نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸، صفحه ۲۹ – ۷

ارزیابی اثر رفتار ساکنان بر مقدار مصرف انرژی؛ نمونه موردی: مجموعه مسکونی شهید پاکدل در شهر اصفهان

[۱] الهه توکلی، [۲] زهرا سادات زمردیان*، [۳] محمد تحصیل‌دوست، [۴] محمدرضا حافظی

تاریخ دریافت:
۱۳۹۸ / ۰۸ / ۰۱

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۸ / ۰۹ / ۲۵

کلمات کلیدی:
ساختمان‌های مسکونی، مصرف برق، رفتار ساکنان، بهسازی ساختمان، برچسب انرژی

چکیده

عمده سهم مصرف انرژی در کشور و بیش از یک سوم اتلاف آن در کاربری مسکونی است. سرانه مصرف برق خانگی فاصله زیادی با استاندارد جهانی دارد و وجود یارانه حامل‌های انرژی در ایران و در نتیجه قیمت پایین آنها، باعث کم‌توجهی ساکنان نسبت به مصرف انرژی می‌شود. نظر به سیاست حذف یارانه‌ها نمی‌توان تأثیر بهسازی ابنیه و رفتار متصرفین بر مصرف را نادیده گرفت. هدف از این تحقیق بررسی اثر رفتار کاربران بر مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی شهر اصفهان است. جامعه آماری، ساختمان‌های مسکونی (۷۸ واحد با تیپ یکسان) کوی شهید پاکدل است، که ۶۱ واحد از آنها به روش تمام شماری به عنوان نمونه انتخاب شدند. ارزیابی وضعیت بهسازی و مصرف انرژی ساختمان‌ها در حالت موجود نشان داد، اقدامات بهسازی انجام شده و رده برچسب انرژی در ٪۴۰ از واحدهای مسکونی مورد بررسی به سه دسته تقسیم شده است. ۲۲ واحد با اقدامات گروه اول (رده برچسب انرژی C)، ۲ واحد از آن با اقدامات گروه دوم (رده برچسب انرژی D) و یک واحد از آن با اقدامات گروه سوم (رده برچسب انرژیF) بهسازی شدند، سایر ۳۶ واحد بدون بهسازی (رده برچسب انرژی F) است. از این‌رو در تحقیق حاضر علاوه بر سنجش مقدار کاهش مصرف ناشی از بهسازی از طریق ممیزی ساختمان‌های مسکونی مشابه در کوی شهید پاکدل، به ارزیابی اثر نحوه رفتار متصرفین از طریق تحقیق میدانی و تطبیق یافته‌های حاصل از شبیه‌سازی (با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر) بر مشاهدات و پرسشنامه‌ها (بر اساس استانداردهای بین‌المللی) می‌پردازد تا مشخص شود اصلاح الگوی رفتار متصرفین چه میزان امکان صرفه‌جویی در مصرف برق را فراهم می‌کند. مطابق نتایج، بهسازی ابنیه تا ۴/۶٪ و رفتار متصرفین بین سه تا ده برابر این مقدارکاهش در مصرف برق فراهم می‌نماید که بیشترین سهم مربوط به نحوه استفاده از لوازم الکتریکی و روشنایی است.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد معماری و انرژی دانشگاه شهید بهشتی تهران Ela.tavakoli@mail.sbu.ac.ir
۲. استادیار دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی تهران Z_zomorodian@sbu.ac.ir
۳. استادیار دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی تهران M_tahsildoost@sbu.ac.ir
۴. دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی تهران Mr-hafezi@sbu.ac.ir

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]

۱. مقدمه

چالش بین‌المللی در مورد افزایش سریع و مستمر مصرف انرژی، به خصوص در بخش ساختمان در حال افزایش است. در سال ۲۰۱۰، مصرف انرژی در بخش ساختمان، در مقایسه با مصرف پیش‌بینی شده در سایر بخش‌ها، به بیش از یک پنجم کل مصرف انرژی در سراسر جهان خواهد رسید [۱۰].

طبق آخرین آمارها، بخش خانگی ۳۲/۵۳ درصد مصرف انرژی برق در ایران را به خود اختصاص می‌دهد [۲، ۴] و بیش از ۴۰ درصد از کل منابع انرژی در بخش ساختمان مصرف می‌شود [۶]. در سال‌های اخیر، نه تنها بخش خانگی سهم بالایی در مصرف انرژی کشور دارد بلکه میزان مصرف نسبی انرژی ساختمان‌ها در ایران در مقایسه با دیگر کشورها و استانداردهای جهانی بالاست [۲]. بیشترین مصرف برق در پایان سال ۱۳۹۷ نسبت به سال ۱۳۹۶، مربوط به بخش خانگی با ۵/۱ درصد بوده است [۷].

بنابراین کاهش مصرف انرژی در این بخش امری ضروری است؛ زیرا امنیت عرضه داخلی انرژی با مشکلات بسیار جدی مواجه است [۱۹]. همچنین گرایش روزافزون جوامع به استفاده از لوازم الکتریکی افزایش قیمت‌های بین‌المللی انرژی از یک سو و نیاز به واردات بنزین، گازوئیل، گاز طبیعی و برق نیز سبب شده تا بیش از هر زمان دیگر نیاز به صرفه‌جویی انرژی احساس شود [۵]. بر اساس آمارهای منتشر شده توسط بانک جهانی و وزارت نیرو، مصرف برق در بخش مسکونی ایران، بیش از سه برابر (۲۹۰۰ کیلووات ساعت در سال) میانگین جهانی، که فاصله زیادی با معیارها و استانداردهای جهانی (۹۰۰ کیلووات ساعت در سال) دارد [۱]. در این میان گاز طبیعی و برق دارای بالاترین مصرف در این بخش هستند [۲].

در واقع، مصرف انرژی ساختمان عمدتاً تحت تأثیر شش عامل است: (۱) اقلیم ، (۲) پوسته ساختمان (۳) سیستم‌های تأسیساتی، (۴) بهره‌برداری و نگهداری ساختمان (۵) فعالیت‌ها و رفتار ساکنان (۶) کیفیت محیط داخلی. سه پارامتر دوم، مربوط به رفتار انسان، می‌تواند تأثیر بیشتری نسبت به سه پارامتر اول داشته باشد [۱۲].

مشخصات فیزیکی ساختمان و رفتار ساکنین از عوامل مهم و تأثیرگذار در میزان مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی بوده و باعث عدم قطعیت در تخمین میزان مصرف انرژی می‌شود [۱۸]. شناخت

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]

رفتار ساکنین برای کاهش فاصله بین مصرف انرژی در مرحله طراحی و در مرحله عملکرد واقعی ساختمان بسیار مهم است [۱۷، ۲۹]. تحقیقات نشان میدهد ساختمان‌های مسکونی با نوع، مقیاس و گزینه‌های کنترل مشابه، حتی در هوای مشابه، تفاوت قابل توجهی در مصرف انرژی واقعی دارند. این امر ممکن است ناشی از تفاوت‌ها در رفتار ساکنان باشد [۱۳، ۱۶]. با این حال، هنوز اطلاعات بسیار محدودی برای کمک به درک رفتار ساکنان و تأثیر آن در کمیت عملکرد ساختمان وجود دارد.

با توجه به اینکه بخش مسکونی قسمت عمده‌ای از ساختمان‌ها را نسبت به بخش‌های دیگر تشکیل می‌دهد، همچنین ساعات حضور افراد در ساختمان‌های مسکونی، به عنوان محل زندگی، بیشتر است، در نتیجه کاهش مصرف انرژی در این بخش اهمیت پیدا می‌کند. از این رو این مهم نشان‌دهنده ضرورت انجام این تحقیق به واسطه دلایل: ۱. طراحی هماهنگ با رفتار ساکنان در این منطقه جغرافیایی. ۲. کاهش اختلاف بین میزان مصرف پیش‌بینی شده و واقعی ساختمان. ۳. کاهش مصرف انرژی در بخش خانگی است.

