نشریه علمی(فصلنامه) پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی
سال پنجم/ شماره ۱۷/ زمستان ۱۳۹۸/ صفحات ۲۱۸ - ۱۸۵

بررسی اثر بهسازی انرژی ساختمان بر مصرف انرژی و میزان آسایش کاربران، نمونه موردی خوابگاه‌های دانشگاه شهید بهشتی در تهران

شادی جامی الاحمدی
دانشجوی کارشناسی ارشد معماری انرژی، دانشگاه شهید بهشتی
s.jamialahmadi@sbu.ac.ir
زهرا سادات زمردیان
استادیارگروه ساختمان دانشگاه شهید بهشتی
z_zomorodian@sbu.ac.ir
محمد تحصیل دوست
استادیارگروه ساختمان دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسئول)
m_tahsildoost@sbu.ac.ir

برای بهینه‌سازی مصرف انرژی علاوه بر فیزیک ساختمان، پارامترهایی نظیر رفتار و نحوه تعامل کاربر با ساختمان بایستی مورد توجه قرار گیرد؛ چراکه بهسازی انرژی بدون لحاظ رفتار کاربر، در عمل تأثیر کمی بر کاهش مصرف انرژی خواهند داشت. این پژوهش، به دنبال ارزیابی عملکرد بهسازی انجام‌شده، برآسایش کاربران و انرژی ساختمان است. به‌عنوان نمونه دو ساختمان خوابگاهی مشابه، (قبل و بعد از بهسازی)، به دو روش میدانی (پرسشنامه و اندازه‌گیری) و شبیه‌سازی دینامیک موردتحقیق قرارگرفته است. نتایج برداشت‌های میدانی، نشان داد که، علاوه بر وجود نارسایی‌هایی در سیستم ساختمان، بهسازی‌ها، به طور میانگین تنها ۴ درصد باعث افزایش رضایتمندی کاربران، از عملکرد آن شده است. همچنین بر اساس نتایج شبیه‌سازی نیز، دو ساختمان به‌رغم بهسازی‌های انجام‌شده، عملکرد انرژی مشابهی داشته‌اند و حتی در ساختمان جدید، ساعات نارضایتی آن، ۹/۵ درصد افزایش‌یافته است. بنابراین می‌توان اظهار کرد که این تغییرات، بدون تخمین عملکرد انرژی و آسایشی ساختمان، انجام‌شده است.

واژگان کلیدی: بهینه‌سازی مصرف انرژی، رفتار کاربر، آسایش، خوابگاه دانشجویی.

تاریخ دریافت: ۳۱ / ۱ / ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: ۱۹ / ۶ / ۱۳۹۸

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

۱. مقدمه

در قرن بیست و یکم، استراتژی‌های اقتصادی در راستای رسیدن به محیطی سالم برای کاربران شکل گرفته و کوشیده با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین علاوه بر کاهش هزینه‌ها، مصرف انرژی را نیز کاهش دهد. چراکه مطابق پیش‌بینی‌ها مصرف انرژی جهان، تا سال ۲۰۴۰، حدود ۸۴درصد افزایش خواهد یافت(IEA, 2019) . بخش عمده‌ای از این مصرف، مربوط به کاربری تجاری، مسکونی و اقامتی است. حدود ۳۰ درصد از انرژی مصرفی، به علت ناکارآمدی سیستم تأسیسات، اتلاف می‌شود. بنابراین فرصت‌های زیادی برای صرفه‌جویی در بخش ساختمان وجود دارد. با توجه به تعدد ساختمان‌های اقامتی و مسکونی و نقش پررنگ آن‌ها در مصرف انرژی و انتشار کربن، بسیاری از مطالعات بر این کاربری، تمرکز کرده‌اند (واردولاکیس[1] و همکاران: ۲۰۱۵). همچنین CIBSE[2] توصیه می‌کند که هر سه تا پنج سال، یک‌بار، ممیزی انرژی به‌صورت میدانی، انجام شود. الگوهای ممیزی نیز، علاوه بر کاهش مصرف انرژی، صرفه‌جویی اقتصادی نیز به دنبال خواهد داشت (کالوین و ام س بی[3]، ۲۰۱۳؛ گرمیس[4] و همکاران، ۲۰۱۱) به‌علاوه، در کنار این مزایا، ممیزی ساختمان‌های اقامتی، سلامت و آسایش کاربران را بهبود می‌بخشد(لانگ[5] و همکاران، ۲۰۱۵). از مشکل‌ترین بخش‌های ممیزی، انتخاب رویکرد مناسب، برای دستیابی به سطح قابل‌قبول آسایش حرارتی و بهبود عملکرد انرژی ساختمان است (اُدونووان[6] و همکاران، ۲۰۱۷). از طرفی، انرژی موردنیاز برای رسیدن به سطح مشخصی از آسایش در ساختمان‌های

1. Vardoulakis et al.
2. Chartered Institution of Building Services Engineers
3. Galvin, R., and, M. S. B.
4. Grimes
5. Long
6. O’Donovan

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

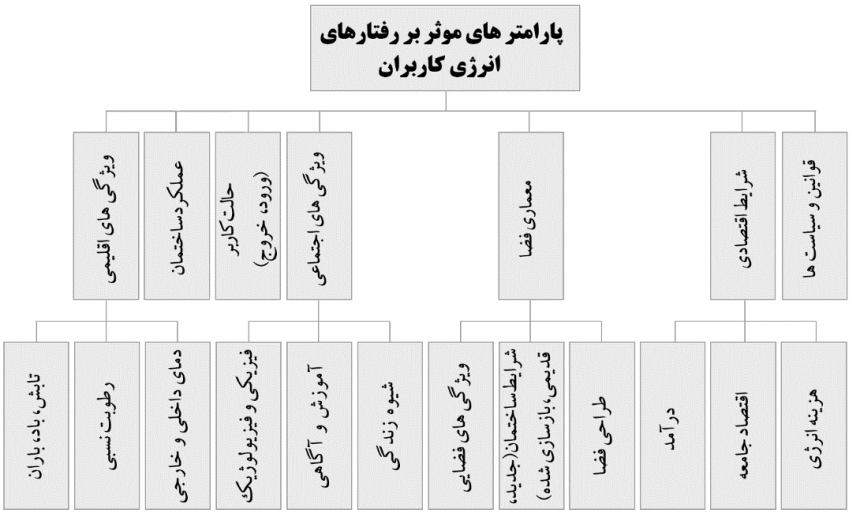
مختلف، متفاوت است و این تفاوت ممکن است بنا به سیاستگزاری‌های ملی (زهیری و الشارکاوی[1]، ۲۰۱۸) یا به علت ویژگی‌های فیزیکی خاص ساختمان، رفتارهای مرتبط باانرژی کاربران و الگوی کاربری آن باشد، که در بار کلی انرژی آن مؤثر است (جانسون و مولر[2]، ۲۰۱۴). در صورت وجود نارسایی در برنامه‌های ممیزی، عملکرد مورد انتظار و واقعی ساختمان، فاصله زیادی خواهند داشت (سورل و همکاران[3]، ۲۰۰۹). با نظر به افزایش تعداد دانشجویان و ازآنجایی‌که خوابگاه دانشجویی و وضعیت آسایش ساکنین آن، ازجمله مؤلفه‌های مهم در رتبه‌بندی دانشگاه‌هاست، ارتقا وضعیت ساختمان خوابگاه‌ها در دستور کار وزارت علوم قرارگرفته است. علاوه بر مسأله آسایش، بهره‌وری مصرف انرژی در این ساختمان‌ها اهمیت بیشتری از گذشته پیداکرده است. بدین ترتیب هدف این پژوهش، سنجش عملکرد انرژی و آسایشِ و اولویت‌بندی اقدامات بهینه‌سازی مصرف ساختمان‌های خوابگاهی، با دخیل کردن عامل مهم رفتار کاربر در مراحل تحقیق است. پژوهش حاضر در ۳ بخش، مبانی نظری، روش‌شناسی و تحلیل نتایج، ارائه‌شده است.

۲. مبانی نظری

مطالعات مختلفی نشان داده‌اند که رفتارهای مرتبط با انرژی کاربران و عوامل اجتماعی-جمعیتی[4]، بر مصرف انرژی ساختمان، مؤثر است (استازی[5] و همکاران. ۲۰۱۷) دل‌زنده در مطالعه خود (دل‌زنده[6] و همکاران، ۲۰۱۷)، پژوهش‌های گذشته را بررسی کرده، و عوامل مؤثر بر رفتار انرژی و محدوده این تعاملات را ارائه کرده است (شکل ۱).

1. Zahiri and Elsharkawy
2. Judson and Maller
3. Sorrell
4. Socio-demographic
5. Stazi
6. Delzendeh

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]



شکل ۱. پارامتر های موثر بر رفتار های مرتبط با انرژی کاربر در ساختمان

بنا بر مطالعات، با تغییر رفتار کاربران، ، به‌خصوص در مناطقی که میزان انرژی در دسترس زیاد است، بهره‌وری انرژی ساختمان‌ها با بهره‌گیری از الگوهای ممیزی افزایش خواهد یافت (ولچز[1] و همکاران، ۲۰۱۷). به‌عبارت‌دیگر، از اصلی‌ترین عوامل مداخله‌گر در پیش‌بینی عملکرد انرژی یک ساختمان، برنامه استفاده از کاربری و رفتار کاربران است (چنگ و هونگ[2]، ۲۰۱۳؛ احمد و همکاران، ۲۰۱۷؛ استازی، ۲۰۱۷). سانگ در تحقیقی (سانگ[3] و همکاران، ۲۰۱۷)، برای پیش‌بینی عملکرد انرژی ساختمان از اطلاعات مصرف انرژی مربوط به کاربران استفاده کرد. او دشواری‌های این موضوع را، به جنبه‌های مختلف جمعیتی، اجتماعی و اقتصادی مرتبط به کاربر نسبت داد.او اظهار کرد، الگوی مصرف انرژی به‌دست‌آمده یا در راستای رسیدن به سطح خاصی از آسایش ، یا حل مشکلات فضای داخلی بوده است . برای پیش‌بینی مصرف واقعی انرژی،

1. Vilches
2. Chang and Hong
3. Song

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

دخیل کردن کاربر در چارچوب استفاده از انرژی، در شبیه‌سازی، ضروری است. اگرچه هنوز هم نحوه اعمال الگوی مصرف انرژی کاربران در ابزارهای شبیه‌سازی، یک موضوع بحث‌برانگیز باقی‌مانده است (ین[1] و همکاران، ۲۰۱۷؛ یی بی سی[2]، ۲۰۱۸).

