نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و سوم، شماره ۷۰، پاییز ۱۴۰۲

امکان‌سنجی بهینه‌سازی هزینه ساخت و مصرف انرژی در ساختمان‌های تهران

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱/۲۹ **پذیرش نهایی**: ۱۴۰۰/۴/۲

صفحات: ۴۵۴-۴۲۵

میثم ذکاوت: دانشجوی دکتری معماری دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
Email: M_zekavat@sbu.ac.ir
منصوره طاهباز: دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران[۱]
Email: m-tahbaz@sbu.ac.ir
محمدرضا حافظی: دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
Email: mr-hafezi@sbu.ac.ir

چکیده

ساختمان‌ها یکی از مهم‌ترین فضاهایی است که بخش زیادی از انرژی را مصرف می‌نمایند. به‌گونه‌ای که این بخش نسبت به دیگر بخش‌ها به‌طور میانگین ۳۰ تا ۵۰ درصد از مصرف انرژی را شامل می‌شود. بهینه‌سازی هزینه ساخت و مصرف انرژی در ساختمان کلان‌شهرها ازجمله تهران به دلایل مختلف بسیار مهم است. هدف از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر موقعیت قرارگیری ساختمان نسبت به ساختمان‌های مجاور و گذر، بر میزان مصرف انرژی است. محدوده تحقیق، ساختمان‌های آپارتمانی مسکونی متداول در شهر تهران است. روش تحقیق توصیفی-تحلیلی و مبتنی بر گردآوری داده‌های سازمانی و میدانی بوده است؛ با انتخاب ۶ بلوک مسکونی مشابه و در موقعیت‌های نورگیری متفاوت، داده‌های مختلف گردآوری شد. این ۶ بلوک از لحاظ مساحت زمین، مساحت زیربنا، تعداد طبقات، سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی و سایر مشخصات، کاملاً همانند هم بوده و تنها تفاوت آن‌ها، موقعیت قرارگیری آن‌ها در یک گذر است. سپس با استفاده از شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر، میزان مصرف انرژی آن‌ها محاسبه و مقایسه شد. نتایج تحقیق حاکی از آن است که میانگین مصرف انرژی با دقت ۹۸٪، بلوک‌های شمالی، ۷ ∓۲۶۱، بلوک‌های جنوبی، ۱۱ ∓۲۴۷، کل بلوک‌ها، ۵ ∓۲۵۴، کیلووات ساعت بر مترمربع در سال، یعنی حدود ۳ برابر ساختمان ایده‌آل می‌باشد. بلوک‌های شمالی، حدود ۵ درصد بیشتر از بلوک‌های جنوبی، انرژی مصرف می‌کنند. بلوکی که از ۳ جبهه شمال، جنوب و غرب نور می‌گیرد، حدوداً ۱۱ درصد بیشتر از میانگین و بلوکی که از ۲ جبهه شمال و جنوب نور می‌گیرد، حدوداً ۵ درصد، کمتر از میانگین، مصرف دارند. بلوک‌های شمالی، برچسب انرژی D، بلوک‌های جنوبی، به‌جز بلوک انتهایی که از سه جبهه شمال و جنوب و غرب نور می‌گیرد، برچسب انرژی C می‌گیرند. نتیجه بلوک‌های جنوبی، عموماً عملکرد بهتری در خصوص مصرف انرژی دارند.

کلید واژگان: ساختمان مسکونی، مصرف انرژی، موقعیت ساختمان، برچسب انرژی

۱. **نویسنده مسئول**: تهران، ولنجک، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده معماری و شهرسازی

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

مقدمه

توجه به پیامدهای مصرف بی‌رویه انرژی بر محیط‌زیست و اثرات اقتصادی آن و نیز اتمام سوخت‌های فسیلی در آینده نزدیک باعث گردیده تا کاهش مصرف انرژی و به‌ویژه سوخت‌های فسیلی موردتوجه صاحب‌نظران بخش‌های مختلف مرتبط قرار گیرد؛ چرا که مدیریت بخش انرژی با توجه به تغییرات مختلف دارای اهمیت زیادی است (ساتریو و همکاران[1]،۲۰۱۹: ۵۰). ساختمان‌ها یکی از مهم‌ترین بخش‌های مصرف‌کننده انرژی در شهرها می‌باشند که در کشورهای مختلف به دلیل ویژگی‌های مختلف آن‌ها، سهم متفاوتی را در مصرف انرژی در مقایسه با بخش‌های دیگر به خود اختصاص داده است (دلیما مانتنگرو و همکاران[2]،۲۰۲۱: 48). مصرف انرژی بر اساس انواع ساختمان‌های موجود در شهر، متفاوت است. برای نمونه در ساختمان‌های مسکونی، گرمایش فضای خانه، گرم کردن آب، روشنایی و آشپزی از جمله فعالیت‌هایی می‌باشند که مصرف انرژی را در ساختمان‌های مسکونی شکل می‌دهند. در میان فعالیت‌های مذکور، انرژی مصرفی جهت گرمایش فضای داخلی خانه، حدود ۶۰ درصد از کل مصرف انرژی در این ساختمان‌ها را شامل شده و بیشترین سهم را به خود اختصاص می‌دهد (نوریان و فتح جلالی،۱۳۹۹: ۲۷۲). در بخش ساختمان؛ نحوه استقرار ساختمان و فرم ساختمان نیز در میزان اتلاف انرژی نقش مؤثری را دارد (عزیزی و قرائی،۱۳۹۳: ۷). پرداختن به موضوع بهینه‌سازی مصرف انرژی در حوزه‌های مختلف شهرسازی، امری ضروری و حائز اهمیت است.

مسئله انرژی در کشور ما سال‌ها آن‌طور که باید موردتوجه قرار نگرفته و یارانه‌های آشکار و پنهان دولتی همواره مردم را از توجه واقعی به ارزش انرژی در اشکال مختلف آن باز داشته است. بیش از ۴۰ درصد مصرف انرژی کل را بخش خانگی و تجاری به خود اختصاص داده است. این انرژی در مرحله ساخت به‌صورت انرژی نهان و در فاز بهره‌برداری به‌صورت انرژی مصرفی ساختمان مورداستفاده قرار می‌گیرد. در میان مؤلفه‌های مصرف انرژی در ساختمان، سیستم گرمایش و سرمایش که از جمله مصرف‌کنندگان عمده انرژی هستند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند (فرهادی و همکاران،۱۳۹۶: ۲-۱)؛ بنابراین ساختمان‌ها که یکی از عوامل اصلی توسعه کشورها می‌باشد، قسمت قابل‌توجهی از انرژی را مصرف می‌کنند؛ به‌گونه‌ای که می‌توان گفت سهم ساختمان‌ها از مصرف انرژی در حدود ۳۰-۵۰ درصد و از تولید گازهای گلخانه‌ای حدود ۴۰-۵۰ درصد می‌باشد. در کشور ما نیز بر پایه ترازنامه انرژی سال‌های اخیر حدود ۳۳ درصد از انرژی در بخش ساختمان مصرف می‌شود. در یک تقسیم‌بندی می‌توان ساختمان‌ها را به ۴ بخش مسکونی، تجاری، اداری و خدماتی تقسیم کرد (پروین و همکاران،۲۰۲۱: ۶۷). اگرچه تحقیقات جامعی در خصوص میزان مصرف انرژی هر یک از این بخش‌ها برای همه کشورها انجام‌نشده است، اما با توجه به مطالعاتی که در برخی کشورها انجام‌شده است می‌توان گفت ساختمان‌های با کاربری مسکونی، بیشترین سهم را از مصرف انرژی در بین کاربری‌های مختلف دارا هستند (شریف و حمد[3]،۲۰۱۹: ۴۳۰).

مصرف انرژی در یک ساختمان مسکونی به عوامل مختلفی بستگی دارد که می‌توان آن‌ها را به سه دسته عوامل خارجی، انسانی و ساختمانی تقسیم کرد. از جمله عوامل خارجی که معمولاً غیرقابل تغییر می‌باشند می‌توان به

1.Satrio et al
2. De Lima Montenegro
3.Sharif and Hammad

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

شرایط اقلیمی و موقعیت بناهای مجاور اشاره کرد. همچنین تعداد افراد ساکن، سن افراد و الگوی مصرف را می‌توان در زمره عوامل انسانی برشمرد. عوامل ساختمانی نیز به پارامترها و ویژگی‌های ساختمان از جمله شکل بنا، نوع مصالح و روش ساخت و... اشاره دارد. همچنان که قابل‌فهم است عوامل ساختمانی شامل مواردی می‌باشند که دست‌اندرکاران صنعت ساختمان با تغییر در آن‌ها می‌توانند مصرف انرژی را به نحو چشمگیری کاهش دهند. در بخش ساختمان عوامل مختلفی از جمله استاندارد نبودن ساختمان‌ها در کشور، به‌کارگیری تجهیزات خانگی و یا لوازم اداری با راندمان پایین و استفاده از سیستم‌های تأسیساتی و روشنایی ناکارآمد، عدم رعایت مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، عدم به‌کارگیری مصالح و تجهیزات ساختمانی عایق و مؤثر در کاهش اتلاف انرژی در یک ساختمان؛ مشترک بودن کنتور مصرف آب و گاز و بعضاً برق در مجتمع‌های مسکونی؛ بالا بودن زیربنای متوسط واحدهای مسکونی و در نهایت عدم فرهنگ‌سازی در خصوص رعایت مباحث مربوط به کاهش مصرف انرژی، سبب شده که اکثر ساختمان‌های کشور، بزرگ‌ترین منبع اتلاف انرژی شوند و فاقد ضوابط فنی شناخته‌شده برای جلوگیری از اتلاف انرژی باشند (غفاری و همکاران،۱۳۹۲: ۱۱۷).

بهترین زمان جهت کاهش مصرف انرژی و بالطبع کاهش هزینه‌های مصرف انرژی در ساختمان، در زمان طراحی اولیه ساختمان می‌باشد. یکی از نکات مهمی که در بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان رعایت و در نظر گرفتن آن اساسی است کاهش مصرف انرژی در زمان بهره‌برداری از ساختمان است (المادفر و همکاران[1] ۲۰۲۲،۱: ۶۹۲). در این خصوص اگرچه اطلاع روشن و دقیقی از میزان انرژی مصرفی در ساختمان‌های کشور برای هر یک از مصارف فوق در دسترس نیست، ولی مطالعاتی که در سایر کشورها انجام‌شده و بیانگر این نکته است که مقدار انرژی مصرفی سرانه برای مصارف آب گرم، روشنایی، لوازم محرکه و پخت‌وپز نسبتاً ثابت و آن مقدار از انرژی، که برای گرمایش مصرف می‌شود می‌تواند به مقدار زیادی به سرمای هوا ارتباط داشته باشد. این موضوع نشان می‌دهد که جدای از اینکه طرح ساختمان‌ها در مناطق مختلف برای جوابگویی به تغییرات اقلیمی باید با یکدیگر فرق داشته باشند، اهمیت ضوابط و مقررات شهرسازی در صرفه‌جویی مصرف انرژی را نشان می‌دهد (قنبری و همکاران،۱۴۰۰). بهینه‌سازی میزان مصرف انرژی در ساختمان برای گرمایش و سرمایش هوا یکی از مسئله‌های اساسی بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان است که عوامل مختلفی از جمله مواد و مصالح تشکیل‌دهنده، سطح پوسته خارجی ساختمان، سطح بام، جهت استقرار ساختمان، خصوصیات جذب تشعشع، سیستم‌های فعال خورشیدی و... در این زمینه تأثیرگذار هستند (خداکرمی و قبادی،۱۳۹۵: ۱۴-۱۳). لذا استفاده از روش‌های طراحی معماری و شهرسازی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و انرژی در ساختمان از هر دیدگاه و منظری که به آن نگاه کنیم یک اصل و ضرورت مهم و اساسی چه در سطح ملی و چه در مقیاس بین‌المللی است.(چو و همکاران[2]،۲۰۲۱: ۴۵۸۴). ازاین‌رو در زمان طراحی و قبل از بهره‌برداری بایستی در مراحل مختلف برخی اصول مربوط به بهینه‌سازی را رعایت نمود. به‌عبارت‌دیگر در مرحله قبل از بهره‌برداری، می‌توان تمامی زیرساخت‌ها را در بهینه‌ترین حالت طراحی کرد.