پژوهش حاضر با هدف کلی ارزیابی میزان تأثیر فیزیک ساختمان و رفتار ساکنان در ساختمان‌های مسکونی، برای تأمین آسایش، بر مصرف انرژی ساختمان است. بدین منظور در ادامه این مطالعه، در بخش مبانی نظری و پیشینه تحقیق ضمن توضیح مفاهیم اولیه رفتار مصرف انرژی و پارامترهای مؤثر بر آن، پژوهش‌های انجام شده در این زمینه و تأثیر آن بر میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در بخش روش تحقیق، اهداف و مسیر اجرای پژوهش، بستر تحقیق، جامعه آماری و نمونه‌های مورد مطالعه، روش تحقیق و شیوه‌های جمع‌آوری اطلاعات و شبیه‌سازی معرفی می‌شوند. سپس در بخش نتایج پژوهش به توصیف و تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از تحقیق در دو بخش میدانی (پرسشنامه و جمع‌آوری مصارف) و شبیه‌سازی پرداخته خواهد شد. همچنین به واسطه شبیه‌سازی، اختلاف مصرف واقعی و شبیه‌سازی شده با هدف ارزیابی میزان تأثیر رفتار ساکنان بر مصرف انرژی ساختمان بررسی و به منظور شناخت هر گونه رابطه احتمالی میان آن‌ها، با یکدیگر مقایسه می‌شوند. در قسمت بحث نتایج و یافته‌های تحقیق جمع‌بندی و با بررسی مصرف واقعی برق ساختمان‌های موجود و ارزیابی میزان مصرف شبیه‌سازی در مقایسه با مصرف واقعی ساختمان‌ها، میزان اثرگذاری رفتار ساکنان بر مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی تحلیل می‌شود. نهایتاً در بخش نتیجه‌گیری، ضمن مقایسه نتایج پژوهش حاضر و با مصارف انرژی بخش مسکن در

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]

سایر کشورها، استراتژی‌های مدیریتی و آموزشی جهت آگاه‌سازی ساکنان ساختمان‌های مسکونی و همچنین در نظر گرفتن تأثیر رفتار ساکنان در مرحله طراحی، به منظور کاهش اختلاف بین میزان مصرف شبیه‌سازی (در مرحله طراحی) و واقعی ساختمان پیشنهاد می‌شود.

۲. مبانی نظری و پیشینه تحقیق

در این بخش ضمن تعریف رفتارهای مصرف انرژی ساکنان، اقدامات کنترل ساختمان (برای کنترل کیفیت محیط داخلی) و همچنین فعالیت‌های خانگی مورد بررسی قرار گرفته است.

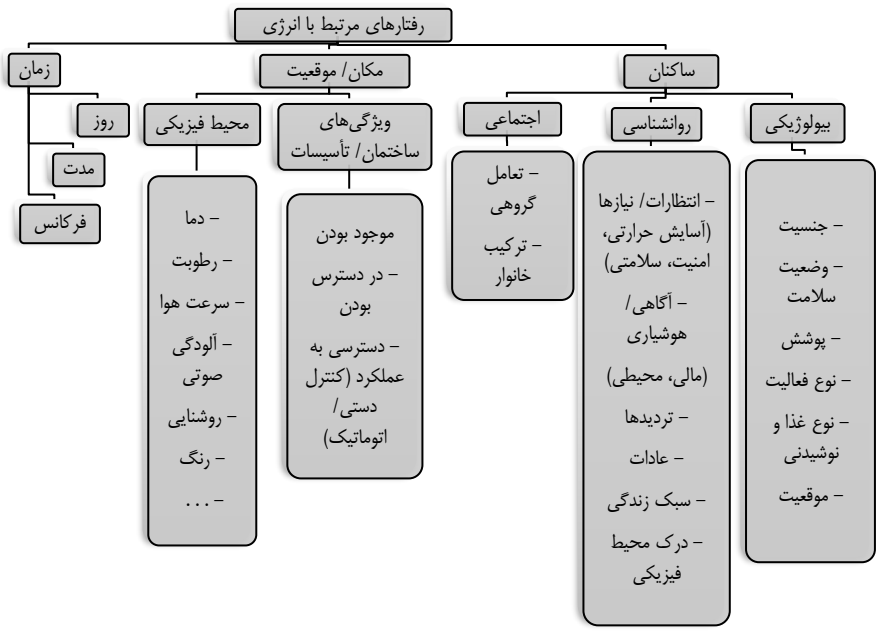
با توجه به مسائل مربوط به انرژی، اصطلاح "رفتار" به معنای "واکنش یک فرد، اقدامات قابل مشاهده، در پاسخ به محرک‌های خارجی و داخلی یا واکنش یک فرد برای انطباق با شرایط محیطی مانند دمای، کیفیت هوای داخل و نور خورشید" است [۱۲].

در این تعریف، نگرش و انگیزه‌های فردی خاص که منجر به یک عمل می‌شود، گنجانده نشده است. با توجه به پیچیدگی این موضوع، علاوه بر مدل‌هایی که با آن برخورد می‌شود، شبیه‌سازی عملکرد انرژی برخی از مدل‌های روانشناختی نشان‌دهنده روشی برای توضیح رفتار به عنوان نتیجه تصمیمات، نگرش‌ها و عادات است. الگوهای رفتاری مصرف انرژی‌های مختلف، مبتنی بر نگرش‌های مختلف محیطی، ممکن است در زمینه تصمیم‌گیری ساخت سیستم‌های فنی ساختمان و راهکارهای مداخله‌گر برای خانواده‌ها نقش داشته باشد. این اقدامات ممکن است توسط عوامل مختلف هدایت شود، بنابراین تأثیر رفتار ساکنان بر مصرف انرژی ساختمان‌ها در حوزه‌های مختلف علوم طبیعی، اجتماعی و همچنین اقتصاد مورد بررسی قرار گرفته است. بسیاری از تحقیقات در ادبیات علوم طبیعی بر روی روابط بین رفتارهای مرتبط مصرف انرژی و عوامل اصلی فیزیکی که بر این رفتارها تأثیر می‌گذار [۲۴، ۲۲].

با این وجود، هیچ ارتباط روشنی بین پارامترهای فیزیکی و اقدامات کنترل وجود ندارد، مثلاً در مورد ارتباط دمای هوای داخل و رفتار باز بستن پنجره می‌توان گفت، در واقع ساکن تصمیم می‌گیرد یک پنجره را باز کند یا آن را ببندد. این تصمیم بر اساس تعدادی از عوامل تأثیرگذار است که به عوامل فیزیکی، بیولوژیکی و روانشناختی تقسیم می‌شوند [۱۲].

رابطه پیچیده میان ساکنان و محیط آنها، بر اساس حضور ساکن در یک زمان خاص در یک مکان خاص و دارای دسترسی به کنترل ساختمان، در تصویر ۱ نمایش داده می‌شود.

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]



شکل ۱. نیروهای محرک رفتار مرتبط با مصرف انرژی ساکنان [۱۲]

اطلاعات مربوط به حضور و فعالیت ساکنان می‌تواند از نظرسنجی‌های زمان مصرف به‌دست آید. این تعامل بین مردم، سیستم‌های کنترل، تأسیسات ساختمان‌ها و منتج از ترکیبی از پارامترهای تأثیرگذار است. این نیروهارا می‌توان به عنوان نیروهای محرک داخلی و خارجی در نظر گرفت [۲۶، ۲۳، ۱۳].

این زمینه‌های تحقیقاتی مختلف دارای اهداف و الزامات مختلفی برای رفتار ساکنان هستند. در علوم اجتماعی یا فیزیولوژیکی، تمرکز بر نحوه شکل دادن رفتار ساکنان و نحوه تنظیم رفتار می‌باشد. در علوم طبیعی (ساختمان) بیشتر به توصیف کمی رفتار ساکن بر اساس پارامترهای فیزیکی (خارجی) پرداخته می‌شود.

ساردیانو [1] (۲۰۰۸) در مقاله خود با عنوان "تخمین مصرف انرژی گرمایش" عوامل تعیین‌کننده مصرف انرژی گرمایش ساختمان‌های مسکونی یونان مورد بررسی قرار داد. ارتباط معنی‌داری بین ابعاد مسکن، درآمد سالانه، تعداد ساکنان، مالکیت و میزان مصرف انرژی وجود داشت. در نتیجه، اقدام به

1. Sardianou

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]

ارزیابی استراتژی‌های صرفه‌جویی انرژی در قوانین یونان برای کاهش مصرف انرژی گرمایش خانگی خانوارهای با درآمد بالاتر و خانه‌های بزرگتر کردند [۲۵] در مطالعه دیگری گوئرا و ایتارد[1] (۲۰۱۰) در تحقیق "ارزیابی رفتار ساکنان و سنجش تأثیر آن بر مصرف انرژی گرمایشی در ساختمان‌های مسکونی" ارتباط ویژگی‌های ساختمان، رفتار ساکنان، مصرف انرژی گرمایش و نحوه استفاده کاربران از ترموستات را مورد بررسی قرار داد. تعداد ساعات استفاده از فضا و سیستم گرمایشی تأثیر بیشتری نسبت به تنظیمات دما، بر مصرف انرژی گرمایی ساختمان داشت. همچنین مشخص شد که ساکنان در صورت استفاده از ترموستات برنامه‌ریزی شده (در مقایسه با شیرهای دستی) و حضور سالمندان در خانه، رادیاتور را به مدت طولانی‌تر روشن نگه می‌داشتند [۱۵].

