌سازی نمایند.

ب: آسایش حرارتی: آسایش حرارتی به‌صورت رضایت ساکنین از شرایط حرارتی محیط تعریف می‌شود. مصرف انرژی متاثر از استراتژی کنترلی سیستم‌های تهویه مطبوع می‌باشد. محرک‌های اصلی رفتارهای منجر به تغییر گرمایش فضا عبارتند از: فاکتورهای محیطی، فاکتورهای مرتبط با سیستم‌ها، فاکتورهای مرتبط با رفتار ساکنین و سایر فاکتورها (از جمله زمان در روز و یا هفته و ...) می‌باشد. روش‌های تکنیکی که دخالت ساکنین در عملکرد تجهیزات را محدود کند به‌نظر می‌رسد که باعث طراحی بهتری در راستای صرفه‌جویی در مصرف انرژی شود، با این‌حال مطالعات نشان داده است که ساکنین با داشتن کنترل بر روی تجهیزات رضایت بیشتری خواهند داشت و از این‌رو لازم است که رفتار ساکنین در این خصوص نیز مورد توجه قرار گیرد.

ج: پنجره، سایبان و کرکره (پرده): با کمک پنجره، سایبان و کرکره به ساکنین این امکان داده می‌شود تا سطح آسایش حرارتی و دیداری خود را کنترل کنند. عملکرد این تجهیزات منجر به تغییر شرایط حرارتی و دیداری، کیفیت هوای داخل و مصرف انرژی می‌شود. مطالعات در این خصوص متمرکز بر باز بودن یا بسته بودن، میزان بازشدگی، تغییرات فصلی و همچنین موقعیت در انتهای روز این تجهیزات بوده‌اند. جهت بهتر درک کردن الگوی حاصل از این داده‌ها روش‌های عددی پیشرفته همچون داده‌کاوی استفاده شده است [7]. با استفاده از تکنیک داده کاوی محرک‌ها رفتاری باز و بسته شدن پنجره به صورت الگوهای تحریک گرمایی، الگوهای تحریکی زمانی، الگوهای فعال بودن یا نبودن و الگوهای بازبودن دسته بندی شده است [7]. استفاده مناسب از پنجره، سایبان و کرکره می‌تواند صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای ایجاد کند.

د. **تجهیزات الکتریکی و روشنایی**: تجهیزات روشنایی در حدود 25.5 درصد از انرژی مصرف شده در ساختمان‌های تجاری آمریکا را تشکیل می‌دهند [8]، که نشان‌دهنده وجود پتانسیل بالا در راستای صرفه‌جویی می‌باشد. انواع شیوه‌های کنترلی همچون تکنیک‌های تشخیص حضور ساکنین، سنسورهای پسیو مادون قرمز و تشخیص تصویری حضور ساکنین به کاهش مصرف انرژی کمک کرده‌اند. علاوه بر این‌ها تحقیقات نشان داده است که مانیتورینگ آنی وسایل الکتریکی و ایجاد یک سیستم تصویری انرژی برای

[1] wearable computers
[2] time use survey

ساکنین می‌تواند تا 9 درصد صرفه‌جویی انرژی ایجاد کند.

جمع‌آوری داده‌ها به‌منظور بررسی حضور ساکنین و جابه‌جایی آن‌ها؛ آسایش حرارتی، پنجره‌ها، سایبان‌ها و کرکره‌ها و همچنین روشنایی و تجهیزات الکتریکی، نیازمند سیستم مدیریتی داده‌های جمع‌آوری شده از حضور ساکنین، انرژی مصرفی و روشنایی، داده‌های آب و هواشناسی و ... می‌باشد. عموما ترجیح بر آن است که تعداد داده‌های جمع‌آوری شده بیشتر و همچنین زمان جمع‌آوری آن‌ها طولانی‌تر باشد، اما محدودیت زمانی و هزینه‌ای اجازه این‌کار را نمی‌دهد. معمولا داده‌های فردی، رفتاری و محیطی در طول زمان جمع‌آوری و یکپارچه شده تا با محرک رفتار خاصی تطابق داده شود.

3- روش‌های مدل‌سازی و تحلیل رفتار ساکنین

استانداردسازی دسته‌بندی و کمی‌سازی متغییرهای توصیفی رفتار ساکنین بر عملکرد ساختمان‌ها توسط پیوست IEA EBC 66 و با عنوان: تعریف و شبیه‌سازی رفتار ساکنین در ساختمان‌ها ارائه شده است. موجودیت رفتار ساکنین در قالب چارچوبی به نام DNAS (محرک، نیاز، سیستم، عمل)، نمود پیدا کرده است.