1.Al Mudhaffer et al
2.Chou et al

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

زمانی که یک ساختمان در حال ساخت می‌باشد، نیز می‌توان مباحث بهینه‌سازی و کاهش انرژی را نیز اعمال نمود، اما این فرآیند وابسته به مرحله ساخت و شرایط فعلی اجرا آن ساختمان دارد و آزادی عملی که در مرحله‌ی طراحی و پیش از ساخت وجود دارد در این مرحله وجود ندارد. لذا رعایت مصرف انرژی در هر محله خود مستلزم مطالعه دقیق ساختمان و چک کردن مسائلی از قبیل اجرایی شدن چک‌لیست مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان است (لطفعلیان و همکاران، ۱۳۹۵). انتخاب متغیرهای ساختمانی بهینه از بین مجموعه‌ای از گزینه‌های احتمالی، یکی از زمینه‌های تحقیقاتی است که در سوابق تحقیق به آن پرداخته شد. به‌کارگیری روش‌های بهینه‌یابی عددی در موضوع انرژی مصرفی در ساختمان، از دهه ۸۰ میلادی موردتوجه محققین قرارگرفته است. با توجه به نظر شی و همکاران[1] (۲۰۱۶) اولین تحقیقی که به موضوع بهینه‌یابی پرداخته است مربوط به پژوهشی است که توسط دکروز و همکاران[2] (۱۹۸۳) انجام‌گرفته است. در این تحقیق به بهینه‌یابی متغیرهای طراحی مانند جهت و شکل بنا باهدف روشنایی، هزینه و فضای مناسب با استفاده از شبیه‌سازی پرداخته‌شده است. از حدود سال ۲۰۰۰ تلفیق شبیه‌سازهای انرژی و الگوریتم‌های بهینه‌یابی افزایش چشمگیری یافت (شی و همکاران؛۲۰۱۶) و روش‌ها و ابزارهای متنوعی برای بهینه‌سازی تهیه گردید؛ به‌گونه‌ای که امروزه ده‌ها روش بهینه‌یابی برای کاربردهای مختلف و از جمله در ساختمان به وجود آمده است که الگوریتم‌های تکاملی بخش قابل‌توجهی از آن‌ها می‌باشند. عمدتاً الگوریتم‌های بهینه‌یابی باهدف بهینه‌سازی، ترکیبی از این اهداف شامل مصرف انرژی، پیامدهای زیست‌محیطی، آسایش ساکنین و هزینه ساخت را دنبال می‌نمایند.

در کشور ایران ساختمان‌ها با خصوصیات ویژه‌ای ساخته می‌شوند که معمولاً بحث انرژی و بهینه‌سازی آن در مراحل مختلف آن یک مسئله اساسی به شمار می‌رود. البته در بیشتر موارد این شاخص کمتر موردتوجه قرارگرفته است. شهر تهران با توجه به خصوصیات جمعیتی، تراکم و گسترش ساخت‌وساز به دلیل نیاز مبرم، در این زمینه یک مورد قابل‌بررسی مهم است. شهر تهران با توجه به ویژگی‌هایی مختلف اقتصادی، اجتماعی و کالبدی، در زمینه ساختمان‌ها دارای جنبه‌های مهم و اساسی است که مصرف انرژی و بهینه‌سازی آن در ساختمان‌های این شهر اهمیت زیادی دارد. در این راستا با توجه به همین اهمیت، هزینه ساخت و مصرف انرژی در یک ساختمان این شهر دارای اهمیت است؛ چراکه عدم توجه به شاخص انرژی در مراحل ساخت‌وساز به‌ویژه دوره بهره‌برداری می‌تواند در آینده یک ساختمان مسکونی را با چالش‌های زیادی مواجهه نماید و بحث بهینه‌سازی و مصرف انرژی در ساختمان‌های این شهر به یک مسئله جدی تبدیل شود. امروزه در شهر تهران افزایش جمعیت، روند ساخت‌وسازها را گسترش داده و در صورت عدم توجه به بحث انرژی در ساخت‌وسازها، در آینده چالش‌های جدی در این زمینه بروز می‌نماید؛ چراکه با تغییرات مختلف، مصرف انرژی در حال افزایش است و ازآنجاکه بخش ساختمان نیز بیش از ۳۰ درصد انرژی را مصرف می‌نماید (یوسفی و قلی پور،۱۳۹۷: ۸۳)، توجه و بررسی بهینه‌سازی مصرف انرژی از طریق شبیه‌سازی دارای اهمیت بوده و می‌تواند تأثیرگذاری قابل‌توجهی داشته باشد. علاوه بر این مصرف انرژی در ساختمان‌های شهر تهران نیز در حال افزایش بوده و این

1.Shi et al
2. D'Cruz et al

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

موضوع نیز اهمیت و ضرورت انجام چنین تحقیقی را نشان می‌دهد و این موضوع را به یک مسئله مهم تبدیل نموده است.

بنابراین این تحقیق می‌تواند روش و راهکار بهینه‌سازی هزینه ساخت و مصرف انرژی دوره بهره‌برداری یک ساختمان مسکونی متداول در تهران را مدیریت و مشخص نماید. این موضوع می‌تواند میسر مناسبی پیش روی توسعه صنعت ساختمان و مصرف بهینه انرژی قرار دهد. در این راستا سؤال اصلی تحقیق آن است که چگونه می‌توان هزینه ساخت و مصرف انرژی دوره بهره‌برداری یک ساختمان مسکونی متداول در تهران را، بهینه‌سازی کرد؟ هدف این تحقیق این است که با شبیه‌سازی مصرف انرژی، بررسی تأثیر موقعیت قرارگیری ساختمان نسبت به ساختمان‌های مجاور و گذر، بر میزان مصرف انرژی مشخص و تعیین شود.

ادبیات نظری

بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان

ازنقطه‌نظر رویکرد جهانی در زمینه‌ی انرژی، افزایش تقاضای انرژی، محدودیت منابع انرژی فسیلی و افزایش قیمت آن و عدم امنیت و ثبات بازار انرژی در دهه‌های اخیر هم سو با مسئله آلودگی و گرم شدن زمین مبنای رویکرد جدید در مبحث انرژی است. در حال حاضر، بخش ساختمان‌های اداری و مسکونی در حدود ۴۰ درصد از مصرف انرژی تجدید ناپذیر کشورمان را به خود اختصاص داده است که معطوف شدن به این بخش در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی و کنترل تقاضای انرژی در ساختمان، اجتناب‌ناپذیر است (پیرمحمدی و عاکف،۱۳۹۵: ۲۴).

امروزه عملکرد ساختمان‌ها به‌طور غیرمستقیم حدود ۱/۲ مصرف انرژی مورداستفاده کشورهای مختلف را شامل می‌گردد. بیش از نصف انرژی مصرف‌شده در ساختمان‌ها برای گرمایش و سرمایش و معادل ۱۰٪ آن برای روشنایی و بقیه آن برای سایر مصارف انرژی به‌کار می‌رود. انرژی مصرفی ساختمان‌ها تحت تأثیر عوامل گوناگونی قرار دارند که عبارت‌اند از آب‌وهوای محلی، مکان و جهت قرارگیری ساختمان، نوع طراحی ساختمان و نوع کاربری و نحوه استفاده از ساختمان (راستی و همکاران،۱۳۹۴: ۵).

به‌علاوه مدیریت انرژی در ساختمان‌ها را می‌توان با در نظر گرفتن عواملی از جمله محل قرارگیری ساختمان، پوشش ساختمان و سیستم‌های مختلف تأسیساتی موردبررسی قرارداد. انتخاب محل ساختمان تعیین‌کننده شرایط آب و هوایی است که ساختمان در آن محل قرار می‌گیرد. پوشش ساختمان تعیین‌کننده اثر شرایط محلی بر ساکنین ساختمان است. این پوشش در حقیقت یک پوسته متخلخل است که انرژی، نور، گازها و بخارآب را بین دو طرف خود یعنی ساختمان و محیط اطراف مبادله می‌کند. سیستم‌های تأسیساتی تکمیل‌کننده قدرت سرمایش، گرمایش و نور قابل حصول از محیط طبیعی اطراف می‌باشند. تا آنجا که اگر استفاده از این سیستم‌های تکمیلی، با قابلیت‌های پوشش ساختمان و مشخصات محلی آن مرتبط باشند می‌توان مصرف انرژی را به حداقل رساند. اگر ساختمانی بدون در نظر گرفتن عوامل محیطی طراحی‌شده باشد، یعنی پوشش ساختمان و تأسیسات مکانیکی و الکترونیکی به‌طور مستقل و بدون ارتباط با عوامل دیگر طراحی‌شده باشند، انتظار می‌رود که مصرف انرژی در ساختمان به حداکثر مقدار خود برسد (فاضلی و حیدری،۱۳۹۲).

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

اهمیت بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان

منظور از بهینه‌سازی مصرف انرژی، انتخاب الگوها و اتخاذ و به‌کارگیری روش‌ها و سیاست‌هایی در مصرف درست انرژی است. که ازنقطه‌نظر اقتصاد ملی مطلوب باشد و استمرار وجود و دوام انرژی و ادامه حیات و حرکت را تضمین کند. در این چارچوب، تعیین سهم صورت‌های مختلف انرژی در سبد انرژی هر جامعه با توجه به امکانات درازمدت آن جامعه، همچنین به‌کارگیری پربازده‌ترین شیوه استفاده از آن‌ها که متضمن کاهش تخریب منابع انرژی و نیز کاهش تأثیرات سوء ناشی از استفاده ناصحیح از انرژی است، بر عوامل دیگر حیات و محیط‌زیست مدنظر است (سومو و رامامریتان[1]،۲۰۲۱: ۴۹). این استفاده درست و به‌جا از انرژی، نه‌تنها متضمن استمرار حیات و توسعه پایدار جامعه است، بلکه منجر به بقاء انرژی برای همگان و نسل‌های آتی می‌شود. همچنین مانعی برای تولید و گسترش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف نادرست انرژی خواهد بود.

اصول کلی بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک ساختمان

با توجه به رعایت اصول بهینه‌سازی، می‌توان برای ساختمان‌ها طرح‌هایی با راندمان بالا ارائه داد. خوشبختانه تکنولوژی موجود در کشور امکان بهبود بخشیدن به طرح‌های جدید ساختمان‌ها را فراهم نمود و صرفه‌جویی‌هایی که هریک از این روش‌ها به عمل می‌آورند قابل‌توجه می‌باشند. به‌هرحال ممکن است هزینه اولیه بعضی از ساختمان‌های بهینه اندکی بیشتر باشد اما صرفه‌جویی‌های حاصله که اغلب به حدود ۵۰ درصد می‌رسد به‌سرعت سرمایه‌گذاری اضافی اولیه را بازمی‌گرداند. در موارد خاص ممکن است که یک ساختمان بهینه ارزان‌تر از یک ساختمان معمولی باشد و علت آن کوچک‌تر بودن سیستم‌های مکانیکی و الکترونیکی و مصرف کم انرژی در آن‌هاست(نوری و همکاران،۱۳۸۷: ۴۰).

در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی برخی اصول بسیار مهم و توجه به آن ضرورت دارد که شامل موارد زیر است. (زارع پور و رفیعی،۱۳۹۴).

- در طراحی معماری ساختمان از شرایط آب‌وهوای محلی استفاده شود
- سمت و جهت ساختمان طوری انتخاب شود که نسبت به شرایط خورشید و باد بهترین حال را داشته باشد
- از درختان و سایه آن‌ها و عوارض طبیعی استفاده شود
- از گیاهان و گل‌ها برای بهبود آب‌وهوای محلی بهره‌گیری شود
- برای کاهش جذب حرارت خورشید در تابستان و مقابله با تلفات انرژی باید از سایه‌بان استفاده شود
- ابعاد و سطح و حجم ساختمان جهت کاهش مصرف انرژی بهینه شود
- پوشش ساختمان محکم و عایق‌کاری شود تا تلفات انرژی و نفوذ هوا کاهش یابد
- طرح پنجره‌ها به‌صورت شیشه دو یا چند جداره اجراشده تا تلفات انرژی حرارتی کاهش یابد

[1]. Somu & Ramamritham

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

- درزبندی پنجره‌ها بهینه شوند تا نفوذ هوا کاهش‌یافته و تلفات هوا نیز بهینه شود
- قابلیت ذخیره‌سازی انرژی حرارتی در ساختمان فراهم شود
- پیل خورشیدی به‌عنوان اجزای سازنده‌ای در پوشش ساختمان استفاده شود
- ورودی‌ها به‌طور صحیح طراحی شوند و از مفهوم پاسیو حتی‌الامکان استفاده شود
- در طراحی ساختمان قبلاً با طراحان تأسیسات مکانیکی و الکترونیکی ساختمان مشورت و هماهنگی شود.

اصول کلی بهینه‌سازی مصرف انرژی در گرمایش و سرمایش ساختمان

آسایش انسان در ساختمان به چهار عامل: دمای هوا، سرعت جریان هوا، رطوبت نسبی هوا و کنترل و خاک و بو بستگی دارد. در به‌کارگیری اصول بهینه‌سازی مصرف انرژی بهتر است که ابتدا آن دسته از فرصت‌های بهینه‌سازی به‌کار بسته شوند که هزینه‌ای در بر ندارد و یا دارای هزینه اندکی هستند و سپس اقدام به فرصت‌هایی با هزینه متوسط و زیاد به عمل آید. اصول بهینه‌سازی در گرمایش و سرمایش عبارت‌اند از: (تقوی،۱۳۹۳).

- بهینه کردن فضای ساختمان‌ها به این نحو که فضاهای مجموعه بررسی و فضاهای اضافی حذف شوند.