در پژوهش میر و رهدانز [2] (۲۰۱۰) در انگلستان با عنوان "عوامل تعیین‌کننده هزینه‌های گرمایش فضای مسکونی" در انگلیس مشخص شد که میزان درآمد و تعداد خانوار نقش مهمی در الگوهای مصرف انرژی گرمایش دارد. همچنین، سن ساکنین و تعداد فرزندان خانواده نیز هزینه‌های ناشی از مصرف انرژی گرمایش را تحت تأثیر قرار داده است [۲۱] کارجالانن[3] (۲۰۰۹) در تحقیق خود با عنوان "آسایش حرارتی و نحوه استفاده از ترموستات در ساختمان‌های مسکونی و اداری فنلاندی" تفاوت‌های جنسیتی در مورد آسایش حرارتی، ترجیحات دما و نحوه استفاده از ترموستات را مورد مطالعه قرار داد. به طور کلی زنان درجه حرارت اتاق بالاتر را ترجیح دادند، اما در عین حال، آنها احساس نارضایتی بیشتری در هوای گرم نسبت به مردان داشتند. این مطالعه همچنین دریافت که در خانواده مردان بیشتر از ترموستات استفاده می‌کنند [۲۰].

دکا[4] و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی با عنوان "کنتورهای هوشمند و صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ایتالیا: تعیین اثربخشی طرح‌های ارتباطی تشویقی"، سیستم مدیریت انرژی در ۳۱ خانه مسکونی در ایتالیا مورد آزمایش قرار دادند. نتایج نشان داد که استراتژی‌های ارتباطی تشویقی (مثلاً رقابت بین خانوارهای مشابه) در کاهش مصرف انرژی مؤثر هستند و میانگین صرفه‌جویی انرژی در این

1. Guerra & Itard,
2. Meier & Rehdanz
3. Karjalainen
4. D'Oca

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]

خانوارها تحت تأثیر طرح‌های تشـــویقی ۱۸٪ اســـت [۱۱]. وی[1] و همکاران (۲۰۱۰) در مقاله خود با عنوان "مدل‌های احتمالی رفتار تطبیقی ساکنان در ساختمان‌های بدون سیستم تهویه هوا" در انگلستان مشخص کردند که ساکنان وقتی از فرصت‌های تطبیقی برای تنظیم محیط حرارتی اطراف خود استفاده می‌کنند، دارای ترجیحات و عکس‌العمل مختلفی هســتند. باز و بســتن پنجره‌ها و تنظیم کردن ســطح پوشش لباس نسبت به باز و بسته شدن بازشوها، تطبیق با سیستم‌های سایه‌اندازی، تنظیم سایبان/ پرده و یا تنظیم سیستم سرمایش، نوشیدن نوشیدنی‌های سرد/ گرم، تنظیم سیستم گرمایش و یا استفاده از پنکه ترجیح داده شـــد. محققان تأکید کردند ابعاد نمونه‌ها باید افزایش یابد تا یک مجموعه داده قابل اعتمادتر حاصل شود [۲۷].

در تحقیق المومین[2] و همکاران (۲۰۰۳) با عنوان "ارزیابی الگوهای فعالیت و رفتار ساکنان مؤثر بر مصـرف انرژی سـاختمان‌های مسـکونی کویت" نشـان داد که سـاکنان کویت، برق بیشـتری نسـبت به کشـورهای اروپای غربی و میزان انرژی تخمین زده شـده در شـبیه‌سـازی، انرژی مصـرف می‌کنند. در صـورتی که میزان مصـرف در کشـورهای غربی به طور پیش فرض در برنامه‌های نرم‌افزاری مدل‌سازی انرژی اسـتفاده می‌شـود. سـاکنان کویت رفتار متفاوتی نسـبت به کشـورهای اروپایی دارند، به طور مثال معمولاً همه روشـنایی‌ها در اتاق خالی روشـن باقی می‌گذرانند، ترجیح می‌دهند با سـت پوینت پایین‌تر نسبت به ساکنان اروپایی (۲۲ درجه سانتیگراد) هوا را خنک کنند و همچنین، خانه را دو بار در روز ترک کنند (ساکنان ایالات متحده تنها یک بار ترک می‌کنند) [۸].

اندرسون[3] و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای با عنوان "ارزیابی رفتار سـاکنان و کنترل محیط داخل در سـاختمان‌های مسـکونی دانمارک" چهار نوع از اقدامات کنترلی سـاکنان (باز و بسـته کردن پنجره، سـایبان، اسـتفاده از روشـنایی و حرارت) برای اندازه‌گیری عوامل مؤثر بر رفتار سـاکنان مورد مطالعه قراردادند. به نظر می رسد، رفتار باز و بسته کردن پنجره‌ها و استفاده از سیستم گرمایش، اغلب تحت تأثیر دمای بیرون است. همچنین، استفاده از روشنایی مصنوعی به شدت با میزان قابل دسترس تابش خورشید، شدت روشنایی و درجه حرارت در فضای باز در ارتباط است [۹].

1. Wei
2. Al-Mumin
3. Andersen

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]

ژو[1] و همکاران (۲۰۰۹) در یک مطالعه با عنوان "بررسی میدانی رفتار مصرف‌کنندگان انرژی و عملکرد هیدرولیک یک سیستم گرمایش منطقه‌ای در تیانجین ، چین" بر استفاده از ترموستات و باز کردن پنجره‌ها در ساختمان‌های مسکونی متمرکز شدند. این مطالعه نشان داد که تغییرات رفتار ساکنان تنها کمی بر کل جریان سیستم گرمایش مرکزی تأثیر می‌گذارد. در عین حال، مقدار قابل توجهی از انرژی گرمایی را می‌توان با سیستم جدید گرمایش و آموزش در مورد استفاده از ترموستات ذخیره کرد [۲۸]. فرانتزک[2] و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهش خود در دانمارک با عنوان "بررسی عوامل مؤثر بر آسایش و کیفیت محیط داخلی در مسکن دانمارک از طریق پرسشنامه"رفتار بازکردن پنجره و همچنین استفاده از ترموستات و روشنایی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که ساکنان، کنترل دستی را بر کنترل‌های خودکار ترجیح می‌دهند. واکنش آنها نشان داد که ساکنان تأمین هوای تازه را با قابلیت باز کردن پنجره‌ها مرتبط می‌دانند و نه تهویه مکانیکی [۱۴].

جامی الاحمدی (۱۳۹۸) در پژوهش خود با عنوان "بررسی تأثیر رفتار کاربر بر مصرف انرژی ساختمان خوابگاه‌های دخترانه دانشگاه شهید بهشتی" به دنبال بررسی تأثیر الگوهای رفتار، بر عملکرد انرژی ساختمان و آسایش کاربران در آن است. به این منظور، به‌عنوان نمونه شش ساختمان خوابگاهی، در دو گروه بررسی شده‌اند. گروه اول به‌منظور ارزیابی شرایط مصرف انرژی و آسایش کنونی کاربران و گروه دوم، برای ارزیابی بهسازی‌های انجام‌شده، اما هدف اصلی و مشترک انجام این پژوهش، بررسی کمّی تأثیر الگوهای رفتاری کاربر بر مصرف انرژی ساختمان‌ها بوده است. نتایج نشان داد، رفتار کاربر ۱۶ تا ۴۹ درصد بر مصرف انرژی ساختمان مؤثر است [۳].