ضمیمه Annex66، یک راهنمای جامع برای شناخت رفتار کاربر و نحوه مطالعه آن، در حوزه مصرف انرژی ساختمان است. هدف اصلی آن، توسعه یک تعریف کمّی از الگوهای رفتاری برای تحلیل و درک تأثیر آن، بر مصرف انرژی و کاهش اختلاف بین مصرف انرژی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌شده در ساختمان‌ها است (یی بی سی، ۲۰۱۸). مطالعات زیادی در این زمینه انجام‌شده است، که نکات برگزیده آن توسط Annex66، به‌صورت زیر خلاصه‌شده است:

- دقت مدل: به دلیل پیچیدگی محاسبات، نوع رفتار کاربر و عدم قطعیت شرایط خارجی ساختمان، حتی درصورتی‌که مدل‌سازی با دقت بالایی انجام گیرد، امکان پیش‌بینی‌های بلندمدت قطعیِ عملکرد حرارتی و انرژی ساختمان، ، وجود ندارد. بنابراین، نمی‌توان فاصله بین مقدار انرژی واقعی و پیش‌بینی‌شده را، با استفاده از داده‌های محدود میدانی، صرفاً به عوامل رفتاری نسبت داد. فقط می‌توان ادعا کرد، مدل‌سازی با دقت بالایی انجام‌شده است.
- واژه‌شناسی: در مطالعات از کلمه "قطعی"[3]، برای مقایسه و ارزیابی مدل‌ها استفاده‌شده است. این کلمه به معنی استفاده از چارچوب ثابت[4] و قانون محور[5]، نیست. بلکه به معنی شبیه‌سازی "دقیق"[6]تر، با به‌کارگیری احتمالات است. باوجود گوناگونی روش‌های آماری در مدل‌سازی کاربر، این روش‌ها، به نقش عوامل فیزیولوژیکی، روان‌شناختی و اجتماعی

1. Yan
2. EBC
3. deterministic
4. Fixed diversity profiles
5. Rule-based behavioral models
6. Accurate

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

که زمینه شکل‌گیری رفتار کاربر هستند، اشاره نمی‌کند. بنابراین نمی‌توان تمام جنبه‌های رفتار کاربر را، در مدل‌سازی پوشش داد.

- برون‌یابی[1]: یک مطالعه رفتاری محدود، قابل‌تعمیم به همه گروه‌های جمعیتی، تیپ‌های ساختمانی، موقعیت و شرایط آب و هوایی، نیست.
- دقت ارزیابی: ارزیابی دقیق عوامل مربوط به کاربر، به‌تنهایی نمی‌تواند اعتبار مدل را تضمین کند. در ارزیابی مدل‌های رفتاری مانند بسیاری از موضوعات دیگر، باید از هرگونه تعصب دوری کرد.
- کیفیت داده‌های پایه: وقتی مدل رفتاری، بر اساس داده‌ها و آزمایش‌های کمّی، به‌منظور استفاده در شبیه‌سازی با مقیاس بزرگ، شکل می‌گیرد، آگاهی کاربران از این‌که این دسته از مدل‌ها الزاماً واقعیت حضور و رفتار کاربر را منعکس نمی‌کنند، ضروری است (بی‌بی‌سی، ۲۰۱۸).

ریچاردسون[2] و همکاران (2008)، با استفاده از تحقیق میدانی، داده‌هایی در رابطه با زمان‌های مصرف، که کاربران به‌صورت گزارش فردی-لحظه‌ای ارائه داده‌اند، الگوی تصادفی رفتار را به دست آورده است. این الگو به تفکیک روزهای کاری و تعطیل، با دقت ده دقیقه نوشته‌شده است. این الگوی خروجی، که از داده‌های زمان مصرف و جزئیات کاربری، به‌عنوان پایه استفاده می‌کند، قابل‌اعمال بر مدل‌های مسکونی است. همچنین، در فرمت اکسل و به‌صورت رایگان در دسترس است. کالینز نیز در پژوهش خود (کالینز[3]، ۲۰۱۰)، در دو ساختمان خوابگاه دانشگاه اورگان، مطالعه‌ای میدانی، در خصوص عوامل مؤثر بر میزان مصرف انرژی این دو ساختمان، ازجمله سن، آسایش و رفتار کاربران را انجام داده است. سان نیز، مطالعه‌ای (سان و

1. Extrapolation
2. Richardson
3. Collins

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

هونگ[1]، ۲۰۱۷)، با استفاده از روش‌های استاندارد ساده‌سازی الگوهای رفتار، سه سطح از تأثیر رفتار انرژی (معمولی، اقتصادی و هدر دهنده) با ساختمان و راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی[2] ، تعریف کرد. سپس با استفاده از مقادیر مصرف، الگوهای ممیزی را در این کاربری برای ساختمان‌های جدید و موجود بهبود بخشید. زهیری نیز در مطالعه خود (زهیری و الشارکاوی، ۲۰۱۸)، رفتار کاربران و شرایط حرارتی داخلی یک نمونه برج مسکونی در لندن را بررسی کرد. روش تحقیق حاضر، در دو بخش میدانی و شبیه‌سازی شکل گرفت: ۱) اندازه‌گیری شرایط حرارتی محیط داخل و بررسی الگوی کاربری، مصرف و مشخصات اجتماعی–جمعیتی[3] از طریق پرسشنامه، ۲) بهبود راهکارهای ممیزی، با بهره‌گیری از الگوهای رفتاری کاربر برای کاهش فاصله مصرف پیش‌بینی‌شده و واقعی. وی همچنین آموزش و آگاهی بخشی به ساکنان را برای رسیدن به اهداف ضروری می‌داند.

۳. روش تحقیق

در راستای اهداف پژوهش و پاسخ به سؤالات تحقیق روش تحقیق در دو بخش شکل‌گرفته است. بخش اول، تحقیق میدانی، به‌منظور ارزیابی ساختمان برای شناخت عملکرد انرژی کنونی، که برای دست‌یابی به چند هدف انجام‌شده است:

- شناخت عوامل اجتماعی- جمعیتی مؤثر بر احساس حرارتی، میزان آگاهی و تمایل به صرفه‌جویی کاربران
- محدوده دمایی و کیفیت هوای محیطی داخلی
- میزان رضایتمندی از شرایط داخلی، عملکرد و کنترل سیستم‌های ساختمان
- الگوی رفتار تطبیقی کاربران در هنگام بروز نارضایتی

1. Sun and Hong
2. Energy conservation measures(ECM)
3. Socio-demographic

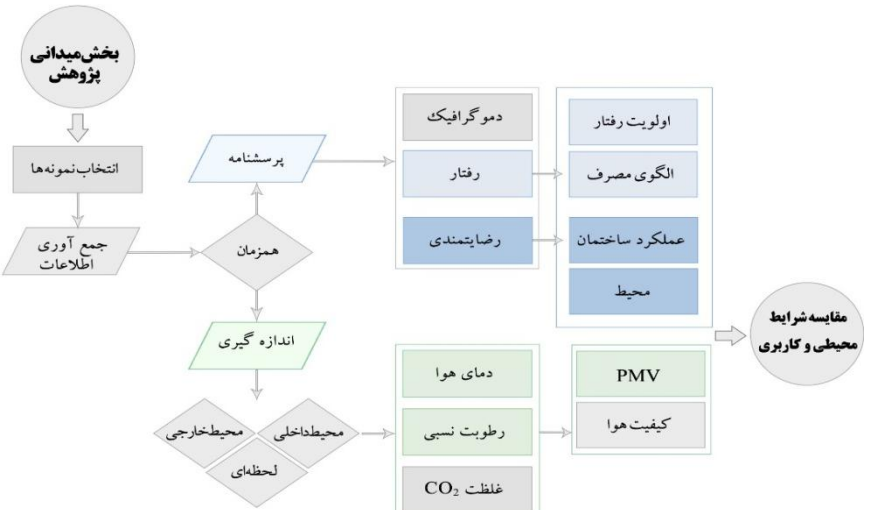
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

- الگوی مصرف انرژی سرمایش و گرمایش سالانه برای شناخت نوع کاربری و تدقیق مدل‌های شبیه‌سازی

بخش دوم، تدقیق مدل شبیه‌سازی ساختمان با استفاده از داده‌های مرحله اول، برای ارزیابی راهکارهای مختلف ممیزی.

۳-۱. ارزیابی میدانی

شکل۲ مراحل انجام تحقیق میدانی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این مرحله شامل۳ بخش، می‌شود. ارزیابی شرایط داخلی از طریق اندازه‌گیری دمای هوا، میزان رطوبت نسبی و میزان تمرکز کربن دی‌اکسید، علاوه بر کمک به درک عمیق‌تر از محدوده شرایط داخلی، برای مقایسه با پاسخ‌های پرسشنامه‌ای نیز انجام‌شده است. از نتایج این بخش، در تدقیق مدل شبیه‌سازی‌شده با دیزاین بیلدر[1]، استفاده‌شده است. (شکل ۲).



شکل ۲. مراحل کار میدانی پژوهش حاضر

1. Design Builder (DB)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

۳-۱-۱. انتخاب نمونه

در این پژوهش از بین ساختمان‌های خوابگاه دانشگاه شهید بهشتی، ۲ نمونه (بلوک ۱ و ۳ خوابگاه دخترانه) در شمال تهران انتخاب‌شده است. دریکی از ساختمان‌ها (بلوک ۱) ، با توجه به مشکلات موجود، بهسازی‌هایی انجام‌شده است اما پیش از بهسازی، دو ساختمان ازنظر معماری، سازه و تأسیساتی مشابه بوده‌اند. علت انتخاب دو ساختمان با شرایط حتی‌المقدور مشابه، حذف عوامل مداخله‌گر بوده است.

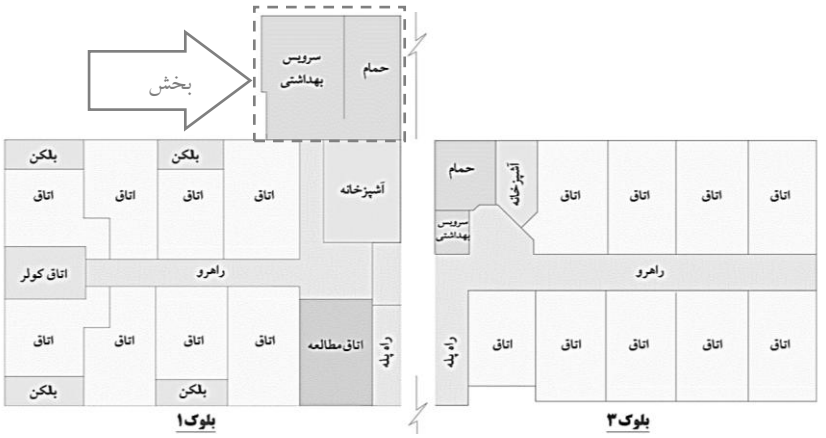
جدول ۲ وشکل ۳، به ترتیب مشخصات دو ساختمان و نقشه کاربری نیمی از فضاهای دو بلوک ۱ و ۳ را نشان می‌دهد. در دو طرف راه‌پله، فضاهای قابل‌مشاهده، برای هر ساختمان تکرار می‌شود.