  بهینه‌سازی کنترل‌ها نقش اساسی در تأسیسات مکانیکی دارند و با بهینه کردن کنترل‌های گرمایش و سرمایش ساختمان را فقط در مواقع لازم امکان‌پذیر سازید.
- کاهش بارهای حرارتی و برودتی ساختمان: با کاهش میزان نفوذ هوا و انرژی حرارتی خورشیدی، بارهای حرارتی و برودتی را کاهش دهید.
- بهره‌گیری از عملیات کارآمد تأسیساتی: به تناسب نوع ساختمان، اقلیم و ساکنان آن، کارآمدترین روش گرمایش و سرمایش و تهویه مطبوع برگزیده شوند.
- استفاده از تجهیزات کارآمد: برای سیستمی که انتخاب کرده‌اید بهترین تجهیزات را انتخاب کنید.
- مدنظر قرار دادن ایده تأثیرپذیری: ترتیبی اتخاذ شود که ساختمان و شرایط جوی محیط تا حد امکان با تأسیسات مکانیکی انتخابی هماهنگ و سهیم باشند.
- بازیابی حرارت: حرارت تلف‌شده از وسایل و دودکش ساختمان و بخار و الکتریسیته را می‌توان بازیابی کرد.
- فراهم کردن امکان ذخیره‌سازی انرژی: با ذخیره‌سازی انرژی، از کارکرد تجهیزات در ساعات حداکثر بار معاف خواهیم شد و در مورد انرژی خورشیدی که در روز گردآوری و ذخیره می‌شوند، در ایام شب و ساعات غیرآفتابی بهره‌گیری خواهد شد.

ازآنجایی‌که کنترل تأثیر شرایط محیطی بر فضاهای داخلی از طرقی عناصر جداکننده این دو، صورت می‌گیرد. لذا نقش عناصر و اجزای ساختمانی جدا کننده شامل دیوارها، پنجره، در، سقف، کف و نحوه ترکیب و تلفیق آن‌ها با یکدیگر، تعیین‌کننده میزان مطلوب عبور حرارت و صدا است. عناصر و اجزای ساختمانی مزبور باید

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

دارای مشخصات فنی استاندارد بوده و اجرا، نصب آن‌ها نیز تابع ضوابط اعلام‌شده باشد (لیو و همکاران[1]،۲۰۲۱: ۳).

پیشینه تحقیق

تحقیق باقری و مکاری زاده (۱۳۸۷) در زمینه بررسی اثر سطح پنجره‌ها بر مصرف انرژی در ۴ اقلیم کشور شامل گرم و خشک، گرم و مرطوب، معتدل و سرد، نشان داد که پنجره‌ها نقش مهمی دارند و سطح بهینه با توجه به ضرورت‌های بهداشتی بهره‌گیری از نور بیرون، ارائه‌شده است. یاوری و همکاران (۱۳۸۹) تأثیر ارتفاع بناهای مسکونی شهر تبریز بر مصرف انرژی را بررسی نمودند و نتایج حاکی از آن است که ساختمان‌های آپارتمانی ۳-۴ طبقه، بهینه‌ترین مصرف را در بین ساختمان‌های موردبررسی دارا هستند. میرهاشمی و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی بهینه‌سازی عملکرد حرارتی پنجره‌ها نتیجه گرفتند که بهینه‌سازی شیشه، قاب و پروفیل پنجره با مینیمم هزینه، می‌تواند ضریب انتقال حرارتی کل پنجره را ۳۷ درصد کاهش دهد. برپایه نتایج این تحقیق، اضافه کردن لایه دوم باعث کاهش حدود ۵۰ درصد ضریب انتقال می‌شود، ولی افزودن لایه‌های بعدی تأثیری کمتر از ۱۲ درصد خواهد داشت. محققین بر این باورند که با توجه به اینکه نور عبوری از پنجره با افزایش لایه‌ها کاهش قابل‌ملاحظه‌ای نخواهد داشت، عملکرد پنجره‌ها از لحاظ میزان انتقال نور به داخل بنا قابل‌قبول خواهد بود. خداکرمی و قبادی (۱۳۹۵) در بررسی بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک ساختمان اداری مجهز به سیستم مدیریت هوشمند نشان دادند که با انجام برنامه‌ریزی مناسب در زمینه مصرف و مدیریت انرژی در ساختمان‌های اداری هوشمند، امکان کاهش بیش از ۳۵ تا ۴۰ درصد مصرف انرژی سالانه وجود داشته و بیشترین میزان صرفه‌جویی در بخش‌های سرمایش و روشنایی است. همچنین یوسفی و قلی پور (۱۳۹۶) در تحقیقی به پژوهش پالونن و همکاران اشاره‌کرده‌اند که محققین مقایسه‌ای از چندین ابزار بهینه‌یابی موجود و نسبتاً شناخته‌شده را ارائه کرده‌اند. سیدی و همکاران (۱۳۹۸) در تحلیل انرژی و اگزرژی-اقتصادی سیستم گرمایش ساختمان به‌منظور بهینه‌سازی مصرف و مدیریت انرژی نشان دادند که بیشترین اتلاف انرژی و اگزرژی مربوط به مرحله تولید و به ترتیب ۱۸۸/۸۰، ۲۹۵/۴۲ کیلووات می‌باشد. همچنین با محاسبه و ECE مشخص می‌شود که دیگ آب گرم و مرحله تولید انرژی نیاز بیشتری به بهینه‌سازی و اصلاح دارند. تحقیق مفتونی و معتقدی (۱۳۹۹) نشان داد که تغییر در نوع پنجره، بار حرارتی را به میزان قابل‌توجهی کاهش خواهد داد. با جایگزین کردن پنجره دوجداره رفلکسی بار حرارتی در زمستان در حدود ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. وجود سایه‌بان بر روی پنجره‌ها و همچنین تغییر در رنگ دیوارها هرکدام باعث ۳ درصد کاهش بار می‌شود. هم‌چنین انتخاب جنس بهینه برای دیوار خارجی حدود ۹ درصد در زمستان و ۶ درصد در تابستان به کاهش بار ساختمان کمک می‌کند. حکیمی و همکاران (۱۴۰۰) در بررسی مدیریت بهینه‌سازی مصرف انرژی با رویکرد ساختمان انرژی صفر با استفاده از روش فازی نتیجه گرفتند که شاخص‌های مدیریت بهینه‌سازی مصرف انرژی موردبررسی به روش FAHP قابل‌مشاهده است که گزینه شاخص اقتصادی، عمرانی و تأسیساتی به ترتیب با ضرایب ۰/۳۳۳، ۰/۲۰۱ و ۰/۱۷۶ از بالاترین اولویت مدیریت بهینه‌سازی مصرف انرژی با

[1].Lio

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

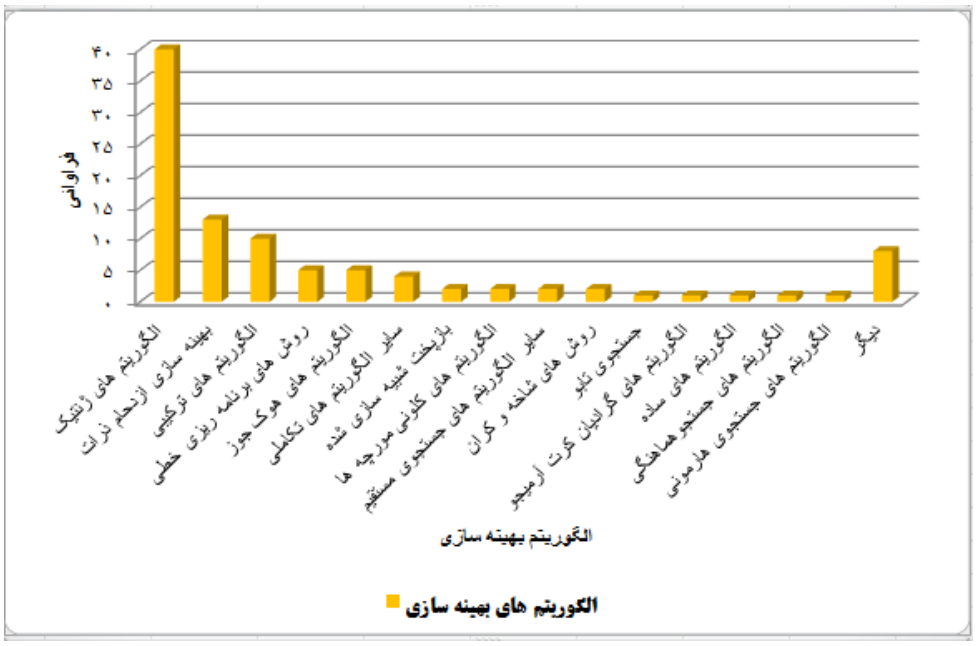
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

رویکرد ساختمان انرژی صفر برخورداراست. گالداس و همکاران[1] (۲۰۰۳) در یک پژوهش انتخاب بهینه سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی و متغیرهای پوشش ساختمان شامل شکل ساختمان، مصالح به‌کاررفته در دیوارها و مکان پنجره‌ها را با کمک GAو DOE-2 با هدف هزینه ساخت و بهره‌برداری مورد تحلیل قراردادند. وانگ و همکاران[2] (۲۰۰۶) شکل طراحی ساختمان سبز و برخی از متغیرها مانند نسبت پنجره به دیوار را با هدف مینیمم کردن پیامدهای زیست‌محیطی و هزینه با استفاده از GA بهینه‌یابی کردند. زنودا و همکاران[3] (۲۰۰۷) با ترکیب نرم‌افزار حرارتی CHEOPS و GA با هدف مینیمم سازی مصرف انرژی بنا و هزینه آن، نشان دادند که به‌کارگیری نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی در کنار ابزارهای بهینه‌یابی می‌تواند روش خوبی برای بهینه کردن متغیرهای غیرخطی ساختمان باشد. کوزیاک و همکاران[4] (۲۰۱۱) با کمک الگوریتم شبکه عصبی و بهینه‌یاب چند هدفِ لانه پرندگان، سیستم تهویه مطبوع یک ساختمان اداری را با هدف مینیمم کردن مصرف انرژی و افزایش آسایش حرارتی ساکنین بهینه کردند. پنا و همکاران[5] (۲۰۱۵) با ترکیب ابزارهای بهینه‌یابی MATLAB و TRNSYS متغیرهای مدنظرشان شامل انواع سیستم‌های روشنایی و تهویه مطبوع و عایق‌های دیوار و سقف را با هدف دستیابی به یک ساختمان صفر انرژی بهینه کردند. سجادی و بنی اسدی (۲۰۱۵) در بررسی تأثیر مواد تغییردهنده فاز در اقلیم‌های مختلف بر مصرف انرژی نشان دادند که بهینه‌ترین ضخامت مواد ۴-۲ سانتی‌متر بوده و مناسب‌ترین محل قرارگیری آن‌ها در داخلی‌ترین لایه دیوار بوده است. آلیدوروس و کرارتی[6] (۲۰۱۵) با کمک الگوریتم ژنتیک، اقدام به بهینه‌سازی متغیرهای مختلف پوسته ساختمانی یک خانه ویلایی دوطبقه در ۵ اقلیم مختلف عربستان نمودند. ۵ متغیر مدنظر آن‌ها عبارت بودند از عایق سقف، عایق دیوار خارجی، نوع شیشه، مصالح دیوار خارجی و سایبان پنجره. کاهش هزینه چرخه حیات ساختمان و افزایش عملکرد حرارتی بنا اهداف این تحقیق و نرم‌افزار مورداستفاده انرژی پلاس بود. وو و همکاران۷ (۲۰۱۶) با تلفیق نرم‌افزار انرژی پلاس و الگوریتم لانه پرندگان، با هدف بهینه‌سازی مصرف و هزینه سالانه انرژی، دیوار خارجی و ضخامت عایق آن را بهینه کردند. حمدی و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که طی چندین سال گذشته بالغبر ۴۰ درصد پژوهشگران از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌یابی استفاده کرده‌اند. رامین و همکاران (۲۰۱۷) به‌منظور حل یک مسئله بهینه‌یابی چند هدفه، از معادلات ریاضی بهره بردند. توابع هدف در این تحقیق عبارت بودند از: هزینه دیوار، مصرف انرژی چرخه حیات، میزان انتشار مونوکسید کربن و مقدار مصرف آب. محققین یک دیوار فرضی را در نظر گرفتند که ضخامت مصالح اصلی آن ۲۰ سانتی‌متر است ولی ضخامت عایق حرارتی آن در محدوده ۱-۱۵ سانتیمتر تغییر می‌کند. چهارترکیب مختلف از دیوار بر پایه تغییر در جانمایی عایق حرارتی و مصالح سازه‌ای در نظر گرفته شد. محققین با وزن دهی به توابع هدف، مسئله چندهدفه را به یک مسئله تک هدفِ تبدیل کردند و با توجه به اینکه هرکدام از توابع محدوده‌های خاص خود را دارند از روش نرمال‌سازی

1. Caldas et al
2.Wang et al
3. Znouda et al
4. Kusiak et al
5.Penna et al
6. Alaidroos and Krarti
7. Wu et al

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

برای همسان‌سازی توابع استفاده کردند. لیی و همکاران۱ (۲۰۲۱) یک مدل پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان بر اساس نظریه مجموعه‌های خشن و الگوریتم‌های یادگیری عمیق ساختمان را تدوین و بررسی نمودند. آن‌ها نتیجه گرفتند که مدل پیش‌بینی، امکان شبیه‌سازی مصرف انرژی را دارد و می‌توان از این مدل جهت کاهش انرژی قبل از بهره‌برداری استفاده نمود. لی و همکاران۲ (۲۰۲۱) در بررسی اثرات مختلف بهینه‌سازی مصرف انرژی، به اثرات مختلف زیست‌محیطی و طبیعی کاهش انرژی در ساختمان و فضاها اشاره دارند. ژان و چانک۳ (۲۰۲۱) در بررسی اشغال ساختمان و مصرف انرژی به این نتیجه رسید که این شاخص نقش مهمی در مدیریت بهینه انرژی دارد و بایستی نسبت به رعایت برخی نکات در زمان بهره‌برداری ساختمان توجه نمود که طراحی پنجره‌ها از مهم‌ترین آن‌ها است. فاضل پور و همکاران (۲۰۲۲) نتیجه گرفتند که استفاده از طراحی مناسب و متناسب با اقلیم هر منطقه می‌توان از مهم‌ترین راهکارهای مدیریت انرژی باشد شکل (۱) و جدول (۱).