به طور کلی باید گفت، علی‌رغم آنکه پژوهش‌های زیادی در این حوزه انجام گرفته است، نحوه رفتار ساکنان در نمونه‌های مورد بررسی در پژوهش‌های مختلف، متفاوت بوده، لذا امکان نتیجه‌گیری کلی وجود ندارد. عمده پژوهش‌های این حوزه مربوط به کاربری اداری بوده و بررسی رفتار ساکنان در ساختمان‌های مسکونی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. ضمن آنکه تعداد، تنوع نمونه‌ها و همچنین محدوده‌های جغرافیایی که در این تحقیقات مورد بررسی قرار گرفته‌اند، محدود بوده و لزوم بررسی‌های وسیع تر در

1. Xu
2. Frontczak

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]

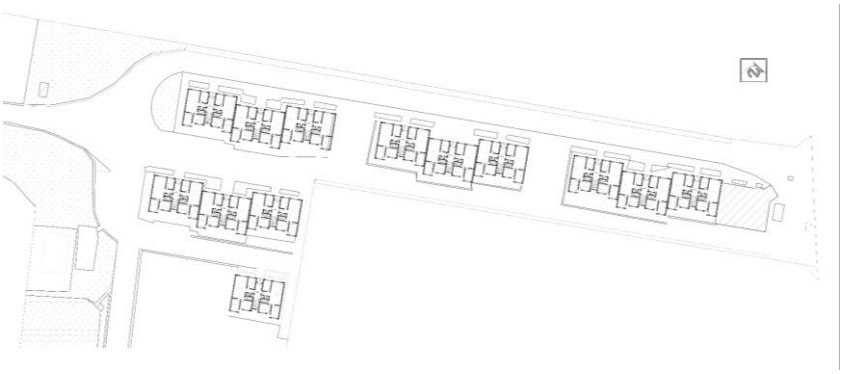
اقلیم‌های مختلف احساس می‌شود. لازم به ذکر است در کشور ایران تحقیقاتی که به بررسی رفتار مصرف انرژی ساکنان ساختمان‌های مسکونی پرداخته محدود و یا موجود نیست. نیاز به اعتبارسنجی نتایج به کمک تحقیقات بیشتر در ساختمان‌های مسکونی متفاوت، با ساکنان متفاوت و در اقلیم‌های گوناگون از مواردی است که مکرراً توسط پژوهشگران این حوزه نیز پیشنهاد شده است.

۳. روش تحقیق

پژوهش حاضر جهت محقق ساختن هدف اصلی تحقیق، ارزیابی تأثیر فیزیک ساختمان و رفتار ساکنان برای تأمین آسایش بر مصرف انرژی ساختمان، کاهش اختلاف بین میزان مصرف شبیه‌سازی و واقعی ساختمان با در نظر گرفتن تأثیر رفتار ساکنان و شناسایی رفتارهای مؤثر بر مصرف انرژی ساکنان، همچنین اهداف فرعی شامل ارائه مدل رفتار بهینه برای ورودی نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی و استفاده از آن در ارزیابی و بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی، طرح‌ریزی شده است.

نمونه آماری پژوهش حاضر، دربرگیرنده ساختمان‌های مسکونی کوی شهید پاکدل اصفهان (محل سکونت کارمندان دانشگاه اصفهان) واقع در منطقه ۵ اصفهان، در حد فاصل خوابگاه دانشجویی پسران دانشگاه اصفهان و کوی امام جعفر صادق است. کوی شهید پاکدل یک مجموعه مسکونی بزرگ در دهه ۶۰ برای کارمندان دانشگاه اصفهان ساخته شد، همان‌طور که در تصویر ۲ مشاهده می‌شود، جهت‌گیری سایت و بلوک‌ها تقریباً شرقی–غربی با چرخش ۱۰ درجه به سمت شرق است. در این مجموعه ۱۳ بلوک وجود دارد، ۱۲ بلوک به صورت سه بلوک متصل به هم در چهار دسته مجزا و ۱ بلوک به صورت تک، هر بلوک دارای ۳ طبقه، هر طبقه دارای دو واحد، که در مجموع هر بلوک شامل شش واحد و تعداد کل واحد ها ۷۸ خانه است. هر واحد ساختمانی با مساحت ۱۱۷ مترمربع دارای دو اتاق خواب با یک بالکن در شمال، یک آشپزخانه و هال نشیمن با یک بالکن در جنوب، یک حمام، یک سرویس بهداشتی و یک انبار است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]



شکل ۲. شمایی از سایت، بلوک‌ها، و پلان واحدهای ساختمانی کوی شهید پاکدل اصفهان

لازم به ذکر اســت ۴۷ واحد آپارتمان از این مجموعه در ســال ۹۴ با اقداماتی که در جدول ۱ ذکر شده، بهسازی شده است.

جدول ۱. گروه‌بندی اقدامات بهسازی

گروه اول	تعویض شیرآلات، کمد، لوله آب و فاضلاب، سیم‌کشی برق، کابینت‌ها، نصب سیستم گرمایش پکیج و رادیاتور، تعویض کولر آبی، سرامیک کردن کف، تعویض در و پنجره‌ها، همچنین دوجداره کردن شیشه‌ها و...
گروه دوم	تعویض شیرآلات، کمد، لوله آب و فاضلاب، سیم‌کشی برق، کابینت‌ها، نصب سیستم گرمایش پکیج و رادیاتور، تعویض کولر آبی، سرامیک کردن کف و...
گروه سوم	تعویض شیرآلات، کمد، لوله آب و فاضلاب، سیم‌کشی برق، کابینت‌ها، تعویض کولر آبی، سرامیک کردن کف و...

مأخذ: نتایج تحقیق

روش نمونه‌گیری به دلیل محدود بودن تعداد نمونه‌ها، عدم اطمینان از میزان همکاری ســاکنان همه واحدها و دستیابی به نتایج دقیق‌تر به صورت تمام شماری انجام شد. بدین ترتیب که کل ۷۸ واحد مسـکونی مورد بررسـی قرار گرفت و ۶۱ واحد در انجام این پژوهش اعلام آمادگی کردند (این میزان بر اساس جدول مورگان و فرمول کوکراین قابل اعتماد بود). ۲۲ واحد از ۶۱ واحد شرکت کننده در پژوهش با اقدامات گروه اول، ۲ واحد از آن با اقدامات دوم و یک واحد از آن با اقدامات گروه ســوم بهســازی شدند. ۳۶ واحد دیگر به صورت حالت پایه و بدون بهسازی هستند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]

در این پژوهش به منظور کاهش عوامل مداخله‌گر فیزیک ساختمان و دستیابی به نتایج دقیق‌تر در مورد تأثیر رفتار ساکنان بر مصرف انرژی، این ساختمان‌ها که به صورت تیپ طراحی و ساخته شده بودند، انتخاب شد. از سوی دیگر به دلیل اینکه این ساختمان‌های مسکونی محل زندگی کارمندان دانشگاه اصفهان است، همکاری مدیریت کوی و توانایی درک افراد از پرسشنامه و مراحل انجام تحقیق، موجب فرآیند جمع‌آوری اطلاعات از طریق پرسشنامه تسهیل شده و نتایج دقیق‌تری را به دنبال داشته باشد.

به طور کلی مراحل تحقیق را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی کرد:

۱. پرسشنامه پژوهش حاضر، بر اساس پرسشنامه موجود در پیوست ۵۳ (روش‌های ارزیابی و آنالیز کل مصرف انرژی ساختمان)، پرسشنامه‌ای گزینه‌ای با در نظر گرفتن اصول اخلاقی، فرهنگی، امکانات ساختمان‌های مسکونی ایران و با مشورت متخصصین این حوزه تدوین شد. سپس به صورت پایلوت در بین افراد مختلف توزیع شدند تا از روایی، مبهم نبودن سؤالات، صحت و سهولت ادراک پاسخ‌دهندگان اطمینان حاصل شود. پس از اعمال اصلاحات جزئی در این مرحله، پرسشنامه گزینه‌ای نهایی که شامل بخش‌های زیر است، میان ساکنان کوی شهید پاکدل اصفهان توزیع شد. پرسشنامه در ۶ بخش: ۱) مشخصات ساکنان ساختمان (تعداد افراد خانواده، نوع فعالیت، ساعات حضور در منزل در روزهای کاری هفته/ پایان هفته و تعطیلات)، ۲) رفتار استفاده از سیستم گرمایش/ سرمایش (زمان استفاده از تجهیزات گرمایشی/ سرمایشی در سال، ساعات استفاده از تجهیزات گرمایشی/ سرمایشی در شبانه‌روز، شرایط تنظیم (کم/زیاد) تجهیزات گرمایشی/ سرمایشی، رفتار روشن/ خاموش کردن تجهیزات گرمایشی/ سرمایشی هنگام خواب/ ترک فضا)، ۳) رفتار باز/ بسته کردن پنجره (ساعات بازکردن پنجره‌ها در طول روز هر فصل، رفتار باز/ بسته کردن پنجره‌ها هنگام روشن بودن سیستم گرمایش/ سرمایش)، ۴) رفتار استفاده از روشنایی مصنوعی (میزان استفاده از انواع لامپ‌های کم‌مصرف، میزان استفاده از روشنایی مصنوعی در طول روز، رفتار روشن/ خاموش کردن لامپ هنگام ترک فضا)، ۵) رفتار باز/ بسته کردن پرده‌ها، ۶) رده برچسب انرژی یخچال و فریزر (جهت سنجش میزان آگاهی افراد از رده مصرف انرژی تجهیزات الکتریکی مورد استفاده)، مورد پرسش قرار گرفت.