برای مدل‌سازی رفتار ساکنین دو نوع مدل ضمنی و صریح وجود دارد. مدل‌های ضمنی که برمبنای یک متغیر پیش‌بینی کننده، نیروهای محرک اصلی عامل رفتار ساکنین را مشخص کرده و یا حالت سیستم ساختمان و یا اتفاق افتادن عملی را پیش‌بینی می‌کند. در واقع مدل‌های ضمنی به جای بررسی خود ساکنین به‌طور مستقیم به‌دنبال قواعدی است که ارتباط بین سیستم‌های فیزیکی (به‌عنوان مثال پنجره، روشنایی و غیره) و پارمترهای محیطی را مشخص می‌کند. این مدل‌ها شامل، رگرسیون خطی و لجستیک، معادلات احتمالی، آنالیزهای آماری از داده‌های اندازه‌گیری شده ساکنین و .. می‌باشد. مدل‌های صریح که برمبنای یک رفتار مانیتور شده می‌باشند، حالت و وضعیت سیستم ساختمان و یا رفتار ساکن را نشان می‌دهد. در واقع در این مدل‌ها با قواعدی سروکار دارند که مستقیما با ساکنین در ارتباط هستند. سه فرم عمده و مرسوم از مدل‌های رفتار ساکنین عبارتند از الف: زنجیره مارکف یا مدل‌سازی برمبنای عامل ب: فرایند برنولی و ج: آنالیز بقا می‌باشد [7]. آنالیز برنولی به گونه‌ای است که مستقل از حالت یا وضعیت قبلی است (بدون حافظه و یا مستقل از حالت قبلی). اگرچه این روش به آسانی و سادگی مورد استفاده می‌باشد، اما در پیش‌بینی آسایش فردی و رفتار افراد ناتوان می‌باشد. در مقابل روش زنجیره مارکف وابسته به حالت قبلی بوده و از این‌رو می‌تواند مخصوصا در نمایش رفتار افراد موثر باشد. همچنین روش آنالیز بقا، یک رویکرد پیوسته زمانی می‌باشد که به‌منظور تخمین زمانی که یک عمل رخ می‌دهد به کار برده می‌شود.

چالش فعلی در مدل‌سازی‌ها، ساده‌سازی بیش از حد رفتار ساکنین می‌باشد. در واقع طبیعت استوکستیک رفتار ساکنین تبدیل به ورودی‌های قطعی و یکنواخت شده که غالبا تنوع رفتاری و استقلال عمل فردی را در نظر نمی‌گیرند. علاوه بر این چالش بزرگتری که وجود دارد این است که نمی‌توان به سادگی سلسله مراتب رفتاری را به‌عنوان مثال نحوه برخورد با چند مسئله متفاوت را به‌دست آورد.

4- شبیه‌سازی به‌منظور کمی کردن اثر رفتار ساکنین

یکپارچه کردن رفتار ساکنین با برنامه‌های شبیه‌سازی عملکرد ساختمان: این موضوع به محققان کمک خواهد کرد تا بتوانند با شبیه‌سازی رفتار ساکنین، نتایج شبیه‌سازی را به میزان مصرف واقعی انرژی نزدیک سازند. موتورهای شبیه‌سازی به محققان این اجازه را می‌دهند تا مدل‌های مختلف رفتار ساکنین را در شبیه‌سازی‌های خود به‌کار گیرند. روش‌های مختلفی برای یکپارچه کردن رفتار ساکنین وجود دارد و این روش‌ها در بعضی از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مانند EnergyPlus, TRANSYS و ... به‌کار برده شده‌اند [9].

اثر رفتار ساکنین بر صرفه جویی در مصرف انرژی: کمی کردن اثر رفتار ساکنین همچنان چالشی جدی می‌باشد. تخمین‌های متفاوتی از صرفه-جویی‌های در اثر رفتار ساکنین از 10 درصد تا 20 درصد برای ساختمان‌های مسکونی و از 5 تا 30 درصد برای ساختمان‌های تجاری صورت گرفته است. هونگ و همکاران [10] شیوه‌های کاری متفاوت را در یک ساختمان اداری یک اتاقی با هم مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که شیوه کاری صرفه جو در مصرف انرژی 50 درصد کمتر انرژی مصرف می‌کند در حالی که شیوه کاری هدر دهنده انرژی 90 درصد بیشتر انرژی مصرف خواهد کرد. ملاحظه می‌شود که کمی کردن میزان صرفه جویی متناسب با رفتار ساکنین ضعفی در تحقیقات حاضر می‌باشد و از مطالعه‌ای به مطالعه دیگر متفاوت می‌باشد.

به‌منظور حصول آسایش حرارتی، ساکنین از تکنولوژی‌های مختلف استفاده می‌کنند که عملکرد ساختمان را متاثر می‌سازد. مرسوم است که ساختمان‌های با مصرف انرژی پایین که عمدتا متکی بر استراتژی‌های منفعل یا پسیو می‌باشند، عمدتا به خاطر رفتار ساکنین، نمی‌توانند الزامات طراحی را برآورد سازند. از این کمی کردن رفتار ساکنین و همچنین استانداردسازی آن‌ها، نقش بسیار مهمی در پیاده‌سازی ساختمان‌های با مصرف انرژی پایین دارد. با ترکیب تکنولوژی‌های نوین ساختمانی، استانداردهای کمی شده رفتار ساکنین و نگهداری و عملکرد فعال سیستم‌ها، دستیابی به ساختمان با مصرف انرژی کم دور از انتظار نیست.