شکل (۱). مقایسه فراوانی الگوریتم‌های بهینه‌سازی (حمدی و همکاران،۲۰۱۶)

1.Lei et al
2.Li et al
3.zhan and chong

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

جدول (۱). مقایسه ویژگی‌های نرم‌افزارهای بهینه‌سازی

دسته	نرم‌افزار بهینه یاب	موتورهای محاسباتی انرژی	رایگان	انجام بهینه‌یابی چندهدفه	انجام محاسبات موازی	بررسی هم‌زمان متغیرهای پیوسته و گسسته	برخی دیگر از مطالعاتی که از این بهینه یاب استفاده کرده‌اند.
بهینه‌یاب‌های اختصاصی انرژی	Opt-E-Plus	Energy Plus	بله	خیر	خیر	خیر	
	GENE_ARCH	DOE-2	بله	بله	خیر	خیر	گلداس و همکاران (۲۰۱۱)؛ گداس (۲۰۰۸)
	BEopt™	DOE-2,TRNSYS	بله	خیر	خیر	خیر	-
	TRNOPT	TRNSYS	خیر	بله	خیر	بله	-
	MultiOpt2	TRNSYS	خیر	بله	بله	بله	چنترل و همکاران (۲۰۱۱)
	JEPlus+EA	Enegy Plus,TRNSYS	خیر	بله	بله	خیر	تریسیدر و همکاران (۲۰۱۲)؛ کاریراس و همکاران (۲۰۱۵)؛ نابونی و همکاران (۲۰۱۳)
بهینه یاب عمومی	GenOpt		بله	خیر	بله	بله	کاراگوزل و همکاران (۲۰۱۴)؛ سالمینن و همکاران (۲۰۱۲)؛ بامبروک و همکاران (۲۰۱۱)؛ طاهری و همکاران (۲۰۱۲)؛ دزوریک و همکاران (۲۰۰۷)؛ راپونه و همکاران (۲۰۱۲)؛ مگ نیر (۲۰۱۲)
	ModelCenter		خیر	بله	بله	خیر	فلاگر و همکاران (۲۰۰۹)
	ModeFRONTIER		خیر	بله	بله	بله	شی (۲۰۱۱)؛ لی و هنسون (۲۰۱۳)
	DAKOTA		بله	بله	بله	بله	
	iSIGHT		خیر	بله	خیر	بله	
	MATLAB Optimization Toolboxes		خیر	بله	بله	خیر	آریا و اکبری (۲۰۱۴)؛ اسدی و همکاران (۲۰۱۲)؛ هان و همکاران (۲۰۱۳)؛ کاراتس (۲۰۱۵)
	MOBO		بله	بله	بله	بله	هتیا و همکاران (۲۰۱۳)

(یوسفی و قبلی پور،۱۳۹۶)

روش تحقیق

معرفی محدوده مورد مطالعه

محدوده جغرافیایی پژوهش شامل شهر تهران و شرایط اقلیمی حاکم بر آن می‌باشد. شهر تهران به‌عنوان پایتخت کشور، ازنظر رشد جمعیتی یک‌روند افزایشی را دارد و بر این اساس، روند ساخت‌وساز و افزایش ساختمان‌ها نیز دارای اهمیت است. ازآنجایی‌که هریک از ساختمان‌ها پیچیدگی‌های خاص خود را دارد و اهمیت و نحوه تأثیر عوامل مؤثر در مصرف انرژی در هریک از آن‌ها متفاوت از است و با توجه به اینکه بررسی

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

انرژی مورد تقاضای هریک از آن‌ها برحسب استانداردها و شرایط متفاوتی تعیین می‌شود؛ بنابراین بررسی انرژی مصرفی و ارائه توصیه‌های لازم برای یک نوع کاربری خاص انجام می‌شود. ساختمان‌های مسکونی به دلیل اینکه بیشترین سهم مصرف انرژی را در بین کاربری‌های مختلف دارا می‌باشند مد نظر این پژوهش است. در این پژوهش ۶ بلوک مسکونی مشابه و در موقعیت‌های نورگیری متفاوت، موردبررسی قرار گرفتند. این ۶ بلوک ازلحاظ مساحت زمین، مساحت زیربنا، تعداد طبقات، سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی و سایر مشخصات، کاملاً همانند هم بوده و تنها تفاوت آن‌ها، موقعیت قرارگیری آن‌ها در یک گذر است.

داده و روش کار

روش تحقیق، توصیفی- تحلیلی و از نوع کاربردی است. روش گردآوری داده‌ها به‌صورت سازمانی و همچنین میدانی است. با انتخاب ۶ بلوک مسکونی مشابه و در موقعیت‌های نورگیری متفاوت، داده‌های مختلف گردآوری شد. این ۶ بلوک ازلحاظ مساحت زمین، مساحت زیربنا، تعداد طبقات، سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی و سایر مشخصات، کاملاً همانند هم بوده و تنها تفاوت آن‌ها، موقعیت قرارگیری آن‌ها در یک گذر است. سپس با استفاده از شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر، میزان مصرف انرژی آن‌ها محاسبه و مقایسه شد.

در این تحقیق یک ساختمان مسکونی متداول در تهران با توجه به آمار صدور پروانه شهرداری تهران جداول (۲ تا ۶) که نماینده تعداد زیادی از ساختمان‌ها باشد، انتخاب‌شده است. این ساختمان در زمینی در منطقه ۵ تهران، به مساحت ۳۲۰ مترمربع، در ۵ طبقه و زیرزمین احداث‌شده و دارای ۱۰ واحد مسکونی به مساحت هرکدام ۱۰۵ مترمربع و با احتساب راه‌پله و آسانسور ۱۱۲۰ مترمربع بوده است. اسکلت بنا بتنی است. ساختمان مذکور یک ساختمان جنوبی بوده است؛ به این معنا که گذر در شمال آن واقع‌شده و همچنین دو طرف آن (شرق و غرب) دو ساختمان ۵ طبقه قرارگرفته است. نسبت پنجره به دیوار (WWR) در جبهه شمالی ۲۱ درصد و در جبهه جنوبی ۴۱ درصد و در جبهه‌های غربی و شرقی صفر است. سیستم گرمایشی آن پکیج و سیستم سرمایشی آن کولرآبی است.

همان‌گونه که بیان شد، داده‌های این تحقیق نتیجه بررسی محقق روی ۶ بلوک مسکونی و بهینه‌سازی مصرف انرژی‌ها از طریق نرم‌افزار شبیه‌سازی بوده است. همچنین از آمار سازمانی نیز در بخش‌های مختلف تحقیق استفاده‌شده است. در این تحقیق از نرم‌افزار دیزاین بیلدر جهت شبیه‌سازی استفاده‌شده است. این نرم‌افزار برای مدل‌سازی ساختمان از جنبه‌های مختلف مثل فیزیک ساختمان (مصالح ساختمانی)، معماری ساختمان، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی، سیستم روشنایی و غیره کاربرد داشته و قابلیت مدل‌سازی همه جنبه‌های ساختمان را دارد. الگوریتم بهینه‌سازی در این تحقیق نیز الگوریتم ژنتیک بوده است. تکنیک جستجویی در علم رایانه برای یافتن راه‌حل تقریبی برای بهینه‌سازی و مسائل جستجو است. الگوریتم ژنتیک، یک تکنیک برنامه‌نویسی است که از تکامل ژنتیکی به‌عنوان یک الگوی حل مسئله استفاده می‌کند.

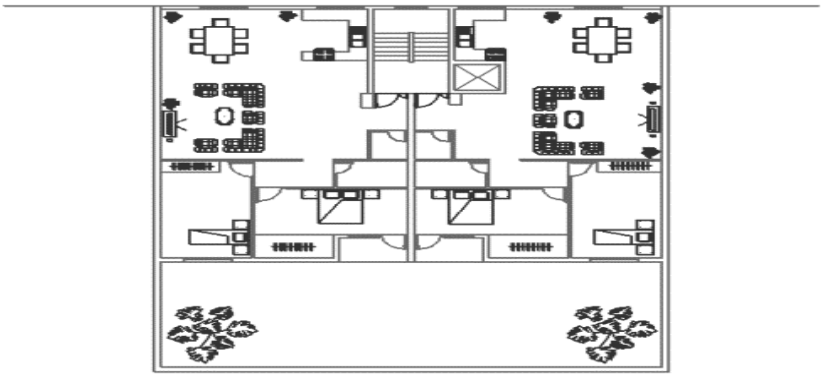
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

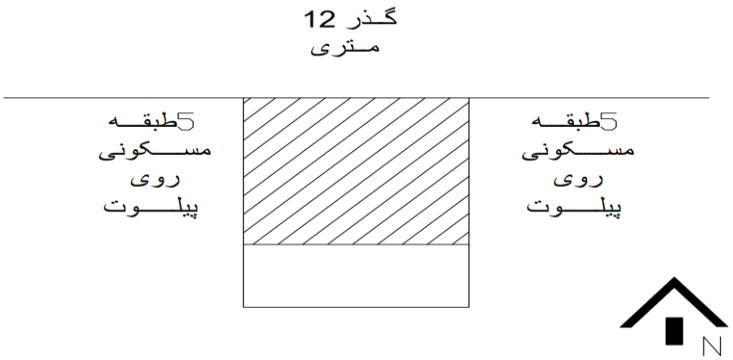
جدول (۲). مشخصات ساختمان نمونه

ویژگی‌های ساختمان نمونه	کاربری	تعداد طبقات	تعداد واحد	موقعیت نسبت به گذر	همسایه شرقی و غربی	جنس سقف‌ها	دیوارهای خارجی	جنس سطح بام
	مسکونی	۵ طبقه روی پیلوت	۱۰	جنوب گذر	۵ طبقه روی پیلوت	تیرچه و پلی استایرن	سفال بدون عایق حرارتی	ایزوگام
	درز انقطاع شرقی و غربی	سیستم گرمایش	سیستم سرمایش	جنس پنجره‌ها	تعداد ساکنین	عمر بنا	جنس نما	جبهه‌های نورگیری
	۸ سانتیمتر	پکیج	کولرآبی	دوجداره ساده با هوا	۲۷ نفر	۱۰ سال	سنگ تراورتن	شمال و جنوب بدون پاسیو
	مساحت زمین	زیربنای هر واحد	زیربنای کل	موقعیت در شهر تهران	WWR جبهه شمالی	WWR جبهه جنوبی	WWR جبهه غربی	WWR جبهه شرقی
	۳۲۰ مترمربع	۱۰۵ مترمربع	۱۱۲۵ مترمربع	منطقه ۵	٪۲۱	٪۴۱	-	-

(نگارنده، ۱۴۰۰)



شکل (۲). پلان ساختمان نمونه



شکل (۳). موقعیت ساختمان نمونه

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

جدول (۳). تعداد پروانه‌های صادرشده در شهرداری تهران برحسب مساحت زمین

سال	تعداد پروانه‌های صادرشده برحسب مساحت زمین								درصد پروانه‌های صادره با مساحت زمین ۳۰۰-۵۰۰ مترمربع
	کل	کمتر از ۱۰۰	۱۰۰-۱۵۰	۱۵۰-۲۰۰	۲۰۰-۲۵۰	۲۵۰-۳۰۰	۳۰۰-۵۰۰	بیشتر از ۵۰۰	
۱۳۹۶	۱۸۹۴۸	۳۰۹۶	۳۹۹۷	۳۱۹۶	۲۹۳۳	۱۷۵۳	۲۷۴۵	۱۲۲۸	**۱۴٪**
۱۳۹۷	۸۸۵۵	۱۲۲۶	۱۶۲۳	۱۴۸۱	۱۳۵۷	۹۶۸	۱۵۵۱	۶۴۹	**۱۸٪**
۱۳۹۸	۷۰۹۵	۷۵۸	۱۱۸۵	۱۲۰۰	۱۲۰۸	۹۰۳	۱۳۳۵	۵۰۶	**۱۹٪**

(منبع: شهرداری تهران،۱۴۰۰)

جدول (۴). تعداد پروانه‌های صادرشده در شهرداری تهران برحسب تعداد طبقات

سال	تعداد پروانه‌های صادرشده برحسب تعداد طبقات						درصد پروانه‌های صادره ۵ طبقه و بیشتر
	صفر طبقه	۱ طبقه	۲ طبقه	۳ طبقه	۴ طبقه	۵ طبقه و بیشتر	
۱۳۹۶	۱۲۲	۵۳	۷۸	۱۰۸	۴۸۵	۹۴۹۳	۹۲٪
۱۳۹۷	۱۱۸	۶۳	۱۸۵	۵۴۵	۳۶۹۷	۶۳۳۰	۵۸٪
۱۳۹۸	۷۷	۶۴	۱۲۰	۵۰۰	۳۶۴۴	۴۹۲۸	۵۳٪