۲. ارزیابی رده برچسب انرژی ساختمان‌های موجود، همچنین مدل‌سازی و شبیه‌سازی مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی با وضع موجود، ارزیابی نقش فیزیک ساختمان، بهسازی آن و نحوه رفتار

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]

ساکنان بر میزان مصرف انرژی. بنابراین شبیه‌سازی با در نظر گرفتن اقدامات بهسازی برای هر حالت انجام شد.

۳. به منظور ارزیابی ارتباط مصرف انرژی، فیزیک ساختمان و رفتار کنترلی ساکنان، اطلاعات قبوض برق و گاز واحدها با همکاری مدیریت کوی جمع‌آوری شد. با استفاده از سامانه خدمات مشترکین شرکت توزیع برق شهرستان اصفهان و سامانه مشتریان شرکت گاز استان اصفهان مصرف دو ماهه انرژی برق و گاز ساختمان‌ها در سال ۹۷ تهیه گردید. مقایسه داده‌های حاصل از شبیه‌سازی با اطلاعات حاصل از برداشت میدانی نظیر پرسشنامه و مصرف واقعی ساختمان‌ها، تعیین میزان اختلاف مصرف شبیه‌سازی شده و واقعی و دلایل آن، همچنین کالیبراسیون شبیه‌سازی‌ها انجام شد.

۴. ارائه استراتژی جهت بهینه‌سازی فیزیک ساختمان‌های مسکونی و رفتار ساکنان، جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی.

٤. نتایج پژوهش

بر اساس نتایج توصیفی تحقیق، ۶۱ خانواده متشکل از خانواده‌های یک تا پنج نفره، بیشترین تعداد خانوارها، در مجموعه مورد مطالعه مربوط به خانواده‌های چهار نفره با ۵۲/۴۵ درصد از کل خانواده‌ها است. همچنین ارزیابی نوع فعالیت زنان نشان داد، فعالیت خانم‌ها در ٪۵۷ از خانوارها خانه‌دار و در ٪۴۳ از خانوارها کارمند می‌باشند. با توجه به نتایج پرسشنامه ترجیحات رفتارهای مرتبط با مصرف برق ساکنان در جدول ۲ ارائه شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]

جدول۲ . رفتار غالب ساکنان ساختمان‌های مسکونی کوی شهید پاکدل

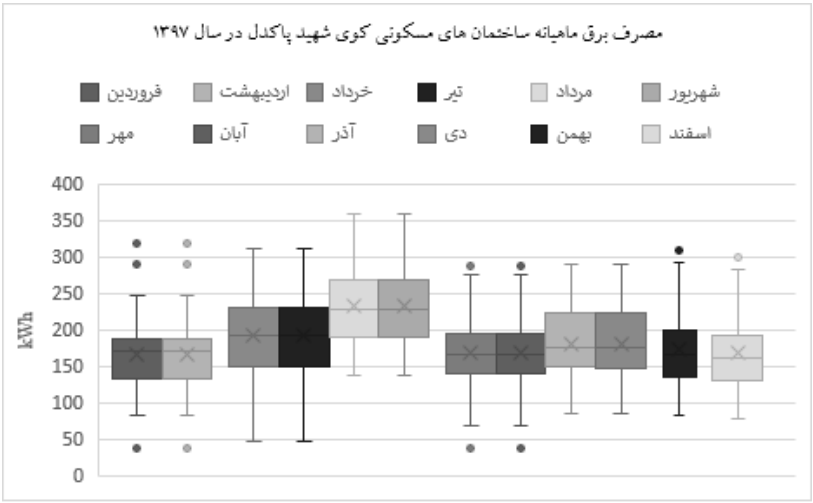
رفتار استفاده از		رفتار غالب
سیستم سرمایش / گرمایش	ماه‌های روشن بودن سیستم	اواسط خرداد تا اواخر شهریور: سرمایش
		اواسط آبان تا اواسط فروردین: گرمایش
	میزان استفاده از سیستم در شبانه روز	۰-۸ ساعت: سرمایش
		۸-۱۶ ساعت: گرمایش
	شرایط کنترل/کم و زیاد کردن سیستم	زمان خواب- هنگام خروج از خانه- زمان حضور مهمان در خانه
	عادت روشن/ خاموش بودن سیستم هنگام ترک فضا	خاموش: سرمایش
		خاموش: گرمایش
	عادت روشن/ خاموش بودن سیستم هنگام خواب در شب	خاموش: سرمایش
		روشن: گرمایش
پنجره	میزان باز کردن پنجره در طول روزهای هر فصل	۰-۶ ساعت در همه فصل‌ها
	مواقع باز کردن پنجره‌ها هنگام روشن بودن سیستم	هنگام دم کردن هوای داخل
روشنایی	میزان استفاده لامپ‌های کم‌مصرف	۸۲ درصد
	مواقع روشن کردن لامپ‌ها در طول روز	زمانیکه نور روز کم است
	مواقع خاموش کردن لامپ‌ها هنگام ترک فضا	۷۰ درصد
پرده	مواقع باز بودن پرده‌ها	هنگام بیدار شدن و جهت دریافت تابش
	مواقع بستن پرده‌ها	حفظ حریم خصوصی و جلوگیری از تابش آزاردهنده
لوازم برقی	آیا از میزان مصرف و برچسب انرژی لوازم برقی خانگی آگاهی دارند؟	۵۵- ۶۰ درصد ساکنان بی‌اطلاع‌اند

مأخذ: نتایج تحقیق

مصرف برق ماهیانه ساختمان‌های مسکونی کوی شهید پاکدل در سال ۱۳۹۷ در نمودار ۱ قابل ملاحظه است. بر اساس اعلام وزارت نیرو، سرانه مصرف برق مشترکین خانگی اصفهان در ماههای گرم (خرداد، تیر، مرداد و شهریور) ۳۰۰ کیلووات ساعت در ماه و در سایر ماهها ۲۰۰ کیلووات ساعت در ماه است. همان‌طور که در نمودار ملاحظه می‌شود، بالاترین حداکثر مصرف برق ماهانه در ماه‌های گرم

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]

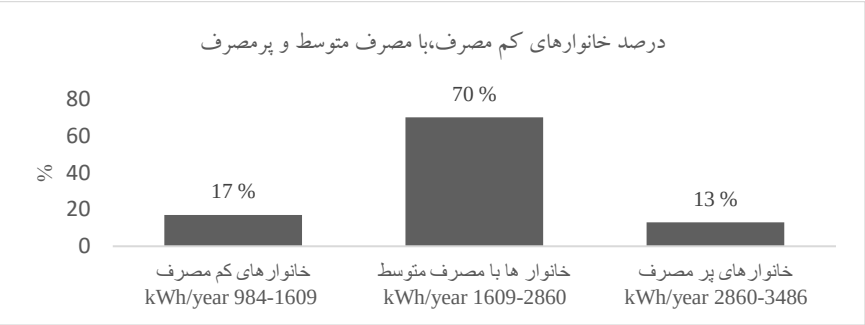
(خرداد، تیر، مرداد و شهریور)، به دلیل استفاده از تجهیزات سرمایشی است. همچنین، حداکثر مصرف برق در شش ماهه دوم سال نسبت به فروردین و اردیبهشت (ماه‌هایی که سیستم سرمایش خاموش است) بیشتر است، این اختلاف می‌تواند به دلیل استفاده از روشنایی بیشتر در شش ماهه دوم باشد. به طور کلی نوسانات مصرف در حداقل، میانگین و حداکثر مصرف برق در ماه‌های مختلف می‌تواند به‌غیراز استفاده از سیستم سرمایش در ماههای گرم، به علت رفتار متفاوت ساکنان و لوازم الکتریکی مورد استفاده باشد.



نمودار ۱. حداقل، میانگین و حداکثر مصرف برق ماهیانه ساختمان‌های مسکونی کوی شهید پاکدل در سال ۱۳۹۷

در مرحله بعد از تحلیل توصیفی رفتار مرتبط با مصرف برق ساکنان، میزان مصرف برق واقعی ساختمان‌ها در سال ۱۳۹۷ به سه گروه کم‌مصرف، پرمصرف و با مصرف متوسط دسته‌بندی شد. به این صورت که فاصله بین حداقل مصرف واحد مجموعه (۹۸۴ کیلووات ساعت در سال) و حداکثر مصرف واحد مجموعه (۳۴۸۶ کیلووات ساعت در سال) به سه دسته، ٪۵۰ میانی (۱۶۰۹ تا ۲۸۶۰ کیلووات ساعت در سال) به عنوان مصرف میانگین، ٪۲۵ اول (۹۸۴ تا ۱۶۰۹ کیلووات ساعت در سال) به عنوان خانوارهای کم‌مصرف و ٪۲۵ آخر (۲۸۶۰ تا ۳۴۸۶ کیلووات ساعت در سال) به عنوان خانوارهای پرمصرف (بیش از ۲۸۰۰ کیلووات ساعت در سال، سرانه مصرف اعلام شده توسط وزارت نیرو در اصفهان) تقسیم‌بندی شدند (نمودار ۲).