جدول ۲. مشخصات ساختمان‌های نمونه

	بلوک ۱	بلوک ۳
تعداد ساکنان-طبقات	۳۵۰- ۴ طبقه روی زیرزمین	۳۵۰- ۴ طبقه روی زیرزمین
سیستم گرمایش-سرمایش	شوفاژ-کولرآبی	شوفاژ-کولرآبی
محل نصب کولر	در انتهای هر راهرو	پشت‌بام
روشنایی	مجهز به حس‌گر حضور در راهروها	-
آب گرم	شیرآلات هوشمند در سرویس بهداشتی	-
پنجره	قاب upvc با شیشه دوجداره	قاب آهنی با شیشه تک جداره

مأخذ: نتایج تحقیق

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]



شکل ۳. نقشه تیپ طبقات ساختمان‌های نمونه

ازآنجایی‌که این ساختمان‌ها کنتور برق و گاز جداگانه ندارد، امکان برآورد میزان مصرف انرژی آن‌ها فراهم نبوده و برای تخمین انرژی از شبیه‌سازی مطابق با الگوهایی که در (۱-۲-۴) ارائه می‌شود، استفاده‌شده است.

۳-۱-۲. پرسشنامه

برای مطالعه رفتار کاربران و تدقیق مدل شبیه‌سازی از استفاده‌شده است. در جدول (۶)، مشاهده می‌شود، سؤالات پرسشنامه‌ها به سه بخش سؤالات جمعیت‌شناسی، رفتار و رضایتمندی از محیط (هماهنگ با اندازه‌گیری) تقسیم‌شده است. سؤالات آسایش حرارتی، بر اساس پرسشنامه‌های نمونه، در استاندارد اشری ۵۵ (ASHRAE, 2013)، طراحی‌شده است. لازم به ذکر است که برای تدقیق نتایج پرسشنامه حرارتی، از ابزار محاسبه آسایش اشری، به روش میانگین رأی پیش‌بینی شده[1]، نیز استفاده‌شده است. پرسشنامه‌ها در دو مرحله توزیع‌شده‌اند: پرسشنامه رفتاری، در زمستان ۹۶ (پایلوت)، بهار و تابستان و پرسشنامه بازه‌ای، در پاییز ۹۷.

1. Predicted mean vote (PMV)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

جدول ۳. پرسشنامه و سؤالات ارائه‌شده به دانشجویان، در ساختمان‌های نمونه

موضوع سؤالات	محدوده سؤالات
رفتاری	اولویت رفتارهای تطبیقی (واکنش کاربر در احساس گرمای تابستان و زمستان) الگوی استفاده از سیستم سرمایش، گرمایش، روشنایی و برنامه حضور در فضا
رضایتمندی	از میزان کنترل بر تجهیزات ساختمان کیفیت عملکرد تجهیزات ساختمان شرایط محیطی

مأخذ: نتایج تحقیق

توزیع پرسشنامه‌ها، پس از یک دوره پایلوت در زمستان ۹۶، در ۳ مرحله، انجام‌شده است، که جزئیات تعداد و تاریخ توزیع در جدول ۳ آمده است. علت انجام بخش ۲، اصلاح سؤالات، به‌منظور تدقیق نتایج بوده است. در این دوره، دانشجویان تنها در بلوک ۱ اقامت داشتند. بخش پاییز در ساختمان بلوک ۱، از مجموع ۵۰ پرسشنامه جمع‌آوری‌شده، ۳۸ پرسشنامه با پاسخ‌های معتبر دریافت شد. سؤالات پرسشنامه به‌گونه‌ای طراحی‌شده‌اند تا به زمان توزیع آن وابسته نبوده و تفاوتی در تفسیر نتایج به وجود نیاید. همچنین اندازه‌گیری تنها در دو دوره اول و دوم انجام‌شده است که به‌تفصیل، در بخش (۲-۱-۴) موردبررسی قرار خواهد گرفت.

جدول ۴ زمان انجام تحقیق میدانی و تعداد پرسشنامه‌های جمع‌آوری‌شده در هر بخش

	تعداد پرسشنامه‌های جمع‌آوری‌شده			
نام ساختمان	بخش ۱ ۹۷/۲/۲۹ ۹۷/۲/۳۰	بخش ۲ ۹۷/۵/۱۹ ۹۷/۵/۲۰	بخش ۳ ۹۷/۹/۱۹	مجموع
بلوک۱	۸۱	۷۳	۳۸	۲۸۴
بلوک ۳	۹۲	-	-	

مأخذ: نتایج تحقیق

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

۳-۱-۳. اندازه‌گیری



شکل ۴. دستگاه سنجش کربن دی اکسید قابل حمل

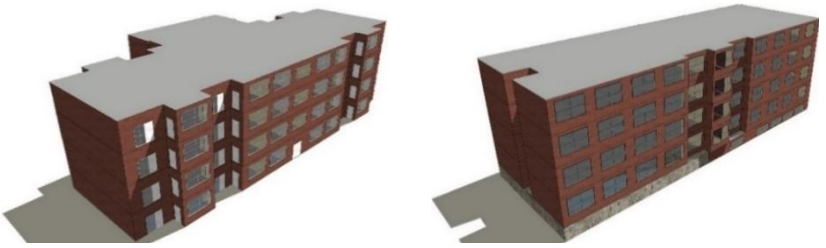
پارامترهای فیزیکی، برای مقایسه تجربه کاربران با شرایط حرارتی، به‌صورت هم‌زمان با پرسشنامه، اندازه‌گیری شد. پس از انجام چند مرحله پایلوت، دستگاه co2 متر قابل‌حمل، برای انجام اندازه‌گیری انتخاب شد (شکل ۴.). این دستگاه، حسگری بسیار دقیق برای اندازه‌گیری و نمایش لحظه‌ای کربن دی‌اکسید (با حداکثر ۵۰ ppm خطا)، دما در محدوده ۱۰- تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی بین ۰/۱ تا ۹۹/۹ درصد است. همچنین وجود هشدار برای محدوده غیرمجاز کربن دی‌اکسید، عملکرد دقیق برای اندازه‌گیری در محیط خارجی، ازجمله دیگر مزایای استفاده از این دستگاه به شمار می‌رود. پارامترهای ذکرشده، بر اساس پروتکل اندازه‌گیری، در ۱۲۱ اتاق، در مرکز هر فضا، بر اساس توصیه‌های استاندارد اشری ۵۵ (ASHRAE, 2013) ، ضمیمه ۶۶ (EBC, 2018) و ضمیمه ۵۳(Yoshino, et al., 2017)، به‌صورت لحظه‌ای، اندازه‌گیری و ثبت‌شده است

۴-۱-۳. شبیه سازی

هدف از شبیه‌سازی در این پژوهش، علاوه بر افزایش اثربخشی و تسهیل برنامه‌ریزی کارآمد، برای انجام ممیزی ساختمان‌های نمونه، کمّی سازی نتایج ارزیابی‌های میدانی است. این مهم، با تدقیق مدل انرژی ساختمان، با توجه به وضعیت و کاربری کنونی انجام‌گرفته است. مراحل

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

شبیه‌سازی به‌صورت فلوچارت موجود در شکل ۵، است. مدل‌سازی ساختمان‌های نمونه، به دو روش بر اساس برنامه‌های کاربری به‌دست‌آمده از پرسشنامه الگوی رفتار و برنامه‌های ارائه‌شده در استاندارد اشری برای کاربری خوابگاه(ANSI/ASHRAE, 2016)، انجام شد. شکل (۴) نیز تصویری از مدل‌های نمونه نشان می‌دهد. در این پژوهش از نرم‌افزار دیزاین بیلدر که رابط گرافیکی نرم‌افزار انرژی پلاس است به‌عنوان ابزار شبیه‌سازی بهره گرفته‌شده است. اعتبار این ابزار در مطالعات پیشین اثبات‌شده است (زندیه, ۱۳۹۵). برای رسیدن به درک عمیق‌تری از مصارف، از استاندارد مللی ایران(کمیسیون فنی تدوین استاندارد ساختمان های, ۱۳۹۵) استفاده شد و برپایه دستورالعمل‌های آن برچسب انرژی، محاسبه شد. به این منظور ابتدا ضرایب مربوط به جزئیات ساختمان نظیر، اقلیم، زیربنا و نوع کاربری مشخص شد. سپس، مصارف هر مرحله از اعمال راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی، ازجمله تغییر نوع پنجره، بهبود مشخصات حرارتی پوسته خارجی، افزایش ضریب بازدهی و عملکرد دستگاه [1] سیستم گرمایش و سرمایش، بر مدل پایه، به‌صورت مجزا برای برق و گاز، در رابطه‌های موجود در استاندارد ذکرشده، قرار داده و رده مصرف انرژی، محاسبه‌شده است.

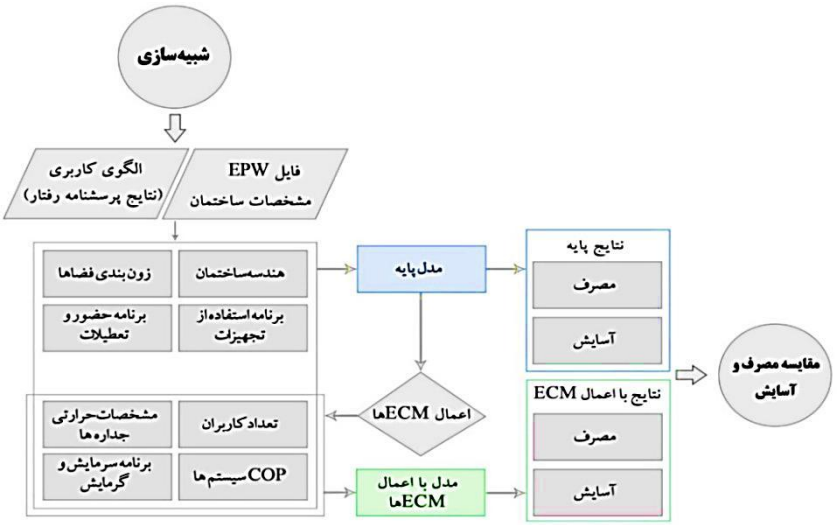


شکل ۴. مدل ساختمان‌های بلوک ۱(چپ) و بلوک ۳(راست)، در محیط نرم‌افزار دیزاین بیلدر

1. Coefficient of performance (COP)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

جدول (۵) مشخصات مدل‌سازی در مدل پایه، اشری و مدل با اعمال راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که، ضرایب هدایت حرارتی جداره‌ها، با توجه به مقادیر ارائه‌شده در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، در گروه ساختمانی نمونه موردبررسی، محاسبه‌شده است. سلول‌های رنگی یا با عبارت "بدون تغییر"، منظور آن دسته از جزئیات مدل هستند که نسبت به مدل پایه تغییر نکرده‌اند.