(منبع: شهرداری تهران،۱۴۰۰)

جدول (۵). تعداد پروانه‌های صادرشده در شهرداری تهران برحسب زیربنا

سال	تعداد پروانه‌های صادرشده برحسب مساحت زیربنا				درصد پروانه‌های صادره با مساحت زیربنا بیشتر از ۵۰۰ مترمربع
	کمتر ۱۰۰ مترمربع	۱۰۰-۲۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۳۰۰-۵۰۰	بیشتر از ۵۰۰ مترمربع	
۱۳۹۶	۲۳	۶۹	۲۸۰	۱۸۲۱	۶۴۷۸	۶۳٪
۱۳۹۷	۲۴	۶۳	۲۶۰	۲۱۷۴	۸۴۱۷	۷۷٪
۱۳۹۸	۲۱	۵۰	۳۵۹	۲۱۰۸	۶۷۹۵	۷۳٪

(منبع: شهرداری تهران،۱۴۰۰)

جدول (۶). تعداد پروانه‌های صادرشده در شهرداری تهران برحسب نوع اسکلت

سال	تعداد پروانه‌های صادرشده برحسب نوع اسکلت					درصد پروانه‌های صادره اسکلت بتنی
	آجری	بتنی	فلزی	نیمه فلزی	سایر	
۱۳۹۶	۷	۶۰۳۴	۲۶۰۶	۸	۱۶	**۵۹٪**
۱۳۹۷	۳	۸۱۲۹	۲۰۷۵	۱۱	۷۲۰	**۷۴٪**
۱۳۹۸	۱۷	۷۲۳۰	۱۷۴۷	۱۵	۳۲۴	**۷۷٪**

(منبع: شهرداری تهران،۱۴۰۰)

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

نتایج

محاسبه انرژی مصرفی در دوره بهره‌برداری

برای محاسبه انرژی مصرفی ساختمان منتخب در دوره بهره‌برداری، از نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی به نام دیزاین بیلدر استفاده شد. نرم‌افزار دیزاین بیلدر، به دلیل اینکه با موتور انرژی پلاس کار می‌کند، به‌عنوان یک نرم‌افزار مورد تأیید که نتایج آن اعتبار کافی دارد، موردپذیرش قرارگرفته و پرکاربردترین نرم‌افزار برای شبیه‌سازی و محاسبه مصرف برق و گاز و میزان تولید دی‌اکسید کربن و.. است. لذا در این پژوهش از دیزاین بیلدر استفاده‌شده و با مدل‌سازی صورت گرفته در نرم‌افزار و ورود اطلاعات ساختمان، نرم‌افزار به‌طور اتوماتیک میزان برق و گاز مصرفی را در طول یک سال محاسبه کرده است.

اعتبار سنجی نتایج از طریق بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

برای اعتبار سنجی، نتایج شبیه‌سازی با قبوض برق و گاز و یا نتایج تحقیقات مشابه انجام شد. مطالعات نشان می‌دهد در حدود ۴۰ درصد از تحقیقات از الگوریتم ژنتیک برای یافتن گزینه‌های بهینه جهت رسیدن به اهداف تحقیق استفاده نموده‌اند. در این پژوهش نیز از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی بهره گرفته شده است.

شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر

پس از شبیه‌سازی ساختمان نمونه در نرم‌افزار دیزاین بیلدر و ورود اطلاعات آن، از قبیل جنس دیوارها و سقف‌ها، سیستم گرمایشی و سرمایشی، نوع پنجره‌ها، تعداد ساکنین و... مطابق جدول (۲) و نیز اطلاعات اقلیمی سایت ساختمان نمونه از قبیل میزان و جهت تابش، سرعت و جهت وزش باد، سرعت باد و... مطابق شکل(۴) نرم‌افزار میزان برق و گاز مصرفی بنا در طول یک سال را به شرح ذیل محاسبه نموده است.

الف-میزان گاز مصرفی: ۱۶۳۰۰۰ کیلووات ساعت در سال یا ۱۴۵/۵۳ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال

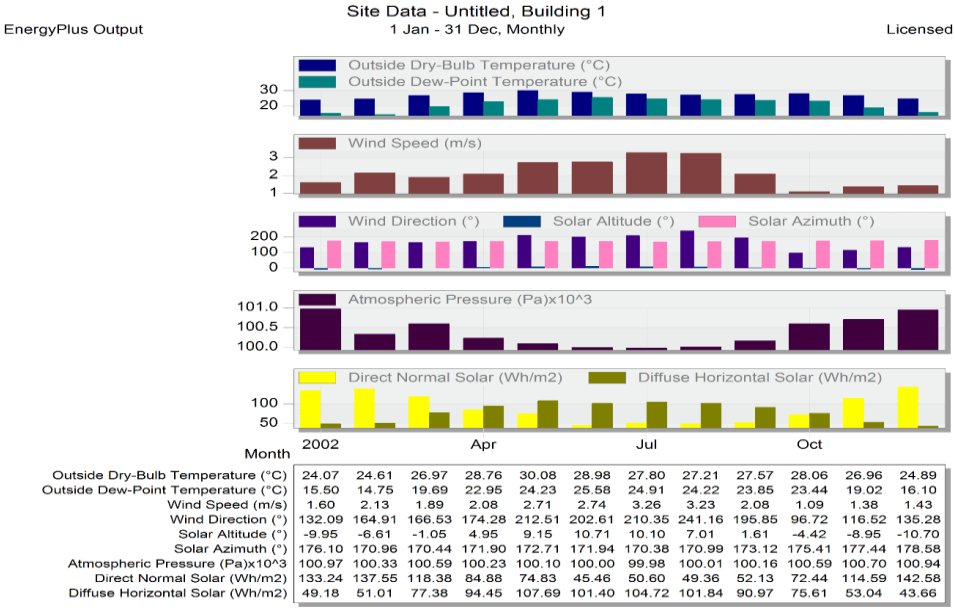
ب-میزان برق مصرفی: ۹۱۰۰۰ کیلووات ساعت در سال یا ۸۱/۲۵ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال

ج-مجموع انرژی مصرفی در طول یک سال: ۲۵۴۰۰۰ کیلووات ساعت در سال یا ۲۲۶/۷۹ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال

بر اساس نتایج اشاره‌شده، بیشترین مصرف مربوط به گاز بوده که ۱۶۳۰۰۰ کیلووات می‌باشد. بر این اساس بایستی در زمینه الگوی مصرف و بهینه‌سازی مصرف انرژی، روش‌های مختلف را اجرا و به‌کار گرفت؛ بنابراین شبیه‌سازی طراحی‌شده در نرم‌افزار نشانگر آن است که مصرف انرژی زیاد بوده است.

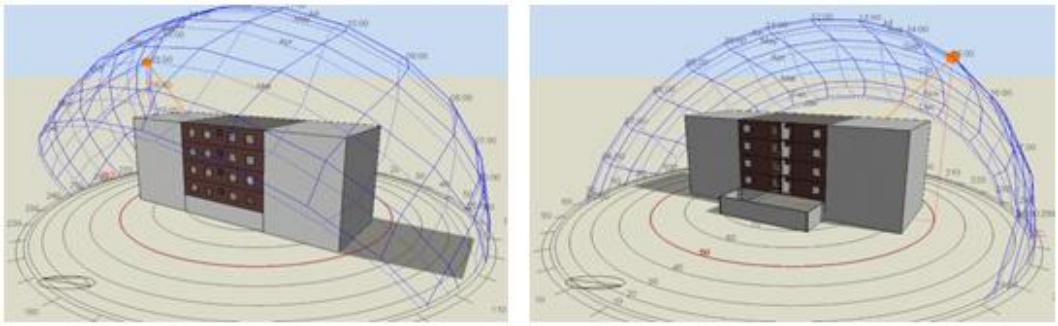
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]



Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	24.07	24.61	26.97	28.76	30.08	28.98	27.80	27.21	27.57	28.06	26.96	24.89
Outside Dew-Point Temperature (°C)	15.50	14.75	19.69	22.95	24.23	25.58	24.91	24.22	23.85	23.44	19.02	16.10
Wind Speed (m/s)	1.60	2.13	1.89	2.08	2.71	2.74	3.26	3.23	2.08	1.09	1.38	1.43
Wind Direction (°)	132.09	164.91	166.53	174.28	212.51	202.61	210.35	241.16	195.85	96.72	116.52	135.28
Solar Altitude (°)	-9.95	-6.61	-1.05	4.95	9.15	10.71	10.10	7.01	1.61	-4.42	-8.95	-10.70
Solar Azimuth (°)	176.10	170.96	170.44	171.90	172.71	171.94	170.38	170.99	173.12	175.41	177.44	178.58
Atmospheric Pressure (Pa)x10^3	100.97	100.33	100.59	100.23	100.10	100.00	99.98	100.01	100.16	100.59	100.70	100.94
Direct Normal Solar (Wh/m2)	133.24	137.55	118.38	84.88	74.83	45.46	50.60	49.36	52.13	72.44	114.59	142.58
Diffuse Horizontal Solar (Wh/m2)	49.18	51.01	77.38	94.45	107.69	101.40	104.72	101.84	90.97	75.61	53.04	43.66

شکل (۴). اطلاعات جغرافیایی سایت ساختمان نمونه با توجه به جدول سینوپتیک هواشناسی شهر تهران در ایستگاه مهرآباد

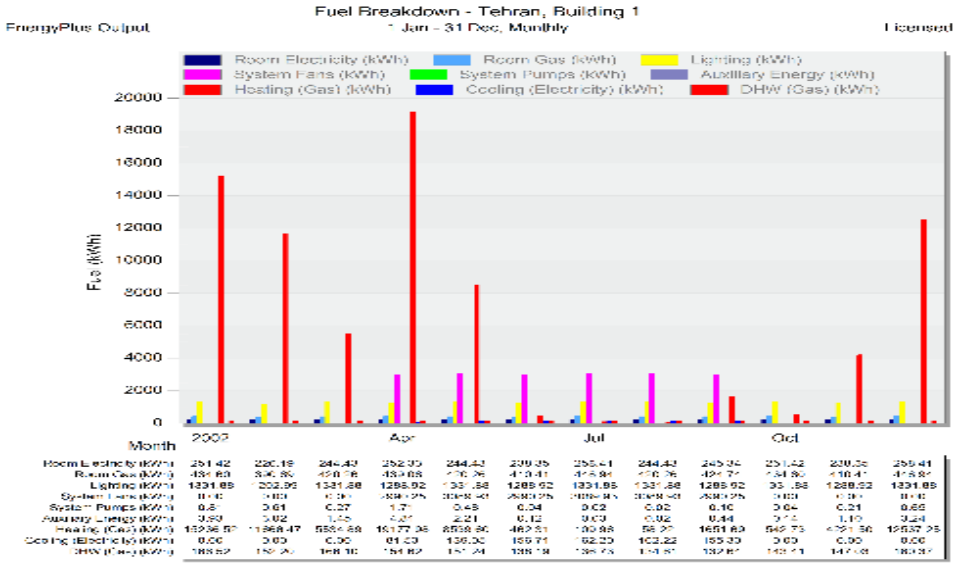


شکل (۵). شبیه‌سازی ساختمان نمونه در نرم‌افزار دیزاین بیلدر

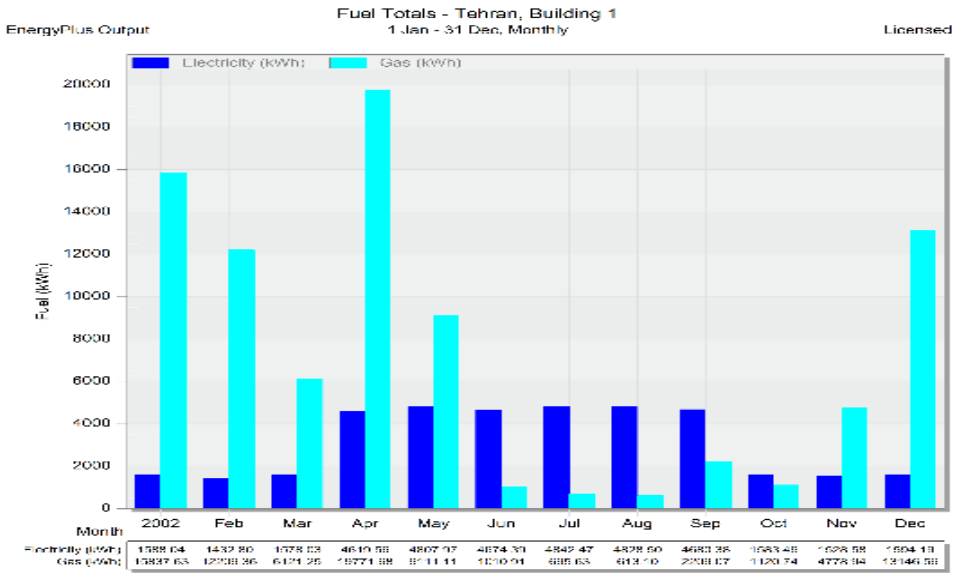
همان‌گونه که مشخص است در ماه‌های گرم سال، میزان مصرف انرژی برای بخش برف افزایش‌یافته است و برای گاز نیز بیشترین مصرف انرژی را در فصل سرد سال شاهد هستیم. بیشترین مصرف گاز مربوط به ماه آوریل تا سپتامبر بوده و بیشترین مصرف در زمینه برق نیز مربوط به ماه‌های آوریل، دسامبر و فوریه می‌باشد. اشکال (۶ و ۷) به‌خوبی شرایط گزارش‌شده را نشان می‌دهند.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]