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]



نمودار ۲. درصد خانوارهای کم‌مصرف، با مصرف متوسط و پر مصرف در کوی شهید پاکدل

در جدول ۲ مشخصات ساختمان‌های کم‌مصرف، با مصرف متوسط و پر مصرف ارزیابی شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، ساختمان‌ها با وضعیت فیزیک مختلف از نظر بهسازی در هر سه دسته وجود دارد، این موضوع بیانگر این است که پارامترهای فیزیک ساختمان به تنهایی نتوانسته تعیین‌کننده مصرف انرژی ساختمان باشد. همچنین پارامتر تعداد افراد ساختمان به عنوان یک عامل تعیین‌کننده مصرف انرژی ساختمان، در دسته‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده، خانوارها با مصرف کم، متوسط و پر مصرف، دارای تعداد افراد متفاوت ۲ تا ۵ نفر است. این تنوع تعداد افراد خانوار در هر سه دسته گویای این است که تعداد افراد خانواده، همانند فیزیک ساختمان به تنهایی تعیین‌کننده میزان مصرف در ساختمان‌های مسکونی کوی شهید پاکدل نیست.

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]

جدول ۳ . تعداد خانوار، وضعیت فیزیک ساختمان و تعداد افراد خانواده در خانوارهای کم‌مصرف، با مصرف متوسط و پرمصرف

	خانوارهای کم‌مصرف (۱۱۹۶-۱۷۶۸ kWh/year)	خانوار ها با مصرف متوسط (۱۷۶۸-۲۹۱۳ kWh/year)	خانوارهای پرمصرف (۸۶۲۹۱۳-۳۴ kWh/year)
تعداد خانوارها	۸	۳۳	۶
وضعیت فیزیک ساختمان‌ها	۱ واحد با بهسازی گروه اول ۱ واحد با بهسازی گروه سوم ۶ واحد بدون بهسازی	۸ واحد با بهسازی گروه اول ۲ واحد بهسازی گروه دوم ۱۰ واحد بهسازی گروه سوم ۱۳ واحد بدون بهسازی	۳ واحد با بهسازی گروه اول ۳ واحد بدون بهسازی
تعداد افراد خانواده‌ها	۱ خانواده ۲ نفره ۴ خانواده ۳ نفره ۱ خانواده ۴ نفره ۲ خانواده ۵ نفره	۴ واحد ۲ نفره ۷ واحد ۳ نفره ۱۹ واحد ۴ نفره ۳ واحد ۵ نفره	۳ خانواده ۳ نفره ۲ خانواده ۴ نفره ۱ خانواده ۵ نفره

مأخذ: نتایج تحقیق

به طور کلی میانگین مصرف برق ماهیانه و سالیانه ساختمان‌های کوی شهید پاکدل در سال۱۳۹۷ در همه ماه‌ها و سال کمتر از سرانه مصرف بخش خانگی در اصفهان (۳۰۰ کیلووات ساعت در ماه‌های گرم، ۲۰۰ کیلووات ساعت در سایر ماه‌ها و ۲۷۰۰ کیلووات ساعت در سال) است [۱]. در صورتی‌که حداکثر مصرف برق ماهیانه و سالانه مجموعه بیش از سرانه مصرف اعلام شده توسط وزارت نیرو است. ارزیابی و تفکیک مصرف برق نشان داد، حدود ۹۰ درصد مصرف برق در بخش سیستم روشنایی و لوازم الکتریکی منزل و حدود ۱۰ درصد در بخش سیستم سرمایش استفاده می‌شود. در مورد مصرف گاز، میزان ۷۰ تا ۹۰ درصد مصرف بسته به وضعیت بهسازی ساختمان‌ها مربوط به سیستم گرمایش و ۲۰ تا ۳۰ درصد مصرف گاز مربوط به سیستم آب گرم و پخت است. همچنین چهار ساختمان با وضعیت بهسازی متفاوت و جمعیت خانوار ۴ نفره جهت تعیین رده مصرف انرژی انتخاب و با استفاده از استاندارد ملی ساختمان‌های مسکونی ایران ارزیابی شدند. نتایج این بررسی‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است، ساختمان‌های بدون بهسازی و با بهسازی گروه سوم در رده F، با بهسازی گروه اول در رده C و با بهسازی گروه دوم در رده D قرار دارد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]

جدول ۴ . ارزیابی رده مصرف انرژی ساختمان‌ها در حالت بدون بهسازی، با بهسازی گروه اول، دوم و سوم

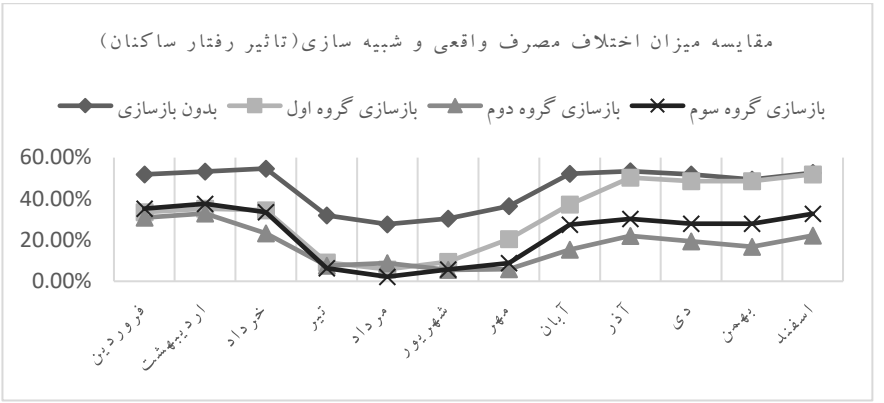
	مصرف برق سالانه (kWh/m2/year)	مصرف گاز سالانه (kWh/m2/year)	انرژی اولیه[1] (kWh/m2/year)	نسبت انرژی (R)	رده برچسب انرژی
بدون بهسازی	۲۷/۶۵	۲۸۸/۱۶	۳۹۰/۴۶	۴/۷	F
بهسازی با گروه ۱	۱۶/۰۴	۱۲۳/۷۵	۱۸۳/۰۹	۲/۲	C
بهسازی با گروه ۲	۱۶/۶۸	۱۸۹/۱۷	۲۵۰/۸۸	3	D
بهسازی با گروه ۳	۱۸/۸۵	۲۹۹/۵۹	۳۶۹/۳۳	۴/۴	F

مأخذ: نتایج تحقیق

با شبیه‌سازی ساختمان‌های موجود، میزان نیاز انرژی ساختمان‌ها برآورد شد، سپس با میزان مصرف واقعی ساختمان‌ها مقایسه و میزان اختلاف مصرف که ناشی از تأثیر رفتار ساکنان از ۱۲ تا ۴۴ درصد برآورد شد. میزان تأثیر رفتار ساکنان بر مصرف برق ماهیانه در نمودار ۳ ارائه شده است، که نشان می‌دهد میزان تأثیر رفتار ساکنان در ساختمان بدون بهسازی، با اختلاف زیادی بیشتر از ساختمان‌های دیگر است. همچنین صرف نظر از تأثیرگذاری پارامترهای فیزیک ساختمان، نوسانات مختلف در هر واحد گویای رفتار متفاوت مرتبط با مصرف برق ساکنان ساختمان‌های مسکونی است.