شکل ۵ مراحل انجام شبیه‌سازی در پژوهش حاضر

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

جدول ۵. مشخصات مدل‌سازی ساختمان‌های نمونه در سه مرحله
مدل‌سازی پایه، اشری و اعمال راهکارهای بهینه‌سازی

جزئیات مدل	مدل پایه (برنامه منطبق بر رفتار کاربران)	برنامه اشری	مدل با اعمال راهکارهای بهینه‌سازی
دمای تنظیم سرمایش	۲۷	۲۳/۸	*بدون تغییر
دمای تنظیم گرمایش	۲۳	۲۱/۱	*بدون تغییر
کنترل روشنایی	منطبق بر پاسخ کاربران- روشن بودن در صورت کمتر بودن میزان روشنایی از ۲۰۰ لوکس	بر اساس برنامه ارائه‌شده	منطبق بر پاسخ کاربران-روشن بودن در صورت کمتر بودن میزان روشنایی از ۲۰۰ لوکس در صورت حضور کاربر
کنترل تجهیزات برقی	منطبق بر پاسخ کاربران	بر اساس برنامه ارائه‌شده	*بدون تغییر
کنترل تجهیزات سرمایش	منطبق بر پاسخ کاربران	همیشه روشن- کنترل با ست پوینت	*بدون تغییر
کنترل تجهیزات گرمایش	منطبق بر پاسخ کاربران- ۳ ماه مهر، فروردین و اردیبهشت، برنامه گرمایش پاییز (۱۰٪ کمتر از پاسخ کاربران)	همیشه روشن- کنترل با ست پوینت	*بدون تغییر
عملکرد پنجره	عدم استفاده از تهویه طبیعی	عدم استفاده از تهویه طبیعی	استفاده هم‌زمان از سیستم سرمایش در کنار تهویه طبیعی
جزئیات مدل	مدل پایه (برنامه منطبق بر رفتار کاربران)	برنامه اشری	مدل با اعمال راهکارهای بهینه‌سازی
ضریب هدایت حرارتی دیوار خارجی	۳/۲۲	۳/۲۲	۰/۶۶
ضریب هدایت حرارتی بام	۳/۸۴	۳/۸۴	۰/۶۲۵
ضریب عملکرد سیستم گرمایش	۰/۶	۰/۶	۰/۸۵

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

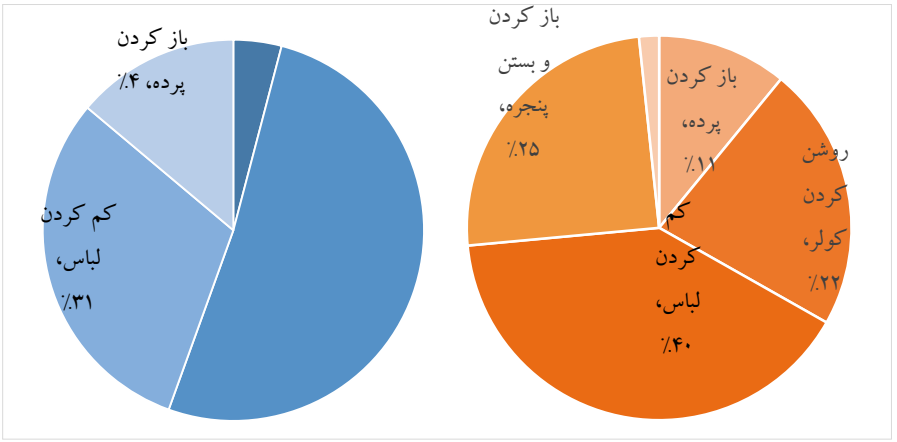
جزئیات مدل	مدل پایه (برنامه منطبق بر رفتار کاربران)	برنامه اشری	مدل با اعمال راهکارهای بهینه‌سازی
ضریب عملکرد سیستم آب گرم مصرفی	۰/۶	۰/۶	۰/۸۵
جلوگیری از نفوذ هوا	۲	۱	۱
نوع پنجره	قاب آهنی و شیشه تک جداره	قاب آهنی و شیشه تک جداره	قاب upvc با شیشه دوجداره و یک لایه هوا

مأخذ: نتایج تحقیق

۴. نتایج و بحث

۴-۱. پرسشنامه

در ادامه، نتایج پاسخ به سؤالات اولویت‌های رفتاری، رضایتمندی از سیستم‌های ساختمان و شرایط محیطی و الگوی رفتار، بررسی می‌شود.



نمودار ۱. اولویت‌های رفتاری در برابر احساس گرمای داخلی، در تابستان (راست) و زمستان (چپ)، در ساختمان‌های نمونه

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

ـ رفتار

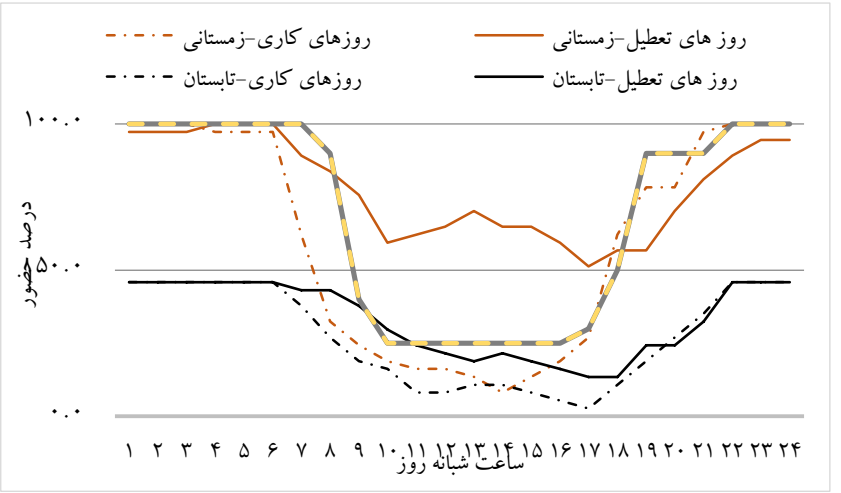
اولویت‌های رفتاری: در رابطه با احساس گرما در تابستان، ۴۰ درصد، کاربران اعلام کردند که اولین اقدام، "کم کردن لباس"، سپس "باز کردن و بستن پنجره" با ۲۵ درصد، و پس‌ازآن، روشن کردن کولر با ۲۲ درصد است. در اولویت‌های ۴ و ۵ رفتاری نیز به ترتیب باز کردن پرده برای جلوگیری از ورود تابش به فضای داخلی و نوشیدن مایعات خنک قرارگرفته است (نمودار ۱). اولویت رفتار کاربران در زمستان برای جلوگیری از بیش گرمایش، نشان می‌دهد که در اولویت اول کاربران، خاموش کردن شوفاژ، با ۵۱/۴درصد، اولویت دوم کم کردن لباس با ۳۰/۶ درصد و پس‌ازآن باز کردن پنجره برای تهویه هوای بیشتر و خروج هوای گرم داخلی و باز کردن پرده برای جلوگیری از تابش قرار دارد. به‌طورکلی، کاربران اظهار داشتند که در تابستان، قبل از روشن کردن کولر، ابتدا از تهویه طبیعی استفاده یا اقدام به کم کردن لباس خود می‌کنند. در زمستان نیز، اولین اقدام خود را خاموش کردن شوفاژ اعلام کردند(نمودار ۱).

الگوی رفتاری: این بخش، مربوط به سؤالات رفتاری و برنامه استفاده از تجهیزات سرمایش، گرمایش و روشنایی است که بر مبنای آن برنامه‌های کاربری برای شبیه‌سازی به‌دست‌آمده است. در این بخش از کاربران درخواست شد تا زمان حضور در اتاق، استفاده از سیستم سرمایش و گرمایش و روشنایی در فصل تابستان و زمستان، در روزهای کاری و تعطیل، در نمودارهایی که ۲۴ ساعت شبانه‌روز را نشان می‌داد، علامت بزنند. برای بررسی پاسخ کاربران، از برنامه ساعتی حضور و روشنایی اشری (ANSI/ASHRAE, 2016)، و در خصوص برنامه سرمایش و گرمایش، این استاندارد، به‌جای دستورالعمل ساعتی، از دمای تنظیم سرمایش و گرمایش استفاده کرده است.

نمودار (۲) برنامه حضور حاصل از پرسشنامه و استاندارد اشری، نشان می‌دهد. در تابستان، به‌این‌علت که اکثر دانشجویان به‌صورت موقت، برای انجام پروژه‌های کوتاه‌مدت، در خوابگاه اقامت دارند، از برنامه منظم آموزشی پیروی نمی‌شود. بنابراین، برخلاف زمستان، درصد حضور، کاهش‌یافته است. از طرفی، ساعات مجاز ورود و خروج از خوابگاه، بین ۷ صبح تا ۹ شب، باعث کاهش ۳۰ تا ۸۰

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

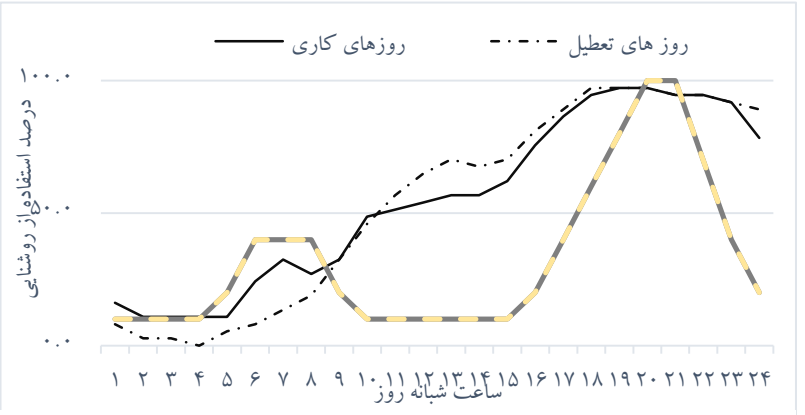
درصد حضور زمستان و ۳۰ تا ۴۰ درصد تابستان، به ترتیب، در روزهای تعطیل و کاری شده است. برنامه ارائه‌شده در استاندارد اشری نیز، مشابه برنامه روزهای کاری در زمستان است.



نمودار ۲. برنامه حضور در دو نیم سال، در مقایسه با برنامه استاندارد سالانه اشری، به تفکیک روزهای کاری و تعطیل

نمودار ۳ میانگین پاسخ کاربران را به ساعات استفاده از روشنایی مصنوعی، در روزهای تعطیل و آخر هفته، در مقایسه با برنامه استاندارد اشری، نشان داده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، به علت ناکافی بودن نور طبیعی (گزارش‌شده در هنگام ثبت داده)، در اواسط روز، برخلاف برنامه اشری، کاربران از روشنایی مصنوعی استفاده می‌کنند. بنابراین، برنامه استفاده از سیستم روشنایی، بیشتر به ساعات خواب‌وبیداری کاربران وابسته است تا ساعات روشنایی روز.