شکل (۶). نتایج مصارف مختلف برق و گاز برحسب کیلووات ساعت در ماه‌های مختلف

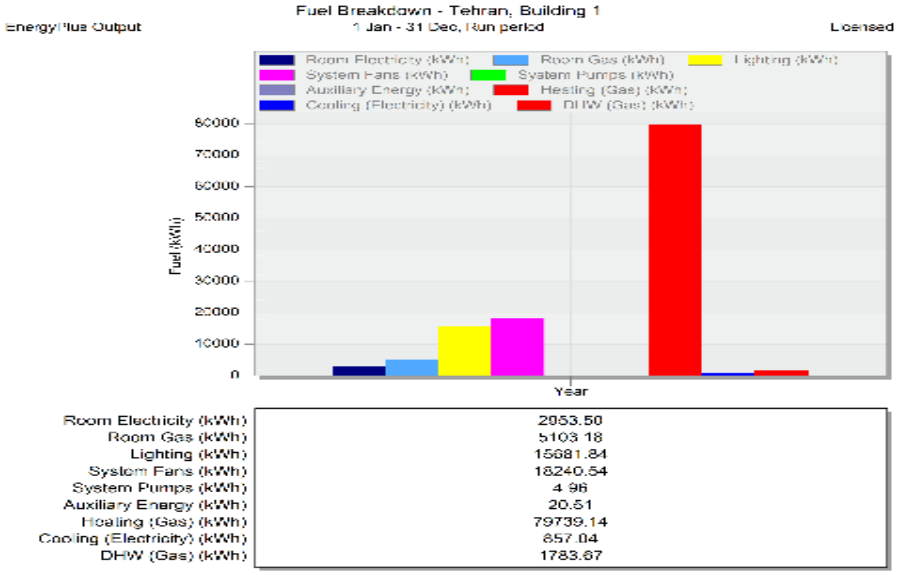


شکل (۷). میزان مصرف برق و گاز برحسب کیلووات ساعت در ماه‌های مختلف

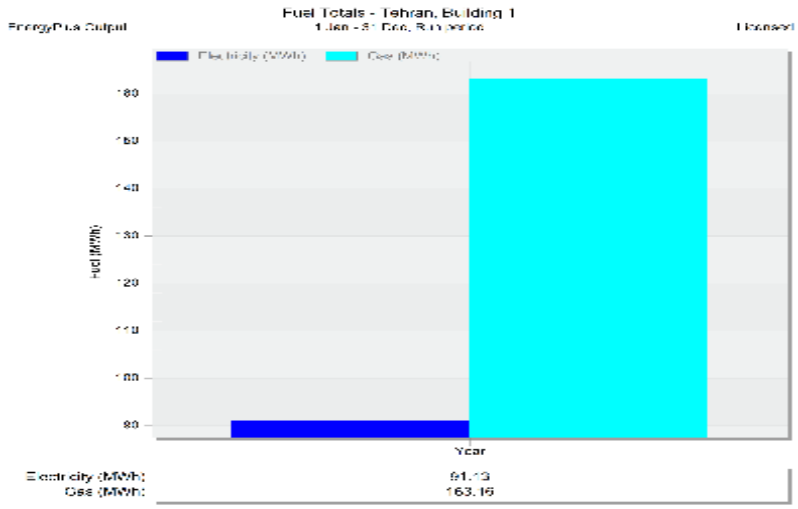
شکل (۸) نیز نتایج مصارف مختلف به تفکیک برحسب کیلووات ساعت در کل سال را نشان می‌دهد که سیستم برق خانگی که با رنگ قرمز مشخص‌شده است بیشترین سهم را داشته است. مقدار محاسبه‌شده برابر با ۲۰۵۳/۵۰ کیلووات ساعت بوده است.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]



شکل (۸). نتایج مصارف مختلف به تفکیک برحسب کیلووات ساعت در کل سال

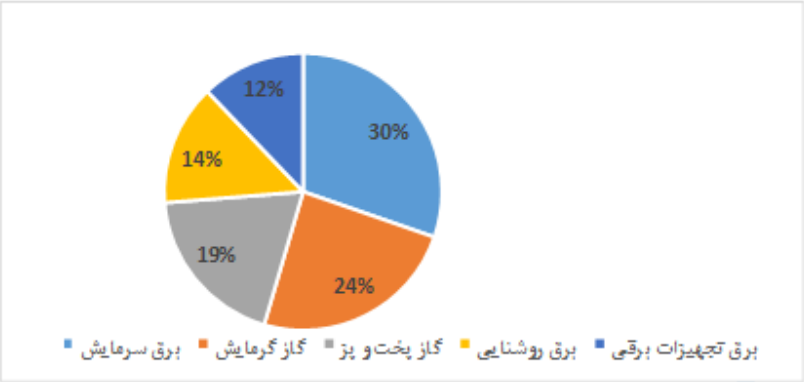


شکل (۹). نتایج نهایی مصرف سالیانه برق و گاز برحسب کیلووات ساعت

در اشکال (۶ تا ۹) میزان مصرف برق تجهیزات برقی با آبی پررنگ، میزان مصرف برق روشنایی با رنگ زرد، میزان مصرف گاز برای گرمایش با رنگ قرمز کمرنگ، میزان مصرف برق برای سرمایش با آبی کمرنگ و نهایتاً میزان گاز مصرفی برای پخت‌وپز با رنگ قرمز پررنگ در ماه‌های مختلف سال برحسب واتساعت بر مترمربع نمایش داده‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنیم، در ماه‌های گرم سال (وسط نمودار) میزان مصرف برق برای سرمایش، بیشتر از گاز بوده و در ماه‌های سرد سال (دو طرف نمودار)، بالعکس. به‌طور خلاصه و بر اساس شکل (۱۰)، بیشترین سهم مصارف انرژی ساختمان مربوط به برق سرمایش با ۳۰ درصد بوده است. همچنین در رتبه دوم نیز گاز گرمایش با ۲۴ درصد و در رتبه سوم نیز گاز پخت‌وپز با ۱۹ درصد قرارگرفته است.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]



شکل (۱۰). سهم مصارف مختلف از کل مصرف انرژی ساختمان

اعتبار سنجی نتایج

برای اعتبار سنجی نتایج از دو روش استفاده‌شده است. روش مقایسه با قبوض برق و گاز و روش اعتبار سنجی نتایج با مقادیر متداول مصرف انرژی. هر دو روش مناسب بوده و در تحقیقات مختلف نیز استفاده‌شده است.

روش اول: مقایسه با قبوض برق و گاز

برای این موضوع، قبوض برق و گاز مربوط به یک سال گذشته هر ۱۰ واحد مسکونی را جمع‌آوری و میزان مصرف با هم جمع شد تا مصرف انرژی واقعی ساختمان در طول یک سال، محاسبه گردد. لازم به ذکر است، مصرف برق در قبوض، برحسب کیلووات ساعت و مصرف گاز برحسب مترمکعب، می‌باشد که برای تبدیل مترمکعب به کیلووات ساعت، در ۱۰/۴ ضرب شده است.

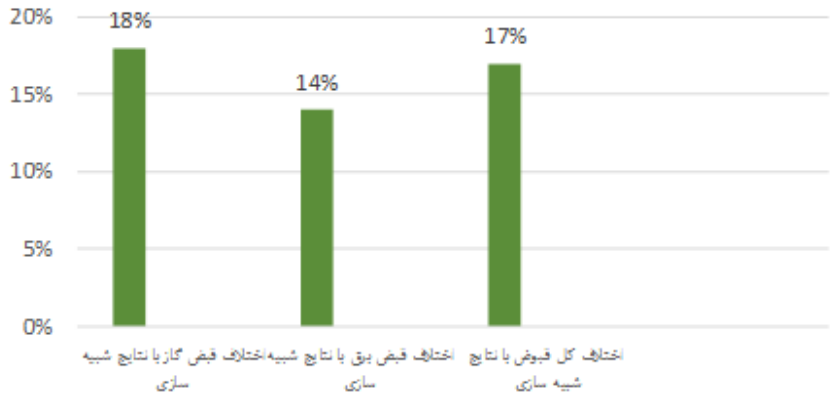
بر اساس نتایج شبیه‌سازی، اختلاف گل ۱۷ درصد بوده است. همچنین درصد اختلاف مصرف برق ۱۴ درصد و درصد اختلاف مصرف گاز ۱۸ درصد محاسبه‌شده است. نتیجه کل مصرف در نرم‌افزار نیز برابر با ۲۵۶۱۶۴ کیلووات ساعت بوده که قابل‌توجه است. نتایج کل مصرف انرژی بر اساس قبوض نیز ۲۱۱۹۲۰ کیلووات ساعت محاسبه‌شده که این میزان نیز قابل‌توجه است.جدول (۷) و شکل (۱۱).

جدول (۷). مقایسه نتایج شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر با قبوض برق و گاز

قبض برق برحسب کیلووات ساعت	قبض گاز بر حسب مترمکعب	قبض گاز برحسب کیلووات ساعت	نتایج کل مصرف انرژی بر اساس قبوض	نتایج مصرف برق در نرم‌افزار	نتایج مصرف گاز در نرم‌افزار	نتایج کل مصرف در نرم‌افزار	درصد اختلاف مصرف گاز	درصد اختلاف مصرف برق	درصد اختلاف کل
۷۸۲۶۰	۱۲۸۵۲	۱۳۳۶۶۰	۲۱۱۹۲۰	۹۱۲۵۶	۱۶۳۹۰۸	۲۵۵۱۶۴	٪۱۸	٪۱۴	٪۱۷

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]



شکل (۱۱). اختلاف شبیه‌سازی با قبوض گاز و برق

اعتبار سنجی نتایج با مقادیر متداول مصرف انرژی

در تحقیقی با عنوان طرح هدفمندی گاز خانگی مصرف گاز یک خانواده ۴ نفره، حدود ۷۵ گیگا ژول یا به عبارتی ۲۰۸۳۳ کیلووات ساعت در یک سال برآورد شده است؛ یعنی هر نفر به‌طور متوسط ۵۲۰۸ کیلووات ساعت گاز در یک سال مصرف می‌کند. در تحقیق حاضر هر نفر ۶۰۳۷ کیلووات ساعت گاز در سال مصرف می‌کند که با نتایج مقاله ذکرشده حدود ۱۴ درصد اختلاف دارد. برای اختلاف بین نتایج شبیه‌سازی و قبوض برق و گاز، می‌توان دلایلی را ذکر کرد ازجمله:

۱-داده‌های آب و هوایی استفاده‌شده در مدل، بر پایه داده‌های ۴۰ سال اخیر تهیه‌شده است که کاملاً منطبق با شرایط سال گذشته که قبوض آن در نظر گرفته‌شده، نبوده است.

۲-در شرایط واقعی، حدود ۱۰ درصد از فضای داخلی به کابینت‌ها، کمدها و سرویس‌های بهداشتی اختصاص دارد که در واقع فضای غیرحرارتی است و این باعث می‌شود، بارهای حرارتی و برودتی بیش‌ازحد واقعی تخمین زده شود.

تعیین برچسب انرژی ساختمان

موضوع تعیین برچسب انرژی برای ساختمان‌ها، از سال‌های گذشته موردتوجه دست‌اندرکاران صنعت ساختمان قرارگرفته است. به‌گونه‌ای که همانند کالاهای برقی، مثل یخچال و فریزر و جاروبرقی و...که برچسب انرژی دارند و خریدار می‌تواند یکی از ملاک‌های خود برای انتخاب را میزان مصرف انرژی وسیله موردنظر قرارداد. درصورتی‌که ساختمان‌ها نیز برچسب انرژی داشته باشند، تلاش سازندگان و طراحان برای کسب برچسب بهتر، باعث کاهش مصرف انرژی در بنا می‌شود. سازمان استاندارد بعد از ورود به موضوع، استاندارد ۱۴۲۵۳ را برای این منظور تدوین کرد. برای تعیین برچسب انرژی ساختمان، باید از رابطه فوق استفاده شود. در این رابطه Ea انرژی واقعی مصرفی در طول یک سال برحسب کیلووات ساعت بر مترمربع و E_i انرژی مصرفی ساختمان ایده‌آل است. با توجه به اینکه تهران در تقسیم‌بندی اقلیمی کشور در جایگاه ۵ قرار دارد، بنابراین شاخص انرژی مصرفی ساختمان ایده‌آل آن، برای ساختمان‌های با زیربنای بیش از ۱۰۰۰ مترمربع، ۸۷ می‌باشد و

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

بنابراین شاخص برچسب انرژی ساختمان نمونه ۲/۶۱ و بنابراین برچسب انرژی آن C می‌باشد. به‌صورت رابطه (۱) ارائه‌شده است.

$$R=E_a/E_i$$ رابطه (۱)

جداول (۸ تا ۱۰)، تقسیم‌بندی اقلیمی کشور، شاخص مصرف انرژی ساختمان ایده‌آل و شاخص برچسب انرژی ساختمان‌ها را نشان می‌دهد.