1. Primary energy

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]



نمودار ۳. ارزیابی میزان اختلاف مصرف واقعی و شبیه‌سازی (تأثیر رفتار ساکنان)

۵. بحث

پژوهش حاضر، در راستای تعیین میزان اثربخشی رفتار ساکنان و وضعیت فیزیک ساختمان بر مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی کوی شهید پاکدل، در دو بخش برداشت میدانی و شبیه‌سازی انجام شد. با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی رفتار ساکنان توسط پرسشنامه، الگوی رفتار غالب ساکنان بر اساس ترجیح اکثر ساکنان برآورد شد، که شامل:

- ماه‌های روشن بودن سیستم سرمایش، از اواسط خرداد (۶۰٪) تا اواخر شهریور (۵۲٪) و ماه‌های روشن بودن سیستم گرمایش، از اواسط آبان (۶۲٪) تا اواخر فروردین (۵۵٪) است.
- میزان استفاده از سیستم سرمایش ۰–۸ ساعت (۷۴٪) و سیستم گرمایش ۸–۱۶ ساعت (۴۲٪) در شبانه‌روز است.
- زمان خواب (۷۴٪)، هنگام خروج از خانه (۹۴٪) و زمان حضور مهمان (۶۰٪–۷۰) در خانه شرایطی است که اغلب ساکنان سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی را کنترل (کم/ زیاد) می‌کنند.
- اغلب ساکنان اعلام کردند که هنگام ترک فضا سیستم سرمایش (۱۰۰٪) و گرمایش (۶۶٪) خود را خاموش می‌کنند.
- رفتار غالب ساکنان در هنگام خواب در شب، خاموش کردن سیستم سرمایش (۵۹٪) و روشن باقی گذاشتن سیستم گرمایش (۹۸٪) است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]

- اکثر ساکنان (بیش از ٪۵۰) در همه فصل‌ها به میزان ۰-۶ ساعت پنجره‌ها را باز می‌کنند و هنگام روشن بودن سیستم در مواقعی که هوای داخل دم می‌کند (٪۵۰)، پنجره‌ها را باز می‌کنند.
- ٪۸۲ از واحدهای مسکونی از لامپ‌های کم‌مصرف استفاده می‌کنند، ٪۷۳ زمانیکه نور روز کم است از روشنایی مصنوعی در طول روز استفاده می‌کنند و ٪۷۰ از ساکنان هنگام ترک فضا عادت دارند که لامپ‌ها را خاموش کنند.
- ساکنان اغلب هنگام بیدار شدن (٪۴۹) و دریافت تابش پرده‌ها (٪۶۷) را باز و جهت حفظ حریم خصوصی (٪۶۶) و جلوگیری از تابش آزاردهنده (٪۵۰) پرده‌ها را می‌بندند.
- ۵۵ تا ۶۰ درصد از ساکنان از برچسب انرژی لوازم الکتریکی منزل خود بی‌اطلاع هستند و به این موضوع اهمیت نمی‌دهند.

به طور کلی میانگین مصرف برق ساختمان‌های کوی شهید پاکدل در سال ۱۳۹۷ در همه ماه‌ها کمتر از سرانه مصرف بخش خانگی در اصفهان است. ۷۰ درصد خانوارهای کوی شهید پاکدل با مصرف متوسط (۱۶۰۹ تا ۲۸۶۰ کیلووات ساعت در سال)، ۱۷ درصد خانوارهای کم‌مصرف (۱۶۰۹-۹۸۴ کیلووات ساعت در سال) و ۱۳ درصد خانوارها با مصرف بیش از ۲۸۶۰ کیلووات ساعت در سال (به عبارت دیگر با مصرف بیش از سرانه مصرف اعلام شده توسط وزارت نیرو برای اصفهان) است.

ارزیابی وضعیت بهسازی و رده مصرف انرژی ساختمان‌های وضع موجود نشان داد، از کل ۶۱واحد مسکونی کوی شهید پاکدل که در پژوهش حاضر شرکت کرده‌اند. ۲۲ واحد با اقدامات گروه اول (رده برچسب انرژی برابر C)، ۲ واحد از آن با اقدامات گروه دوم (رده برچسب انرژی برابر D) و یک واحد از آن با اقدامات گروه سوم (رده برچسب انرژیF) بهسازی شدند، سایر ۳۶ واحد بدون بهسازی (رده برچسب انرژی برابر F) است.

بررسی‌های حاصل از مقایسه پرسشنامه و ارزیابی مصرف انرژی واقعی ساختمان از منظر مصرف برق، تعداد افراد خانواده و وضعیت فیزیک ساختمان نشان داد، در هر واحد مسکونی با توجه به رفتار ساکنان و فیزیک ساختمان نحوه اثرگذاری هر پارامتر متفاوت است. میزان تأثیرگذاری هر یک از عوامل مؤثر بر مصرف برق ممکن است در هر نمونه و همپوشانی با پارامتر های دیگر، متفاوت از اثر بخشی آن بر مصرف برق در نمونه‌های دیگر باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]

نتایج حاصل از شبیه‌سازی فیزیک ساختمان نشان داد، بهسازی ساختمان‌ها تا ۴/۶ درصد مصرف برق سالانه را کاهش داده است. همچنین میزان تأثیر رفتار ساکنان از ۱۲ تا ۴۴ درصد از مصرف کل را در ساختمان‌ها به خود اختصاص داده است. با توجه به ارزیابی اختلاف بین مصرف واقعی و شبیه‌سازی ساختمان‌های کوی شهید پاکدل که در نمودار ۳ مشاهده شد، به غیر از ساختمان بدون بهسازی که تأثیر رفتار ساکنان در آن به شدت مشهود است، تأثیر رفتار ساکنان در سایر ساختمان‌های بهسازی شده با نوسانات مختلف گویای تأثیر ترجیحات متفاوت ساکنان و استراتژی‌های بهسازی است. نکته قابل‌توجه در اختلاف زیاد میزان اثربخشی رفتار ساکنان در شش ماه آخر سال در استفاده از روشنایی مصنوعی و لوازم الکتریکی منزل است. با توجه به ارزیابی اقتصادی انجام گرفته، میزان مصرف برق کل مجموعه ساختمان‌های مسکونی کوی شهید پاکدل معادل ۹۰/۶ بشکه نفت خام، که ۱۰/۹ بشکه نفت خام معادل مصرف ناشی از رفتار ساکنان ساختمان‌ها است.

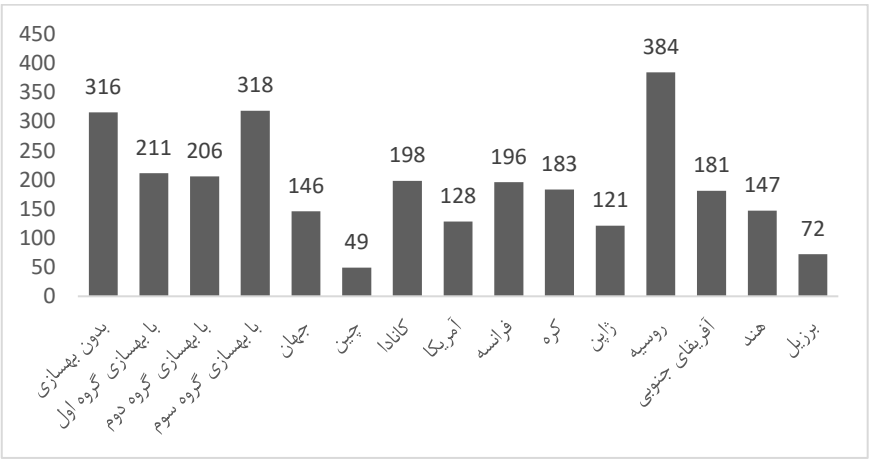
٦. نتیجه‌گیری

طبق آخرین آمارها، بخش خانگی ۳۲/۵۳ درصد مصرف انرژی برق در ایران را به خود اختصاص می‌دهد (وزارت نیرو، ترازنامه انرژی، ۱۳۹۵). در سال‌های اخیر، نه تنها بخش خانگی سهم بالایی در مصرف انرژی کشور دارد بلکه میزان مصرف نسبی انرژی ساختمان‌ها در ایران در مقایسه با دیگر کشورها و استانداردهای جهانی بالاست [۲]. بر اساس نمودار ۴ میزان مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی کوی شهید پاکدل به ازای هر مترمربع در حالت بدون بهسازی و با بهسازی گروه سوم تقریباً ۲ برابر و در حالت با بهسازی گروه اول و دوم تقریباً ۱/۵ برابر متوسط مصرف انرژی جهانی به ازای هر مترمربع در خانه‌های مسکونی است. به طور کلی مصرف انرژی ساختمان‌های مورد مطالعه به ازای هر مترمربع از سایر کشور ها به جز روسیه بیشتر است. لازمه کاهش مصرف انرژی در این بخش، ارزیابی تأثیر فیزیک ساختمان و رفتار ساکنان بر مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی در ایران است. بنابراین، افزایش دقت درک رفتار ساکنان، برای ارزیابی تأثیر آن بر عملکرد کلی ساختمان بسیار مهم است. با توجه به اینکه رفتار ساکنان تأثیر مستقیم بر مصرف انرژی ساختمان دارد، اصلاح الگوی رفتار مصرف انرژی ساکنان از پتانسیل‌های بهبود عملکرد انرژی ساختمان‌های مسکونی است.