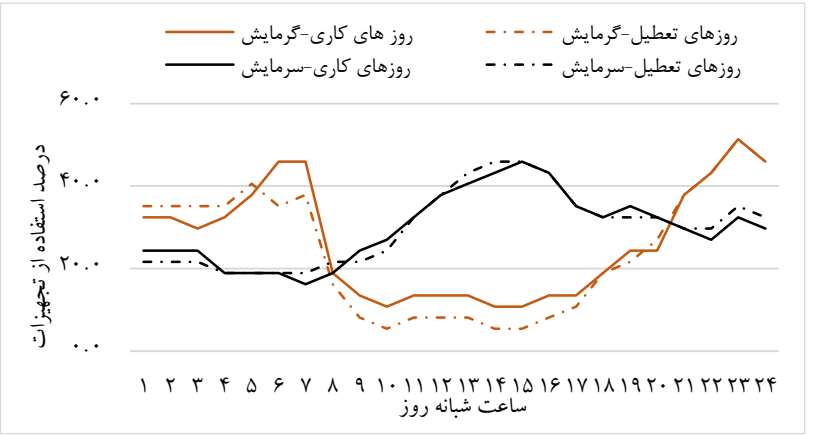
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]



نمودار ۲ برنامه استفاده از روشنایی در دو نیم سال،
در مقایسه با برنامه استاندارد سالانه اشری، در روزهای کاری و تعطیل

استفاده از سیستم گرمایش، در ساعات ابتدایی صبح که کاهش دما اتفاق می‌افتد و در ساعات ابتدایی خواب، حدود ۱۵ درصد افزایش و در مقابل در ساعات خروج کاربران از فضا یا به علت افزایش دما به‌خصوص در ظهر زمستان، حدود ۳۳ درصد کاهش می‌یابد. استفاده از سیستم سرمایش نیز همان‌طور که انتظار می‌رود، طبق الگوی تغییرات دما در تابستان، در ساعات ۳ تا ۸ صبح ، ۸ درصد کاهش و در ساعات ۸ صبح تا ۱۵، حدود ۲۵ درصد افزایش می‌یابد (نمودار). اشری، برای تجهیزات از دمای تنظیمی سرمایش و گرمایش استفاده کرده است. لذا، برنامه استفاده از تجهیزات به‌طور مجزا، وجود ندارد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]



نمودار ۴. برنامه استفاده از سیستم سرمایش و گرمایش، در دو نیم سال، در روزهای کاری و تعطیل

برنامه‌های اشری، به علت دور بودن از واقعیت نمونه‌ها می‌تواند باعث تخمین اشتباه میزان مصرف و افزایش فاصله بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و واقعی شود، عللی که این تفاوت، شامل موارد زیر است:

۱. ثابت در نظر گرفتن زمان‌های حضور کاربر در روزهای کاری و تعطیل

۲. توجه نکردن به مشکلات مخصوص به هر نمونه، مانند ناکافی بودن نور روز در فضای داخلی و وابستگی بیشتر استفاده از برنامه روشنایی، به ساعات خواب‌وبیداری کاربران تا ساعات روز و روشنایی طبیعی و عدم توجه کاربران به خاموش کردن لامپ‌ها در هنگام خروج.

۴-۱-۱. رضایتمندی

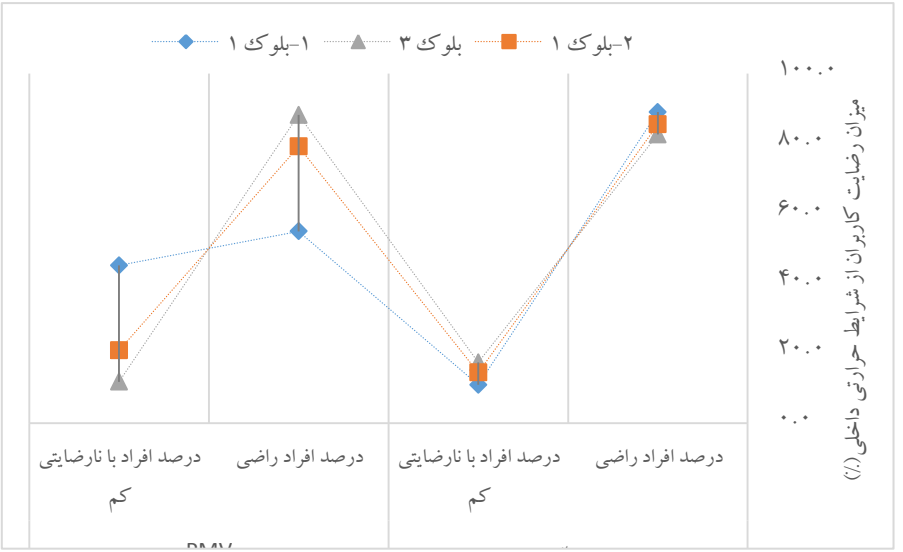
این بخش نتایج رضایتمندی از محیط و عملکرد ساختمان را بررسی می‌کند. برای محاسبه میزان رضایتمندی کاربران، در فضای اتاق‌ها ابتدا از پرسشنامه‌های حرارتی، استفاده شد. اکثر کاربران اظهار کردند که از شرایط راضی هستند و تمایل زیادی به انتخاب گزینه‌های نزدیک به بی‌طرفی، نشان داده‌اند. بنابراین، برای تدقیق نتایج، از اندازه‌گیری‌های محیط داخلی در ابزار محاسبه آسایش اشری برای محاسبه میزان میانگین رأی پیش‌بینی شده، وارد شد (نمودار ۳). در رابطه با شرایط نمونه‌ها در دوره اول، می‌توان گفت که انتظار می‌رفت با توجه به بهسازی‌های

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

انجام‌گرفته در بلوک ۱، این ساختمان، وضعیت بهتری، داشته باشد. اما همان‌طور که مشاهده می‌شود، از دیدگاه اشری، در بلوک ۳، ۳۰ درصد از کاربران وضعیت بهتری از بلوک ۱، داشته‌اند. بااین‌حال پرسشنامه، در بلوک۱، تقریباً مشابه بلوک ۳ (کمتر از ۱۰ درصد) ، رضایت بالاتری را نشان داده است. در رابطه با تفاوت زیاد نتایج این دو روش، می‌توان گفت، این مسأله به علت، ثابت در نظر گرفتن سطح پوشش (۰/۵ clo[1] برابر با سطح پوشش تابستانی معمول)، فعالیت (met۱[2]، برای حالت نشسته و آرام) و از همه مهم‌تر، جریان هوا در محاسبه میانگین رأی پیش‌بینی شده ، است. در محاسبه آسایش حرارتی، به این روش، کاربران را منفعل در نظر می‌گیرد، درصورتی‌که در واقعیت، کاربران اقدامات تطبیقی، مانند نوشیدن مایعات خنک، را در راستای حفظ رضایتمندی انجام می‌دهند که محدوده آسایش حرارتی آنان را افزایش می‌دهد. این مسأله اهمیت استفاده از روش میدانی، برای به دست آوردن نتایج واقعی‌تر در ارزیابی فضا را نشان داد میزان رضایتمندی در رأی کاربران در عملکرد سیستم سرمایش، نسبت به دوره اول در نمودار ۴، افزایش‌یافته است. این مسأله نشان می‌دهد که به علت استفاده از سیستم سرمایش، در دوره دوم، کاربران دید واقعی‌تری نسبت به عملکرد آن، پیدا می‌کنند. احساس رضایت از میزان کنترل بر سیستم سرمایش در هر دو بلوک ۱ و ۳، در هر دو دوره، قابل‌قبول نیست. در دوره اول به علت خاموش بودن سیستم سرمایش کاربران بیشتر از بازشو در و پنجره استفاده می‌کنند و پایین بودن سطح رضایتمندی، نشان از عملکرد نامناسب آن در هر دو ساختمان می‌شود.

1. Clothing level
2. Metabolic rate

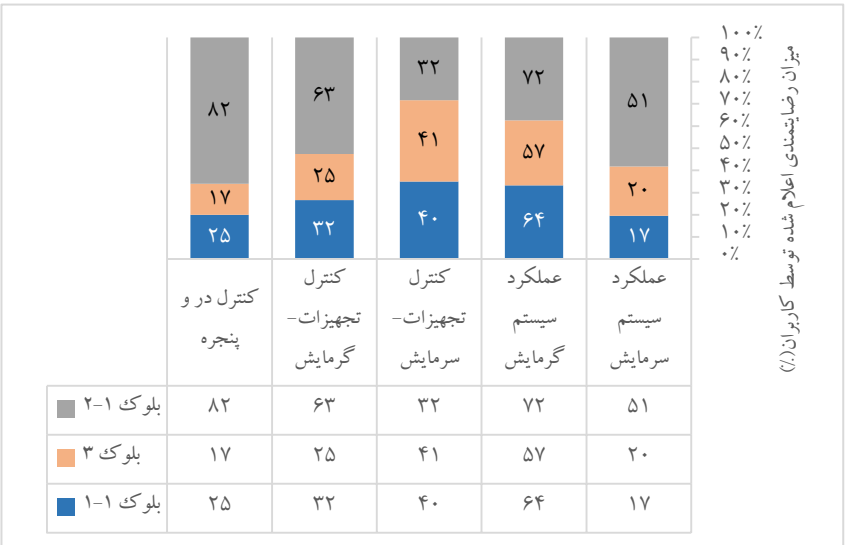
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]



نمودار ۳ نتایج آسایش حرارتی با استفاده از میانگین رأی پیش‌بینی شده، در کنار پاسخ کاربران به پرسشنامه میدانی در ساختمان‌های نمونه

به‌طورکلی، در مقایسه دو ساختمان، با توجه به بهسازی‌های بلوک ۱، است، میزان رضایتمندی از شرایط محیط داخلی، تفاوت بسیار کمی بین دو نمونه دیده می‌شود. تنها در رابطه با عملکرد سیستم گرمایش (حدود ۱۰ درصد) و کنترل تجهیزات گرمایش (۷ درصد) و سهولت در کنترل در و پنجره (۸ درصد)، بهبود جزئی وجود دارد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]