جدول (۸). تقسیم‌بندی اقلیمی کشور

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

(منبع: استاندارد ۱۴۲۵۳)

جدول (۹). شاخص مصرف انرژی ساختمان ایده‌آل

اقلیم	ساختمان	
	مسکونی کوچک	مسکونی بزرگ
۱، ۲	۱۱۱	۱۰۲
۳، ۴	۱۵۶	۱۰۶
۵	۸۳	۸۷
۶	۸۶	۷۵
۷	۱۵۰	۱۳۸
۸	۱۳۰	۱۱۸

(یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۰)

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

جدول (۱۰). شاخص برچسب انرژی ساختمان‌ها

رده مصرف انرژی	کاربری	
	مسکونی بزرگ	مسکونی کوچک
A	R < 1	R < 1
B	1.0 ≤ R < 2.0	1.0 ≤ R < 1.9
C	2.0 ≤ R < 2.9	1.9 ≤ R < 2.7
D	2.9 ≤ R < 3.7	2.7 ≤ R < 3.4
E	3.7 ≤ R < 4.4	3.4 ≤ R < 4.0
F	4.4 ≤ R < 5.0	4.0 ≤ R < 4.5
G	5.0 ≤ R < 5.4	4.5 ≤ R < 5.0
برچسب تعلق نمی گیرد	5.4 ≤ R	5.0 ≤ R

(یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۰)

بهینه‌سازی با کمک الگوریتم ژنتیک

منظور از بهینه‌سازی، یافتن مناسب‌ترین پاسخ‌ها در بین مجموعه‌ای از راه‌حل‌های ممکن می‌باشد. مثلاً اینکه مشخص شود که از میان ۴ نوع پنجره ممکن، کدام‌یک باعث کمترین مصرف انرژی را دارند. در این صورت ۴ نوع پنجره ممکن به‌عنوان متغیرهای تحقیق و میزان مصرف انرژی بنا تابع هدف می‌باشند. در تحقیق پیشرو متغیرهای تحقیق را به شکل جدول (۱۱) انتخاب کردیم و در واقع ۲*۴*۴*۴=۱۲۸ متغیر وجود دارد که هدف آن است که مشخص شود با کدام چینش با نظم، این متغیرها تابع هدف بهینه می‌شوند. تابع هدف را در این پژوهش ۱-مصرف انرژی و ۲-هزینه ساخت تعریف‌شده و در واقع به دنبال این پاسخ هستیم که کدام‌یک از ۱۲۸ حالت ممکن برای متغیرها، هم باعث کاهش مصرف انرژی بنا می‌شود و هم کاهش هزینه ساخت. برای این منظور از الگوریتم ژنتیک بهره گرفته‌شده است.

جدول (۱۱). متغیرهای تحقیق

ردیف	متغیرهای تحقیق		فضای تصمیم
۱	دیوار خارجی	لایه خارجی	سنگ آجر
		لایه داخلی	بلوک سفالی بلوک سفالی با عایق حرارتی لیکا لیکا با عایق حرارتی
۲	پنجره		دوجداره ۳ میلی‌متری ساده دوجداره ۳ میلی‌متری ساده با گاز ارگون دوجداره ۳ میلی‌متری کم گسیل دوجداره ۳ میلی‌متری کم گسیل با گاز ارگون
۳	WWR جبهه جنوبی		۱۵٪-۳۰٪-۴۵٪-۶۰٪

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

نتایج بهینه‌سازی بر پایه الگوریتم ژنتیک

همان‌طور که گفته شد، الگوریتم ژنتیک پرکاربردترین الگوریتم برای بهینه‌سازی می‌باشد، با کمک الگوریتم ژنتیک می‌توان حالات بهینه را شناسایی کرد و در واقع مشخص نمود که با کدام ترکیب متغیرها هر دو هدف یعنی مصرف انرژی و هزینه ساخت بهینه می‌شوند. جداول (۱۲ و ۱۳) نتایج الگوریتم ژنتیک در یک هفته تابستانی و یک هفته زمستانی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود برای لایه خارجی، سنگ مناسب‌ترین گزینه و برای لایه داخلی هم می‌توان از سفال استفاده کرد و هم از لیکا جدول (۱۵). البته نتایج نشان می‌دهد که در حالت استفاده از سفال WWR بهینه در تابستان ۳۰ درصد و در زمستان ۱۵ درصد می‌باشد و این در حالی است که در صورت استفاده از لیکا WWRبهینه در تابستان ۳۰ درصد و در زمستان ۴۵ درصد می‌باشد جداول (۱۳ تا ۱۵). از دیگر نتایج این شبیه‌سازی می‌توان به این نکته اشاره کرد که شیشه کم گسیل بر شیشه ساده و گاز آرگون بر هوا برتری دارد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مصالح و همچنین نوع مواد به‌کار رفته در یک ساختمان تا چه میزان می‌تواند بهینه‌سازی مصرف انرژی مؤثر باشد. در این زمینه اقلیم نقش مهمی ایفا می‌نماید و در حقیقت می‌تواند تعیین‌کننده نوع مواد و مصالح مصرفی باشد.

جدول (۱۲). نتایج بهینه‌سازی به‌وسیله الگوریتم ژنتیک در یک هفته تابستانه

External wall construction	Glazing type	Window to Wall %	Total Construction Cost (USD)	Total site energy consumption (kWh)	Category	Generation	Iteration
Stone- Typical External Wall-sofal insulated	Dbl LoE (e2=.1) Clr 3mm/13mm Arg	۳۰	۴۱۶۲۹۹/۷	۴۶۲/۶۵۲۵	Pareto	۰	۸
Stone- Typical External Wall-lica insulated	Dbl LoE (e2=.1) Clr 3mm/13mm Air	۴۵	۴۱۲۷۱۵/۸	۴۶۵/۴۳۹۹	Pareto	۰	۱۹
Stone- Typical External Wall-lica insulated	Dbl LoE (e2=.1) Clr 3mm/13mm Arg	۳۰	۴۱۳۵۸۹/۳	۴۶۴/۳۷۱۹	Pareto	۱	۲۰
Stone- Typical External Wall-sofal insulated	Dbl LoE (e2=.1) Clr 3mm/13mm Air	۴۵	۴۱۵۴۲۶/۳	۴۶۳/۷۲۰۳	Pareto	۱	۲۱

جدول (۱۳). نتایج بهینه‌سازی به‌وسیله الگوریتم ژنتیک در یک هفته زمستانه

External wall construction	Glazing type	Window to Wall %	Total Construction Cost (USD)	Total site energy consumption (kWh)	Category	Generation	
Stone- Typical External Wall-lica insulated	Dbl LoE (e2=.1) Clr 3mm/13mm Air	۱۵	۴۱۲۷۱۵/۸	۵۸۷/۱۰۶۲	Pareto	۰	**۱**
Typical External Wall-lica insulated	Dbl LoE (e2=.1) Clr 3mm/13mm Arg	۱۵	۴۱۶۸۸۸/۷	۵۷۰/۷۸۵۸	Pareto	۰	**۶**
Stone- Typical External Wall-sofal insulated	Dbl LoE (e2=.1) Clr 3mm/13mm Arg	۱۵	۴۱۶۲۹۹/۷	۵۷۴/۲۶۲۸	Pareto	۰	**۷**
Stone- Typical External Wall-lica insulated	Dbl LoE (e2=.1) Clr 3mm/13mm Arg	۴۵	۴۱۳۵۸۹/۳	۵۷۸/۷۳۳۱	Pareto	۱	**۲۵**
Typical External Wall-sofal insulated	Dbl LoE (e2=.1) Clr 3mm/13mm Arg	۶۰	۴۱۹۵۹۹/۱	۵۶۶/۷۹۷	Pareto	۲	**۴۰**

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

همان‌گونه که بیان‌شده جدول (۱۴) نتایج بهینه‌سازی بر پایه الگوریتم ژنتیک در یک هفته تابستانه را نشان می‌دهد که بیشترین مقدار بهینه‌سازی مربوط به سنگ در لایه خارجی دیوار و سفال یا لیگا در لایه داخلی دیوار ساختمان است.

جدول (۱۴). خلاصه نتایج بهینه‌سازی بر پایه الگوریتم ژنتیک در یک هفته تابستانه

ردیف	لایه خارجی دیوار	لایه داخلی دیوار	ساده یا کم گسیل	آرگون یا هوا	WWR
۱	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	آرگون	۳۰
۲	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۴۵
۳	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۴۵
۴	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	آرگون	۳۰

نتایج بهینه‌سازی بر پایه الگوریتم ژنتیک در یک هفته زمستانه بر اساس جدول (۱۵) نشانگر آن است که سفال یا عایق حرارتی و همچنین لیکا با بیشترین مقدار بهینه‌سازی در زمینه لایه داخلی دیوار در زمستان عمل می‌نماید. همچنین در زمینه لایه خارجی دیوار نیز در فصل زمستان بیشترین بهینه‌سازی مربوط به سنگ می‌باشد جدول (۱۶).

جدول (۱۵). خلاصه نتایج بهینه‌سازی بر پایه الگوریتم ژنتیک در یک هفته زمستانه

ردیف	لایه خارجی دیوار	لایه داخلی دیوار	ساده یا کم گسیل	آرگون یا هوا	WWR
۱	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	آرگون	۱۵
۲	-	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	آرگون	۶۰
۳	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۱۵
۴	-	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	آرگون	۱۵
۵	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	آرگون	۴۵

جدول (۱۶). نتایج نهایی بهینه‌سازی بر پایه الگوریتم ژنتیک درکل سال

ردیف	لایه خارجی دیوار	لایه داخلی دیوار	ساده یا کم گسیل	آرگون یا هوا	WWR
۱	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	آرگون	۲۲/۵
۲	سنگ	لیک با عایق حرارتی	کم گسیل	آرگون	۳۷/۵

نتیجه‌گیری

بهینه‌سازی مصرف انرژی در واحدهای ساختمانی همواره مهم و دارای اهمیت بوده است؛ چرا که بخش زیادی از انرژی مصرفی، مربوط به بخش ساختمان است. هدف از این تحقیق بهینه‌سازی هزینه ساخت و مصرف انرژی دوران بهره‌برداری یک ساختمان مسکونی متداول در تهران است. به‌عبارت‌دیگر می‌توان با تغییراتی کم در مصالح، تجهیزات و فناوری‌های ساخت رایج در کشور، به میزان زیادی در مصرف انرژی فاز بهره‌برداری ساختمان صرفه‌جویی کرد؛ در حالی که هزینه بسیار کمی به فاز ساخت اضافه شود تا موردپذیرش طراحان، سازندگان و دست‌اندرکاران صنعت ساختمان قرار گیرد. این موضوع در شهرها می‌توان مفید باشد و به توسعه شهری پایدار منجر شود.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

برای این منظور ابتدا یک ساختمان ۵ طبقه در زمینی به مساحت ۳۲۰ مترمربع و زیربنای حدود ۱۱۰۰ مترمربع در مناطق میانی شهر تهران انتخاب گردید. با توجه به آمار شهرداری تهران از میزان صدور پروانه ساخت به تفکیک برحسب مساحت زمین، مساحت زیربنا، نوع اسکلت و غیره، ساختمان منتخب در این تحقیق، نماینده تعداد زیادی از ساختمان‌ها بوده و نتایج این تحقیق تا حدود زیادی در مورد بقیه ساختمان‌ها با شرایط مشابه نیز صادق است. با استفاده از شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر و با ورود اطلاعات مربوط به ساختمان و شرایط اقلیمی منطقه موردنظر، نرم‌افزار میزان برق مصرفی در یک سال را ۹۱۲۵۶ کیلووات ساعت در سال، یا ۱۴۵/۵۳ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال و میزان گاز مصرفی را ۱۶۳۹۰۸ کیلووات ساعت در سال، یا ۸۱/۲۵ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال محاسبه نمود؛ به‌عبارت‌دیگر ساختمان موردنظر در سال، ۲۵۵۱۶۴ کیلووات ساعت انرژی مصرف می‌کند که این میزان برای هر مترمربع آن ۲۲۶/۷۹ کیلووات ساعت بوده است. با توجه به استاندارد ۱۴۲۵۳ تهران در اقلیم نیمه‌خشک قرار دارد و شاخص مصرف انرژی ساختمان ایده‌آل در آن، برای زیربناهای بزرگ‌تر از ۱۰۰۰ مترمربع، عدد ۸۷ کیلووات ساعت بر مترمربع می‌باشد. از تقسیم شاخص مصرف ساختمان نمونه (۲۲۶/۷۹) بر شاخص مصرف ساختمان ایده‌آل (۸۷) می‌توان برچسب انرژی ساختمان را تعیین نمود که در این تحقیق این عدد ۲/۶۱ محاسبه می‌شود و لذا به ساختمان نمونه برچسب انرژی C تعلق می‌گیرد. در قدم بعدی اقدام به بهینه‌سازی ساختمان نمونه با استفاده از الگوریتم ژنتیک شد. در فرآیند بهینه‌سازی، اهداف کمینه‌سازی هزینه ساخت و مصرف انرژی و متغیرهای تحقیق نیز مصالح رایج در نمای ساختمان (سنگ یا آجر)، جنس دیوار خارجی (سفال یا لیکا)، نوع پنجره (کم گسیل یا ساده)، نوع گاز بین لایه‌های شیشه پنجره (هوا یا آرگون) و WWR جبهه جنوبی (۱۵٪-۳۰٪-۴۵٪-۶۰٪) بودند. با اشتراک نتایج بهینه‌سازی در یک هفته تابستانی و یک هفته زمستانی، ۲ حالت بهینه برای متغیرها به دست آمد که عبارت‌اند از

۱-مصالح نما سنگ-جنس دیوار سفال به همراه عایق حرارتی-شیشه پنجره از نوع کم گسیل-گاز بین لایه‌های شیشه آرگون-نسبت پنجره به سطح جبهه جنوبی ۲۲/۵ درصد.