5- نتیجه‌گیری

بررسی رفتار ساکنین در ساختمان‌ها، یک موضوع بین‌رشته‌ای می‌باشد که از علوم اجتماعی و رفتار شناسی، تا مهندسی ساختمان، آمار و داده‌پردازی را در بر می‌گیرد.

عدم قطعیت که فراتر از رفتار کاربر و یا فیزیک محیط می‌باشد، نیز ممکن است در اثر این‌که کاربر می‌داند تحت کنترل است پیش آید. از این‌رو لازم است که استانداردهایی به‌منظور داده‌برداری تهیه و تنظیم شوند. چالش‌های دیگری نیز در مدل‌سازی رفتار ساکنین وجود دارد که از آن جمله می‌توان به نبود مدل‌های استاندارد، عدم کفایت پشتیبانی نرم‌افزارهای شبیه سازی و عدم انعطاف‌پذیری آن‌ها و ... اشاره کرد.

کاربردی بودن و عدم کفایت صحت‌سنجی و اعتبار مدل‌های رفتار ساکنین این سئوال را مطرح می‌سازد که تحقیقات در این زمینه به چه جهتی پیش خواهد رفت. در واقع می‌توان گفت که رفتار هر یک از ساکنین به خودی خود منحصربه فرد بوده و از این‌رو مفید بودن طبقه‌بندی رفتار ساکنین زیر سئوال است و به‌عنوان مثال نمی‌توان آن‌ها در دو دسته صرفه‌جو و هدردهنده انرژی دسته‌بندی کرد. با این‌حال با در اختیار داشتن حجم عظیمی از داده‌های رفتار ساکنین از اندازه‌گیری‌های میدانی و آنی، می‌تواند هم ساکنین و هم طراحان را به سمت صرفه‌جویی در مصرف انرژی راهنمایی کند. از آنالیز داده‌های در دسترس یا تحلیل حساسیت، پذیرفته شده است که رفتار ساکنین اثرات بسیار مهمی در میزان مصرف انرژی دارد. پیش‌بینی می‌شود که ارزیابی تکنولوژی‌ها، طراحی‌های تکنولوژیکی و طراحی پایدار، با مطالعات رفتار ساکنین بهتر پیشرفت خواهند داشت.

می‌توان چالش‌های در زمینه بررسی رفتار ساکنین را به‌صورت زیر خلاصه کرد: 1) جمع‌آوری داده‌های مفید و مناسب به‌منظور شبیه‌سازی و مدل‌سازی رفتار ساکنین 2) نبود دیدگاهی جامع و گسترده که بتواند رفتار ساکنین در ساختمان‌ها را به خوبی نشان دهد 3) تکامل مدل‌های رفتاری ساکنین، 4) کمی‌سازی رفتارهای مرتبط با صرفه‌جویی مصرف انرژی ساکنین و 5) ایجاد استانداردهای و معیارهای مناسب جهت یکپارچه کردن رقتار ساکنین جهت طراحی پایدار ساختمان‌ها.

6- مراجع

[1] T. Hong, S. C. Taylor-Lange, S. D'Oca, D. Yan, S. P. Corgnati, Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings, *Energy and Buildings*, Vol. 116, pp. 694-702, 2016.

[2] R. V. A. Valentina Fabi, Stefano Corgnati , Bjarne W. Olesen, Occupants' window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models, *Building and Environment*, Vol. 58, pp. 188-198, 2012.

[3] R. Socolow, The Twin Rivers program on energy conservation in housing:highlights and conclusions., *Energy and Buildings*, Vol. 1, pp. 207-242, 1977-78.

[4] R. Sonderegger, Movers and stayers: the resident's contribution to variation across houses in energy consumption for space heating, *Energy and Buildings*, Vol. 1, pp. 313-324, 1977-78.

[5] ASHRAE. *Standard 90.1: Energy Standard forBuildings Except Low-Rise Residential Buildings*, Accessed.

[6] K. S. Kyle Andersona, SangHyun Leea, Hyunsoo Leeb, Moonseo Park, Energy consumption in households while unoccupied: Evidence from dormitories, *Energy and Buildings*, Vol. 87, pp. 335-341, 2015.

[7] A.-F. o. M. Tatiana de Meestera, André De Herdea, Sigrid Reiterb, Impacts of occupant behaviours on residential heating consumption for detached houses in a temperate climate in the northern part of Europe, *Energy and Buildings*, Vol. 57, pp. 313–323, 2013.

[8] D. E. G. Julia K. Day, Understanding high performance buildings: The link between occupant knowledge of passive design systems, corresponding behaviors, occupant comfort and environmental satisfaction, *Building and Environment*, Vol. 84, pp. 114-124, 2015.

[9] S. C. T.-L. Tianzhen Hong, Simona D'Oca, Da Yan, Stefano P. Corgnati, Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings, *Energy and Buildings*, Vol. 116, pp. 694-702, 2016.

[10] H.-W. L. Tianzhen Hong, *Occupant Behavior: Impact on Energy Use of Private Offices*, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, pp. 2013.