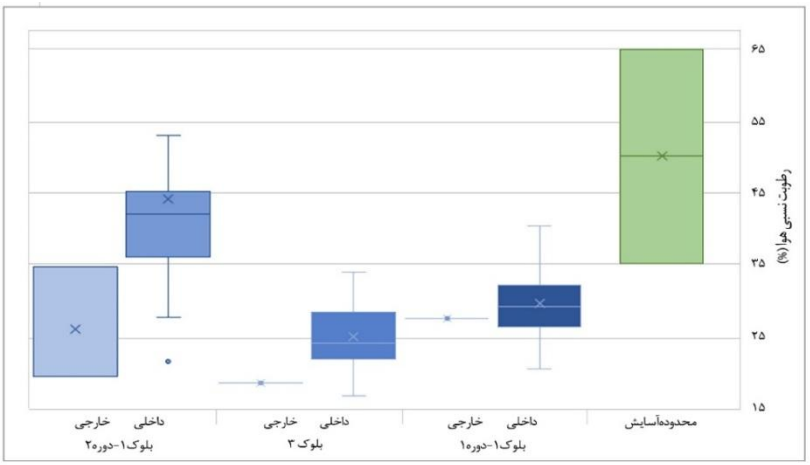
نمودار ۴ رأی کاربران به میزان رضایتمندی در رابطه با عملکرد و کنترل تجهیزات ساختمان‌های نمونه

۴-۱-۲. نتایج اندازه‌گیری

نمودارهای ۷ تا ۹، مقادیر اندازه‌گیری شده دما، رطوبت نسبی و کربن دی‌اکسید را برای فضاهای موردبررسی نشان می‌دهند. نکته مهم در مورد تفاوت دو دوره اندازه‌گیری این است که، در دوره اول، ساختمان بدون نیاز سرمایش و گرمایش بوده، اما در دوره دوم، سیستم سرمایش، کولرآبی، روشن بوده است. در این دوره، تغییر شرایط داخلی، به‌واسطه افزایش نرخ تهویه و رطوبت زنی در این نمودارها محسوس است.

دمای هوا: نمودار (۷) مقادیر دمای اندازه‌گیری شده در دو ساختمان نمونه را نشان می‌دهد. محدوده آسایش دمای هوای داخلی با توجه به استاندارد اشری(ASHRAE, 2013)، بین ۱۹ تا ۲۸ برای فضاهای مسکونی اعلام‌شده است. همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود، مقادیر دمای داخلی برای بلوک ۱، در دوره اول، به‌جز چند مورد، در محدوده آسایش و برای بلوک ۳ کمی از محدوده آسایش تجاوز کرده است. در دوره دوم نیز، شرایط داخلی در محدوده آسایش و حدود ۴ درجه با دمای خارجی، اختلاف دارد.

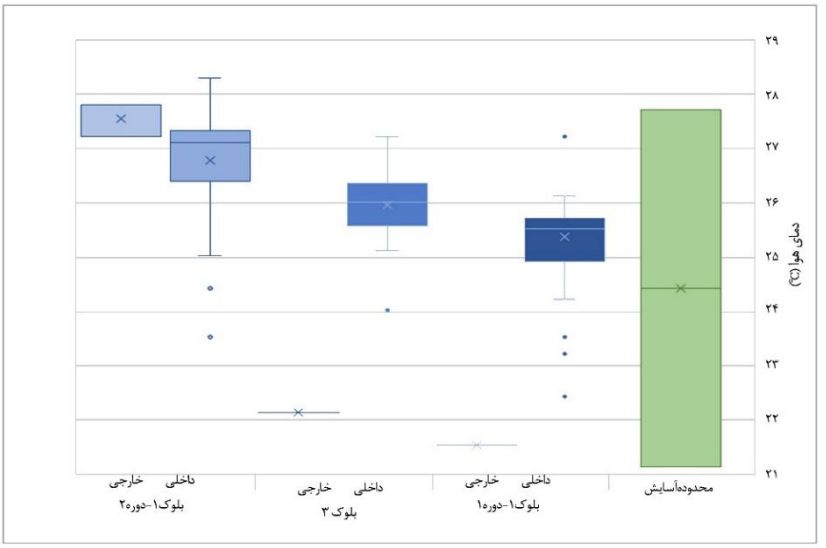
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]



نمودار ۷. محدوده رطوبت نسبی اندازه‌گیری شده داخلی بلوک ۱ و ۳
در مقایسه با مقادیر خارجی و محدوده آسایش

رطوبت نسبی: نمودار ۸ محدوده رطوبت نسبی داخلی و خارجی اندازه‌گیری شده و مقدار پیشنهادشده در استاندارد اشری(ASHRAE, 2013)، را نشان می‌دهد. در دوره اول، در دو نمونه، میزان رطوبت نسبی، در اکثر فضاها، پایین‌تر از محدوده آسایش قرار دارند. این مسأله با توجه به اقلیم نیمه‌خشک تهران قابل‌انتظار است. بنابراین فضاهای داخلی نیاز به رطوبت زنی دارند. تأثیر رطوبت زنی سیستم سرمایش (کولرآبی)، در اندازه‌گیری شرایط داخلی در دوره دوم بلوک ۱، .کاملاً مشخص است، به این صورت که تقریباً تمامی فضاها در محدوده آسایش قرارگرفته‌اند.

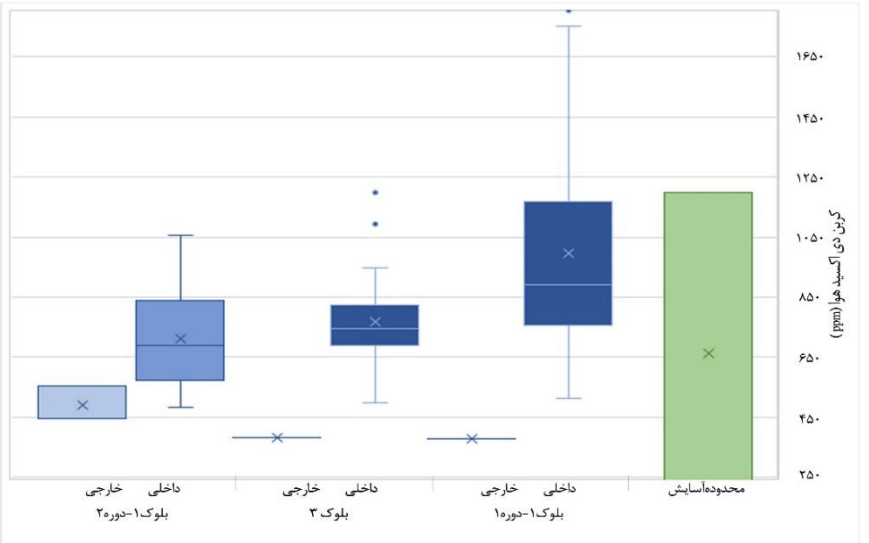
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]



نمودار ۵ محدوده دمای اندازه‌گیری شده داخلی بلوک ۱ و ۳
در مقایسه با مقادیر خارجی و محدوده آسایش

کربن‌دی‌اکسید: نمودار ۹ مقادیر کربن دی‌اکسید اندازه‌گیری شده محیط داخلی و خارجی، بلوک ۱ و ۳، را نشان می‌دهد. برای ارزیابی بهتر کیفیت هوای داخلی، این مقادیر در کنار محدوده مجاز، در نمودار قرارگرفته‌اند. در هر دو ساختمان، این مقادیر در محدود مجاز هستند. میزان غلظت کربن دی‌اکسید در بلوک ۳ کمتر از بلوک ۱، در دوره اول است. علت این تفاوت می‌تواند به کاهش جلوگیری از نفوذ هوا در بلوک ۱ باشد که باعث حبس شدن هوا در فضاها می‌شود. بنابراین افزایش نرخ تهویه، می‌تواند به بهبود کیفیت هوای داخلی کمک کند. در دوره دوم نیز، به علت استفاده از تهویه (سیستم سرمایش یا تهویه طبیعی بیشتر به علت گرمای هوا در این دوره) مقدار کربن دی‌اکسید داخلی ثبت‌شده کاهش‌یافته است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]



نمودار۹. محدوده کربن دی اکسید اندازه گیری شده داخلی بلوک ۱ و ۳،
در مقایسه با مقادیر خارجی و محدوده مجاز

۴-۱-۳. شبیه‌سازی

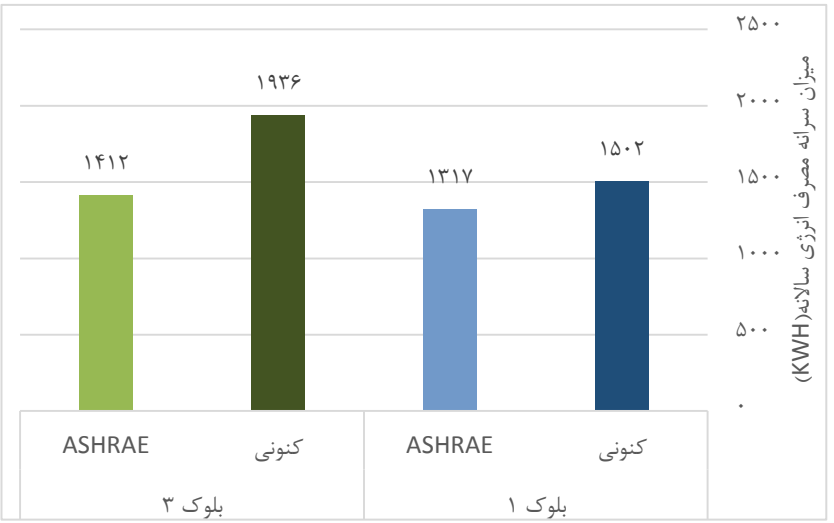
برای اجرای شبیه‌سازی‌ها، از نرم‌افزار دیزاین بیلدر نسخه (5.5.2.003) بر پایه چارچوب ذکرشده در شکل (۴) استفاده‌شده است. نتایج این بخش، با توجه به تفاوت‌های ناشی از بهسازی‌ها در دو ساختمان، شامل ۳ قسمت می‌شود:

- بررسی عملکرد کنونی نمونه‌ها قبل و پس از اعمال راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی
- بررسی میزان صرفه‌جویی انرژی و تغییرات آسایش، پس از اعمال راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی
- بررسی وضعیت برچسب انرژی ساختمان‌ها در هر مرحله

بررسی عملکرد کنونی ساختمان‌ها و پس از اعمال برنامه اشری و راهکارهای بهینه‌سازی: مصرف انرژی سرانه، با استفاده از الگوهای کاربری به‌دست‌آمده از پرسشنامه، درکنار نتایج حاصل از اعمال برنامه‌های ثابت اشری، در نمودار ۶، شبیه‌سازی شد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، به‌طورکلی در بلوک ۱، سرانه مصرف سالانه، به‌طورکلی از بلوک ۳، کمتر است. بنا به

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

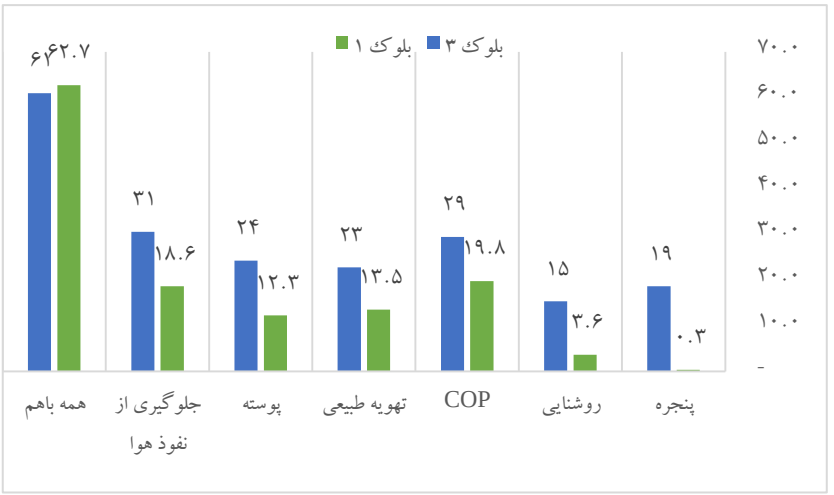
دلایلی که در (۱-۱-۴) ذکر شد، برنامه‌های مبنی بر پاسخ کاربران، به‌عنوان برنامه اصلی در روند مدل‌سازی استفاده و از برنامه‌های ثابت اشری، تنها برای مقایسه سرانه مصرف بهره گرفته شد.