نتایج به‌دست آمده از ارزیابی رفتار مرتبط با مصرف انرژی ساکنان و میزان مصرف برق آن‌ها نشان داد، مصرف عمده برق ساختمان ناشی از لوازم الکتریکی و نحوه استفاده از روشنایی مصنوعی

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]

منزل اســـت. ارزیابی‌ها گویای عدم آگاهی و توجه نیمی ســـاکنان از برچســـب انرژی لوازم الکتریکی پرمصرف منزل و بالعکس استفاده اکثر ساکنان از لامپ‌های کم‌مصرف است. مقایسه مصرف واقعی و شبیه‌سازی شده نشان داد، بهسازی فیزیک ساختمان تا حدودی و بیشتر از آن تنوع رفتار ساکنان به شـــدت بر میزان مصـــرف برق ســـاختمان تأثیرگذار اســـت. بنابراین اجرای ســـیاســـت‌های بهســـازی ساختمان‌های مسکونی موجود و ترویج ساخت ساختمان‌ها با مصرف انرژی کمتر (دادن امتیاز به ساخت چنین ساختمان‌هایی)، اصلاح الگوی رفتار مرتبط با مصرف انرژی ساکنان، آگاه سازی، آموزش و ترویج استفاده بهینه از انرژی توسط ساکنان، افزایش قیمت انرژی و نزدیک شدن آن به قیمت واقعی، افزایش کارایی و کیفیت لوازم الکتریکی پر مصرف منزل پیشنهاد می‌شود.



نمودار ۴. مقایسه بین‌المللی متوسط مصرف انرژی به ازای هر مربع خانه‌های مسکونی (IEA, 2015)

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول با عنوان "ارائه الگوی مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی میان مرتبه شهر اصفهان" به راهنمایی سایر نگارندگان و همکاری حراست و مدیریت کوی اساتید و کارمندان داشگاه اصفهان و شرکت گاز منطقه ۵ شهر اصفهان، در دانشگاه شهید بهشتی تدوین شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]

منابع

[۱] اصلاح الگوی مصرف (۱۳۹۴)، ریاست جمهوری، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، مرکز آمار ایران، بخش۱: انرژی، صفحه ۱۲۴.

[۲] ترازنامه‌های انرژی سال‌های ۹۵-۱۳۹۰، وزارت نیرو، معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی و اقتصاد کلان برق و انرژی.

[۳] جامی الاحمدی، شادی (۱۳۹۸). "بررسی تأثیر رفتار کاربر بر مصرف انرژی ساختمان (نمونه موردی خوابگاه‌های دخترانه دانشگاه شهید بهشتی)"، *(پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده معماری و شهرسازی)*، دانشگاه شهید بهشتی تهران.

[۴] جهان‌بخش، حیدر و آذیتا غفارزاده (۱۳۹۶). "بررسی رابطه و میزان تأثیر تابش خورشیدی بر بدنه ساختمان در تعیین جهت‌گیری بنا با هدف کاهش مصرف انرژی نمونه موردی: ساختمان مسکونی در اصفهان"، *نشریه انرژی ایران*، دوره ۲۰، شماره ۲: ۱۰۱-۸۵.

[۵] رنگریز، حسن و هومن پشوتنی‌زاده (۱۳۹۳). "بررسی تأثیر هدفمندسازی یارانه‌ها بر مصرف برق مشترکان خانگی در شهر تهران با استفاده از الگوریتم ژنتیک"، *فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی*، شماره ۱۷، پاییز ۹۳.

[۶] زمردیان، زهرا سادات و محمد تحصیلدوست (۱۳۹۴). "اعتبار سنجی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی در ساختمان: با رویکرد تجربی و مقایسه‌ای"، *نشریه انرژی ایران*، دوره ۱۸، شماره ۴.

[۷] گزارش عملکرد سال (۱۳۹۷) صنعت آب و برق، دفتر فناوری اطلاعات و آمار، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، وزارت نیرو، خرداد ماه ۱۳۹۸.

[8] Al-Mumin A., Khattab O., and G. Sridhar (2003). "Occupants' behavior and activity patterns influencing the energy consumption in the Kuwaiti residences". *Energy and Buildings*, 35, 549–559.

[9] Andersen R.V., Toftum J., Andersen K.K. and B.W. Olesen (2009). "Survey of Occupant behaviour and Control of Indoor Environment in Danish Dwellings". *Energy and Buildings*, 41(1), pp. 11–16.

[10] Annex 66, IEA.2014

[11] D'Oca S., Corgnati S. P. and T. Buso (2014). "Smart Meters and Energy Savings in Italy: Determining the Effectiveness of Persuasive Communication in Dwellings". *Energy Research & Social Science*, No. 3, pp. 131 –142.

[12] EBC IEA. (2013). Annex 53 – "Total energy use in buildings". *Final Report Annex 53*, 132.

[13] Fabi V., Andersen R.V., Corgnati S. and B.W. Olesen (2012). "Occupants' Window Opening behavior: A literature review of factors influencing occupant behavior and models". *Building and Environment*, No. 58, pp. 188–198.

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]

[14] Frontczak M., Andersen R.V. and P. Wargocki (2012). "Questionnaire Survey on Factors Influencing Comfort with Indoor Environmental Quality in Danish housing." *Building and Environment*, No. 50, pp. 56 –64.
[15] Guerra-Santin O. and L. Itard (2010). "Occupants' behavior Determinants and Effects on Residential heating Consumption". *Building Research & Information*, 38(3).
[16] Gunay H. B., O'Brien W. and I. Beausoleil-Morrison (2013). "A Critical review of Observation Studies Modeling and Simulation of Adaptive Occupant behaviors in Offices". *Building and Environment*, No. 70, pp. 31 –47.
[17] Hoes P. Hensen J.L.M., Loomans M.G.L.C., de Vries B. and D. Bourgeois (2009). "User behavior in whole Building Simulation". *Energy and Buildings*, 41(3), pp. 295–302.
[18] Hong T., Taylor-Lange S.C., D'Oca S., Yan D. and S.P. Corgnati (2015). "Advances in Research and Applications of Energy Related Occupant behavior in Buildings". *Energy and Buildings*, No. 116, pp. 694–702.
[19] https://www.isna.ir/news/96071910398/
[20] Karjalainen S. (2009). "Thermal Comfort and use of Thermostats in Finnish Homes and Offices". *Building and Environment*, 44(6), pp. 1237–1245.
[21] Meier H. and K. Rehdanz (2010). "Determinants of Residential Space Heating Expenditures in Great Britain". *Energy Economics*, 32(5), pp. 949–959.
[22] Nicol J.F. (2001). "Characterizing Occupant behavior in Buildings: towards a Stochastic model of Occupant use of Windows, Lights, Blinds, heaters and fans, Proceedings of the" *Seventh International IBPSA Conference*, Rio de Janeiro, Brazil.
[23] Peng C., Wu R., Wang C., Zhou X. and Y. Jiang (2012). "Quantitative Description and Simulation of Human behavior in Residential Buildings", No. 53, pp. 85–94.
[24] Reinhart C.F. (2004). "Lightswitch-2002: A Model for Manual and Automated Control of Electric Lighting and Blinds A Version of this Document is Published in" *Une version de ce document se trouve dans*: (1), pp. 15–28.
[25] Sardianou E. (2008). "Estimating Space Heating Determinants: An Analysis of Greek Households". *Energy and Buildings*, 40(6), pp. 1084–1093.
[26] Schweiker M. and M. Shukuya (2010). "Comparative Effects of Building Envelope Improvements and Occupant Behavioural Changes on the Exergy Consumption for Heating and Cooling", *Energy Policy* 38(6), pp. 2976-2986.
[27] Wei S., Buswell R. and D. Loveday (2010). "Probabilistic Modelling of Human Adaptive behavior in non-air-conditioned Buildings". *Adapting to Change: New Thinking on Comfort*, 55(April), pp. 9–11.
[28] Xu B., Fu L. and H. Di (2009). "Field Investigation on Consumer behavior and Hydraulic Performance of a District Heating System in Tianjin, China." *Building and Environment*, 44(2), pp. 249–259.
[29] Yan D., O'Brien W., Hong T., Feng X., Burak Gunay, H. Tahmasebi F. and A. Mahdavi (2015). "Occupant behavior Modeling for Building Performance Simulation: Current state and future Challenges". *Energy and Buildings*, No.107, pp. 264 –278.

[Downloaded from necjournals.ir on 2024-04-17]