نمودار ۶. میزان مصرف سرانه در یک سال برای دو نمونه، پس از اعمال دو برنامه اشری و مبنی بر

بررسی نتایج حاصل از اعمال راهکارهای بهینه‌سازی بر مصرف انرژی و آسایش: برای ارزیابی کیفیت عملکرد بهسازی‌های بلوک ۱، راهکارهای بهینه‌سازی، به‌صورت مجزا، بر مدل پایه اعمال شدند، تا مشخص شود که هرکدام، چه تأثیراتی بر میزان مصرف انرژی و ساعات عدم آسایش سالانه نمونه‌ها، می‌گذارد. نکته لازم به ذکر، در مورد راهکار پنجره، روشنایی و جلوگیری از نفوذ هوا این است که در بلوک ۱، عملکرد کنونی و در بلوک ۳، تأثیر راهکارهای بهینه‌سازی مشابه را در صورت اجرا نشان می‌دهد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]



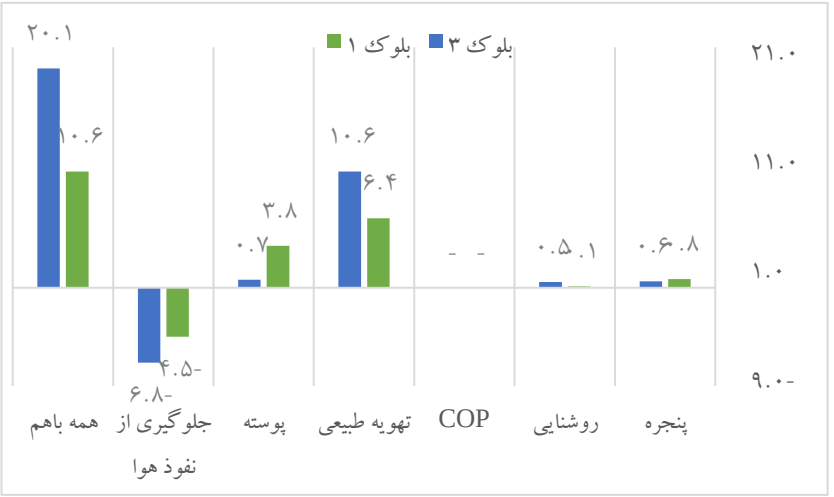
نمودار ۷. درصد صرفه‌جویی هر راهکار بهینه‌سازی نسبت به مدل پایه در بلوک ۱ و ۳

نمودار ۱۱ نشان می‌دهد که اعمال راهکارهای بهینه‌سازی، از دیدگاه مصرف انرژی، در بلوک ۳، مؤثرتر از بلوک ۱ است. در اعمال همه راهکارها، بلوک ۱، حدود ۱,۷ درصد، بیشتر از بلوک۳، مصرف انرژی را کاهش داده است. افزایش ضریب عملکرد سیستم گرمایش(COP)، به ترتیب در بلوک ۱ و ۳، ۲۰ و ۲۹ درصد، جلوگیری از نفوذ هوا ۱۹ و ۳۱ درصد، پوسته ۱۲ و ۲۴ درصد و تهویه طبیعی با ۱۳,۵ و ۲۳ درصد، بیشترین مقادیر صرفه‌جویی را دارند. روشنایی، با ۴ و ۱۵درصد، پنجره، با ۰ و ۱۹ درصد، به ترتیب در بلوک ۱ و ۳ کمترین مقادیر صرفه‌جویی انرژی را داشته‌اند. بنابراین می‌توان گفت تغییر در سیستم روشنایی و نوع پنجره، که در بلوک ۱ انجام‌شده است، از دیدگاه کاهش مصرف، در اولویت اجرایی قرار نداشته است. از طرفی ساختمان ۳ در اعمال هر راهکار در کاهش مصرف انرژی موفق‌تر بوده است.

برای مقایسه عملکرد دو ساختمان، به دلیل عدم دسترسی به مصارف واقعی، علاوه بر شبیه‌سازی مصرف، از شبیه‌سازی ساعات عدم آسایش با توجه به شرایط استاندارد اشری ۵۵، به‌عنوان شاخص مقایسه استفاده‌شده است. نمودار ۱۲ نشان می‌دهد که اعمال راهکارهای بهینه‌سازی، مانند صرفه‌جویی انرژی در مقدار آسایش نیز، در بلوک 3، مؤثرتر از بلوک 1 است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

در اعمال همه راهکارها، بلوک ۳، ۹/۵درصد، بیشتر از بلوک1، ساعات نارضایتی سالانه را کاهش داده است. تهویه طبیعی نیز در بلوک ۱ و ۳ به ترتیب، حدود ۶ و ۱۱ درصد باعث بهبود شرایط شده است. از طرفی جلوگیری از نفوذ هوا در بلوک ۱، ۴ و در بلوک ۳، ۷ درصد، باعث افزایش نارضایتی در مقایسه با بلوک ۳ شده است. تغییرات پنجره، پوسته، روشنایی و ضریب عملکرد سیستم گرمایش(COP)، بر ساعات نارضایتی سالانه، تأثیر ناچیزی (تا ۴ درصد) در دو نمونه دارد. به‌طورکلی استفاده از راهکارهای مختلف در بلوک ۳، مقدار بیشتری ساعات نارضایتی را کاهش داده است و دو راهکار پنجره و روشنایی نیز همان‌طور که در مصرف انرژی کمترین تأثیر را دارند در کاهش نارضایتی نیز اثر کمتری نسبت به سایر راهکارها داشته‌اند.

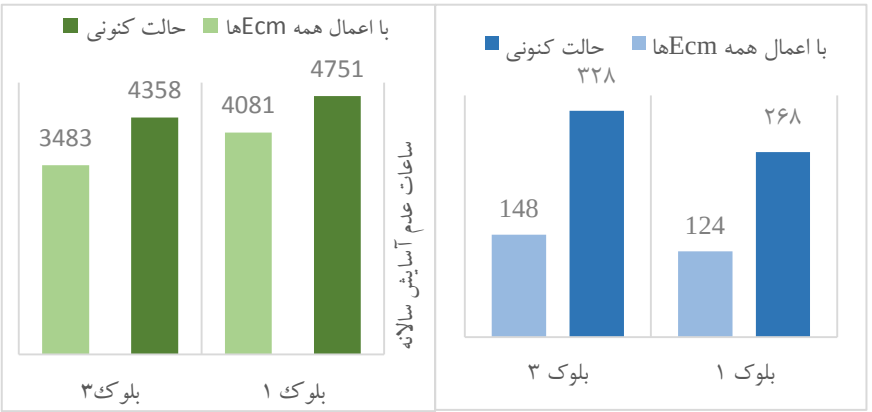


نمودار ۱۲. درصد کاهش ساعات عدم آسایش سالانه نسبت به مدل پایه در دو ساختمان نمونه

نمودار ۱۳ مصرف انرژی سالانه و ساعات آسایش را دو ساختمان، در حالت کنونی و پس از اعمال تمامی راهکارها، نشان می‌دهند. میزان مصرف کنونی در بلوک ۱(بهسازی شده)، همان‌طور که انتظار می‌رود، کمتر از بلوک ۳ است (حدود ۱۹ درصد). با اعمال راهکارها، دو ساختمان، عملکرد مشابهی داشته‌اند و حدود ۵۵ درصد نسبت به حالت کنونی خود، مصرف کمتری دارند. در رابطه با ساعات عدم آسایش نیز، مشاهده می‌شود که راهکارها، تأثیر مثبتی نیز

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

بـر کـاهش سـاعات عـدم آسـایش در دو سـاختمان دارد (بلـوک ۱، ۱۴ درصـد و بلـوک ۳، ۲۱ درصد). از دیگر سو، عملکرد بهسازی‌های انجام‌شـده، بـا ارزیـابی حـالات کنـونی دو سـاختمان (پیش و پس از بهسازی)نشان می‌دهد که، بلوک ۱ باوجود داشتن عملکرد بهتـر انـرژی، شـرایط آسایش ضعیف‌تری از بلوک ۳ دارد (حدود ۸ درصد ساعات نارضایتی بیشتر در یک سال).

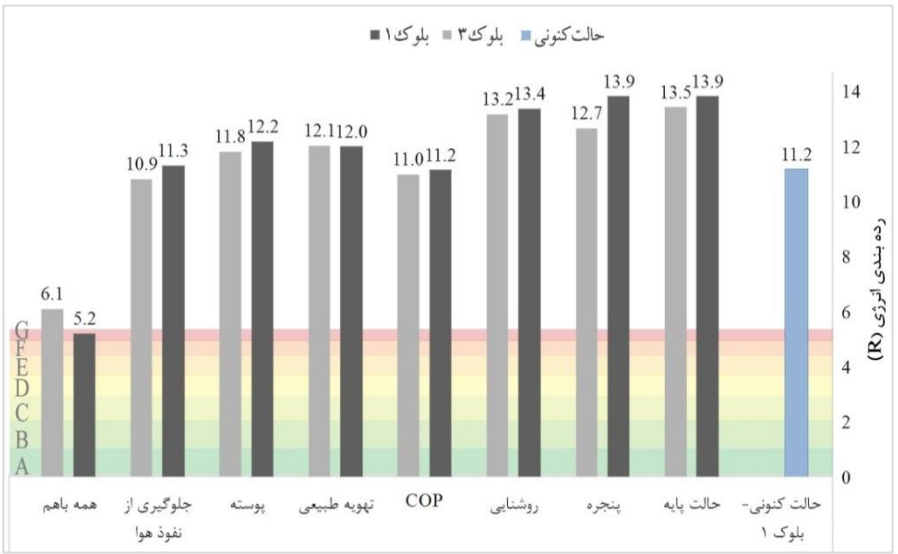


نمودار ۱۳. مقایسه میزان مصرف انرژی سالانه هر مترمربع (سمت راست)
و ساعات عدم آسایش سالانه (سمت چپ) در دو ساختمان بلوک ۱ و ۳

۴-۱-۴. برچسب انرژی

برای به دست آمدن درکی عمیق‌تر از تفاوت عملکرد ساختمان‌هـا، در هـر مرحلـه، از رده‌بنـدی انرژی نمونه‌ها، استفاده‌شده است. برچسب انرژی، با توجه به روش ذکرشـده در بخـش(۴-۱-۴) به‌صورت نمودار ، محاسبه‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برچسب‌های انـرژیG تـا A نیز، در نمودار، برای مقایسه بهتر نتایج، قرارگرفته است. به‌سازی پنجره، روشنایی و کاهش نفـوذ هوا از طریق درزهای ساختمان (بهسازی‌های انجام‌شده)، در حالت کنونی بلوک ۱، تفـاوت ایـن مدل با مدل پایه است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]



نمودار ۱۴. مقایسه رده انرژی (R) بلوک ۱ و ۳، در هر مرحله از اعمال ECM ها، با استاندارد برچسب انرژی ساختمان

به علت عدم دسترسی به مصارف واقعی، مقایسه "مقدار" مصرف و به‌تبع آن "مقدار" R[1]، هدف این بخش نیست بلکه مقایسه روند تغییرات اهمیت دارد. در بلوک ۱ پس از اعمال تمامی راهکارها، نسبت به حالت کنونی و پایه، به ترتیب، ۵۴ و ۶۶ درصد، بلوک ۳ نیز، نسبت به مدل پایه ۵۵ درصد، رده انرژی کاهش پیداکرده است. نکته مهم: اعمال تک تک راهکارها، در بلوک ۳، رده کمتری را به دست آورده است؛ این در حالی است که بلوک ۱، پس از اعمال تمامی راهکارها، ۱۵ درصد عملکرد بهتری از بلوک ۳ داشته است. بلوک ۱ با R(شاخص رده انرژی) ۵,۲، رده پایین‌تری را نسبت به بلوک ۳ با R ۶,۱ به دست آورده است.

۱. رده مصرف انرژی ساختمان بر اساس نسبت انرژی

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

۵. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پرسشنامه رضایتمندی از سیستم‌ها، نشان داد، بهسازی‌های انجام‌شده در بلوک ۱، باعث افزایش چشمگیری در رضایت کاربران از سیستم ساختمان نشده است. همچنین در رابطه با عملکرد سیستم گرمایش،کنترل سیستم سرمایش و در و پنجره، نارسایی‌هایی مشاهده شد که نیاز به اصلاح و بازبینی دارند. نتایج پرسشنامه الگوی رفتاری نیز، تفاوت زیاد برنامه‌های اشری، با واقعیت کاربری نمونه‌ها را نشان داد. این مسأله به‌واسطه نادیده گرفتن تفاوت الگوی متغیر رفتار کاربران در زمان‌ها و مکان‌های مختلف به وجود آمده است. بنابراین به دلیل افزایش خطا، در تخمین عملکرد ساختمان و ایجاد فاصله بین عملکرد واقعی و شبیه‌سازی‌شده، از این برنامه‌های ثابت، در مدل‌سازی، اجتناب شده است.

شبیه‌سازی‌ها نیز نشان داد که به‌طورکلی بهسازی‌های انجام‌شده در بلوک ۱، در اولویت اجرایی ازنظر مصرف انرژی و آسایش کاربر نبوده است. از طرفی از میان راهکارهای اعمال شده، تنها راهکار، تهویه طبیعی و کاهش اتلاف حرارت از طریق پوسته، بر کاهش نارضایتی در ساختمان‌ها، تأثیر چشمگیری داشته‌اند. بنا بر گفته‌های پیشین و نتایج ارائه‌شده، مشخص است که بهسازی‌های بلوک ۱، بدون در نظر گرفتن اولویت‌های انرژی و آسایشی انجام‌شده است. بنابراین در انتخاب راهکارهای ممیزی، بسیار اهمیت دارد که علاوه بر در نظر گرفتن اولویت تأثیرگذاری بر کاهش مصرف انرژی، رضایتمندی کاربر در فضای داخلی نیز بررسی و در تصمیم‌گیری‌ها دخیل شود.

در تحقیقات آینده، پیشنهاد می‌شود که: ۱) الگوها و مدل‌های کاربری، در مقیاس بزرگ، بر اساس تحقیقات میدانی، تدقیق شوند؛ ۲) داده‌های محیطی به مدت طولانی (حداقل یک دوره سرمایش یا گرمایش کامل)، ثبت شود؛ ۳) برای افزایش دقت در پاسخ‌ها، شرکت‌کنندگان در تحقیق، در چند دوره به سؤالات مشابه پاسخ دهند؛ ۴) ادامه مطالعه در تیپ‌های مختلف ساختمانی و کاربری‌های متفاوت، نیز انجام شود. ۵) استفاده از روش تطبیقی اشری در شبیه‌سازی، برای واقعی‌تر شدن نتایج.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

منابع

جان‌زاده، ا. و م. زندیه (۱۳۹۵). "امکان سنجی طراحی یک واحد همسایگی صفر انرژی در قزوین" *فصل‌نامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه ریزی انرژی*، ۲(۳)، صص ۱۳۲-۱۰۳.

کمیسیون فنی تدوین استاندارد ساختمان‌های (۱۳۹۵) 'استاندارد ملی ایران-ساختمان‌های مسکونی- تعیین معیار مصرف انرژی و دستورالعمل برچسب انرژی.

Ahmed K. et al. (2017) "Occupancy Schedules for Energy Simulation in new prEN16798-1 and ISO/FDIS 17772-1 standards", *Sustainable Cities and Society*, Volume 35, pp 134-144

ANSI/ASHRAE/IES Standard. 90.1 (2016), *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*, Section 5.6: Building Envelope Trade-Off Schedules and Loads Building Area Type, Available at: http:// sspc901. ashraepcs. org/ documents/ Addendum_ an_ Sched_ and_Load.pdf

ANSI ASHRAE Standard 55 (2013) *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. ASHRAE Standards Committee, the ASHRAE Board of Directors, and the American National Standards Institute, USA, Available at: https:// www. techstreet.com/ mss/ products/ preview/ 1868610

Chang W.K. and T. Hong (2013) "Statistical Analysis and Modeling of Occupancy Patterns in Open-plan Offices using Measured Lighting-switch Data", *Building Simulation*, 6(1), pp. 23–32.

Collins T.D. (2010) *Behavior, comfort, and energy consumption in student residence halls*, University of Oregon. (March 2010), p. 170.

Delzendeh E. et al. (2017) "The Impact of Occupants' Behaviours on Building Energy Analysis: A Research Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. No. 80, pp. 1061–1071.

Galvin R. and M.S.-B. (2013) "Economic Viability in Thermal Retrofit Policies: Learning from ten years of Experience in Germany", *Energy Policy*, No.54, pp.343-351.

Grimes A., Denne T., Howden-Chapman P. et al. (2012). *Cost benefit analysis of the Warming Up New Zealand: Heat Smart Programme*. Wellington: He Kainga Oranga/Housing and Health Research Programme, University of Otago, Available at: http://www.healthyhousing.org.nz/wp-content/ uploads/ 2012/05/ NZIF_CBA_report-Final-Revised0612.pdf (accessed Sept 2018).

IEA, IRENA, UNSD, WB, WHO (2019), *Tracking SDG 7: the Energy Progress Report*, Washington DC.

Judson E.P. and C. Maller (2014) "Housing Renovations and Energy Efficiency: Insights from Homeowners Practices", *Building Research and Information*, 42(4), pp. 501-511.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

Long T.B. et al. (2015) "The Impact of Domestic Energy Efficiency Retrofit Schemes on Householder Attitudes and Behaviours", *Journal of Environmental Planning and Management*, 58(10), pp.1853-1876.

O'Donovan A., O'Sullivan P.D. and M.D. Murphy (2017) "A Field Study of Thermal Comfort Performance for a Slotted Louvre Ventilation System in a Low Energy Retrofit", *Energy and Buildings*, No. 135, pp. 312-323.

Yan D., Hong T., Dong B., Mahdavi A., D'Oca S., Gaetani I. et al. (2017), IEA EBC Annex 66: Definition and Simulation of Occupant Behavior in Buildings. *Energy Building*; No. 156, pp 258–70.

Richardson I., Thomson M. and D. Infield (2008) "A High-resolution Domestic Building Occupancy Model for Energy Demand Simulations", *Energy and Buildings*, 40(8), pp. 1560–1566.

Song K. et al. (2017) "Predicting Hourly Energy Consumption in Buildings using Occupancy-related Characteristics of end-user groups", *Energy and Buildings*, No.156, pp 121-133.

Sorrell S., Dimitropoulos J. and M. Sommerville (2009) "Empirical Estimates of the Direct Rebound Effect: A Review", *Energy Policy*, 37(4), pp 1356-1371.

Stazi F., Naspi F. and M. D'Orazio (2017) "A Literature Review on Driving Factors and Contextual Events Influencing Occupants' Behaviours in Buildings", *Building and Environment*, No. 118, pp. 40–66.

Sun K. and T. Hong (2017) "A Framework for Quantifying the Impact of Occupant Behavior on Energy Savings of Energy Conservation Measures", *Energy and Buildings*, No. 146, pp. 383–396.

Vardoulakis S. et al. (2015) "Impact of Climate Change on the Domestic Indoor Environment and Associated Health Risks in the UK", *Environment International*. No.85, pp. 299–313.

Vilches A., Barrios Padura Á. and M. Molina Huelva (2017) "Retrofitting of homes for People in Fuel Poverty: Approach based on Household Thermal Comfort", *Energy Policy*, No.100, pp. 283-291.

Yan D. et al. (2017) "IEA EBC Annex 66: Definition and Simulation of Occupant Behavior in Buildings", *Energy and Buildings*, No.156, pp. 258–270.

Yoshino H., Hong T. and N. Nord (2017) "IEA EBC annex 53: Total energy use in buildings—Analysis and Evaluation Methods", *Energy and Buildings*, No.152, pp.124–136.

Zahiri S. and H. Elsharkawy (2018) "Energy & Buildings Towards Energy-efficient Retrofit of Council Housing in London : Assessing the Impact of Occupancy and Energy-use Patterns on Building Performance", *Energy & Buildings*. No.174, pp.672–681.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]