۲- مصالح نما سنگ-جنس دیوار لیکا به همراه عایق حرارتی -شیشه پنجره از نوع کم گسیل-گاز بین لایه‌های شیشه آرگون-نسبت پنجره به سطح جبهه جنوبی ۳۷/۵ درصد.

بنابراین با به‌کارگیری این مصالح که از مصالح رایج است و رعایت نسبت بهینه پنجره به سطح در طراحی و اجرا می‌توان انتظار عملکرد حرارتی بهتری را از ساختمان داشت. به نظر می‌رسد که شبیه‌سازی انجام‌شده در این تحقیق برای استفاده دیگر ساختمان‌ها نیز مطلوب باشد و بتواند زمینه و بستر مناسبی جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی در قبل از بهره‌برداری و در هنگام ساخت را فراهم نماید. علاوه بر این شبیه‌سازی نشان داد که می‌توان با اعمال تغییرات و استفاده از مصالح مناسب، هزینه ساخت ساختمان را کاهش داد و مصرف انرژی را نیز مدیریت و به یک سطح مناسب رساند. از مهم‌ترین تحقیقاتی که بخش زیادی از تحقیق حاضر را پوشش و حمایت می‌نمایند می‌توان به تحقیقات گالداس و همکاران (۲۰۰۳)، پنا و همکاران (۲۰۱۵)، لیی و همکاران (۲۰۲۱)، فاضل پور و همکاران (۲۰۲۲) و ژان و چانک (۲۰۲۱)، مفتونی و معتقدی (۱۳۹۹) اشاره نمود. در این تحقیق نیز بر نظم و چیدمان درست اجزای ساختمان از جمله درب، پنجره و مهم‌ترین از همه مصالح اشاره

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

دارند و نقش این‌گونه متغیرها را در مصرف انرژی در ساختمان‌ها مؤثر می‌دانند. تحقیق حاضر نیز تأیید نمود که مصالح نقش مهمی در بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش هزینه ساخت دارد.

با توجه به نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌شود که ۱- از مصالح سنگ به همراه عایق حرارتی در بخش نما ساختمان‌های استفاده شود.۲-دیوار لیکا به همراه عایق حرارتی نیز می‌تواند در سطح جنوبی ساختمان‌های شهر تهران در مصرف بهینه انرژی مؤثر باشد.۳-پیشنهاد می‌شود که از مصالح متناسب با اقلیم حاکم بر شهر تهران استفاده گردد.۴-با توجه به اینکه مصرف انرژی برق در فصول گرم سال افزایش می‌یابد، بهتر است که برچسب مصرف انرژی برای وسایل مختلف برقی مورد تأکید قرار گیرد. ۵- با استفاده از برخی اقدامات در ساختمان‌ها، می‌توان مصرف گاز در فصل زمستان را کاهش داد که مصالح مرغوب از مهم‌ترین آن‌ها است.

منابع

باقری، فرشید؛ مکاری زاده، وهاب.(۱۳۸۷). **تحلیل اثربخشی سطح نورگذرها در مصرف انرژی و تولید گازهای آلاینده در ساختمان‌های مسکونی کشور**، مجله تازه‌های انرژی،۱(۱): ۶۴-۶۷.

پیر محمدی، محسن؛ عاکف، علی. (۱۳۹۵). **بررسی مصرف انرژی در یک ساختمان سبز نمونه و مقایسه‌ی آن با ساختمان‌های معمولی** .دو فصلنامه انرژی‌های تجدید پذیر و نو،۳(۲): ۲۴-۲۹.

تقوی، مسعود.(۱۳۹۴). **روش‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان**، نخستین همایش ملی سیستم‌های هوشمند مدیریت ساختمان با رویکرد بهینه‌سازی مصرف انرژی، قزوین.

حکیمی، مجتبی؛ کاظمینی، محمدجواد؛ تاج‌الدینی، عباس.(۱۴۰۰). **مدیریت بهینه‌سازی مصرف انرژی با رویکرد ساختمان انرژی صفر با استفاده از روش فازی**، مجله مهندسی سازه و ساخت، ۸(۶): ۲۴۱-۲۶۲.

خداکرمی، جمال؛ قبادی، پریسا.(۱۳۹۵). **بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک ساختمان اداری مجهز به سیستم مدیریت هوشمند**، نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت انرژی، ۲(۶): ۱۲-۲۳.

راستی، سپیده؛ میرعبدالعظیم زاده میرمبینی، زهرا؛ روشن، محسن.(۱۳۹۴). **بهینه‌سازی مصرف انرژی در نماهای ساختمان‌های مسکونی در اقلیم معتدل و مرطوب**، همایش بین‌المللی معماری عمران و شهرسازی در آغاز هزاره سوم، تهران.

زارع پور، حسین؛ رفیعی، حمید.(۱۳۹۴). **مروری بر روش‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی و رسیدن به توسعه پایدار**، سومین همایش ملی اقلیم، ساختمان و بهینه‌سازی مصرف انرژی با رویکرد توسعه پایدار، اصفهان.

سیدی، مسعود؛ هاشمی، مهدی؛ خلیلی، مهدی.(۱۳۹۸). **تحلیل انرژی و اگزرژی-اقتصادی سیستم گرمایش ساختمان به‌منظور بهینه‌سازی مصرف و مدیریت انرژی**، مجله انرژی ایران، ۲۲(۲): ۹۷-۱۲۰.

عزیزی، محمدمهدی؛ قرائی، آزاده.(۱۳۹۳). **برنامه‌ریزی کاربری زمین در راستای توسعه پایدار محله‌ای با تأکید بر بهینه‌سازی مصرف انرژی**، مجله هویت شهر،۲۲(۹): ۵-۱۸.

غفاری، شهلا؛ غفاری، شیوا؛ صالح، الهام.(۱۳۹۲). **راهکارهای طراحی مسکن در بهینه‌سازی مصرف انرژی شهر تهران**، مجله پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری انرژی،۱(۱): ۱۱۵-۱۳۲.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

فاضلی، عبدالرضا؛ حیدری، شاهین.(۱۳۹۲). **بهینه‌سازی مصرف انرژی در مناطق مسکونی شهر تهران با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی انرژی روتردام.(REAP)** ، فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی، ۱(۳): ۸۳-۹۶.

فرهادی، علی؛ مهدی خانی، مهدی؛ عالیپور، پرویز.(۱۳۹۶). **بررسی میزان هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری ساختمان‌های شهر یزد در صورت استفاده از مصالح مختلف، با رویکرد مدیریت مصرف انرژی،** چهارمین کنفرانس ملی دستاوردهای اخیر در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، تهران.

قنبری، ابوالفضل؛ واعظی، موسی؛ باکویی، مائده.(۱۴۰۰)، **ارزیابی تأثیر برنامه‌ریزی کاربری زمین بر مصرف انرژی (مطالعه موردی: شهر تبریز)**، فضای جغرافیایی، ۲۱(۷۳): ۵۵-۷۲.

لطفعلیان، پریسا؛ لطفی، محمدمهدی؛ رضوانفر، محسن.(۱۳۹۵). **مدل دوهدفه مصرف انرژی-هزینه ساخت جهت ارزیابی روش‌های ساخت پوسته خارجی ساختمان‌های مسکونی،** همایش بین‌المللی مهندسی صنایع، انجمن‌های علمی، تهران.

مفتونی، نگین؛ معتقدی، کیانا.(۱۳۹۹). **بهینه‌سازی مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی یک مجتمع مسکونی در اقلیم گرم و خشک،** مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز، ۵۰(۳): ۲۱۵-۲۲۴.

میرهاشمی، سیدمهدی؛ شاپوریان، سیدمحمدهادی؛ قیابکلو، زهرا. (۱۳۸۹). **روشی نوین در بهینه‌سازی پنجره‌های تک‌جداره،** نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، ۲(۴۳): ۴۳-۴۸.

نوری، جعفر؛ کرباسی، عبدالرضا؛ برقعی پور، هستی، طاهری، علیرضا.(۱۳۸۷). **ارائه راهکارهای اجرایی و مدیریتی جهت کاهش مصرف انرژی الکتریکی در ساختمان‌های عمومی،** مجله علوم و تکنولژی محیط‌زیست، ۱۰(۳): ۳۷-۵۰.

نوریان، فرشاد؛ فنح جلالی، آرش.(۱۳۹۹). **بررسی و تحلیل اثرات برنامه‌ریزی کاربری اراضی و شبکه حمل‌ونقل بر مصرف انرژی در شهر، مورد مطالعاتی :محدوده ۳۵ هکتاری در شهر جدید هشتگرد،** مجله معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۱۳(۳۱): ۲۷۱-۲۸۶.

یاوری، معصومه؛ شاهد، مه‌لقا؛ سینگری، مریم.(۱۳۸۹). **بررسی تأثیر ارتفاع در میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی با رویکردی به توسعه‌ی پایدار (نمونه‌ی موردی: ساختمان‌های مسکونی شهرک رشدیه تبریز)**، نخستین همایش توسعه شهری پایدار، تهران.

یوسفی، فاطمه؛ قلی پور، یعقوب.(۱۳۹۶). **کمینه‌سازی مصرف انرژی طول عمر ساختمان مسکونی متداول ایران با توجه به پارامترهای طراحی و روش ساخت،** رساله دکتری، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.

یوسفی، فاطمه؛ قلی پور، یعقوب.(۱۳۹۷). **ارزیابی مصرف انرژی طول عمر یک ساختمان واقعی مسکونی در شهر تهران،** مجله معماری و شهرسازی، ۲۳(۱): ۸۱-۹۲.

Alaidroos, A. & Krarti, M. (2015). **Optimal design of residential building envelope systems in the Kingdom of Saudi Arabia.** Energy and Buildings, 86, 104-117.

Al-Mudhaffer, A. F. Saleh, S. K. & Kadhum, G. I. (2022). **The role of sustainable materials in reducing building temperature. Materials Today:** Proceedings, 61, 690-694.

Aria, H. & Akbari, H. (2014). **Integrated and multi-hour optimization of office building energy consumption and expenditure.** Energy and buildings, 82, 391-398.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

Asadi, E. Da Silva, M. G. Antunes, C. H. & Dias, L. (2012). **Multi-objective optimization for building retrofit strategies: A model and an application**. Energy and Buildings, 44, 81-87.

Attia, S. Hamdy, M. O'Brien, W. & Carlucci, S. (2013). **Assessing gaps and needs for integrating building performance optimization tools in net zero energy buildings design.** Energy and Buildings, 60, 110-124.

Bambrook, S. M. Sproul, A. B. & Jacob, D. (2011). **Design optimisation for a low energy home in Sydney**. Energy and Buildings, 43(7), 1702-1711.

Caldas, L. (2008). **Generation of energy-efficient architecture solutions applying GENE_ARCH: An evolution-based generative design system**. Advanced Engineering Informatics, 22(1), 59-70.

Caldas, L. (2011, March). G**eneration of energy-efficient patio houses: combining GENE_ARCH and a Marrakesh Medina shape grammar**. In 2011 AAAI Spring Symposium Series.

Caldas, L. G. & Norford, L. K. (2003). **Genetic algorithms for optimization of building envelopes and the design and control of HVAC systems**. J. Sol. Energy Eng. 125(3), 343-351.

Carreras, J. Boer, D. Guillén-Gosálbez, G. Cabeza, L. F. Medrano, M. & Jiménez, L. (2015). **Multi-objective optimization of thermal modelled cubicles considering the total cost and life cycle environmental impact**. Energy and Buildings, 88, 335-346.

Chantrelle, F. P. Lahmidi, H. Keilholz, W. El Mankibi, M. & Michel, P. (2011). **Development of a multicriteria tool for optimizing the renovation of buildings.** Applied Energy, 88(4), 1386-1394.

Chou, J. S. & Truong, D. N. (2021). **Multistep energy consumption forecasting by metaheuristic optimization of time-series analysis and machine learning**. International Journal of Energy Research, 45(3), 4581-4612.

D'cruz, N. Radford, D. Gero, S. (1983). **A Pareto optimization problem formulation for building performance and design.** Engineering optimization, 7(1), 17-33.

de Lima Montenegro, J. G. C. Zemero, B. R. de Souza, A. C. D. B. de Lima Tostes, M. E. & Bezerra, U. H. (2021). **Building Information Modeling approach to optimize energy efficiency in educational buildings**. Journal of Building Engineering, 43(2): 45-62.

Djuric, N. Novakovic, V. Holst, J. & Mitrovic, Z. (2007). **Optimization of energy consumption in buildings with hydronic heating systems considering thermal comfort by use of computer-based tools.** Energy and Buildings, 39(4), 471-477.

Fazelpour, F. Bakhshayesh, A. Alimohammadi, R. & Saraei, A. (2022). **An assessment of reducing energy consumption for optimizing building design in various climatic conditions.** International Journal of Energy and Environmental Engineering, 13(1), 319-329.

Flager, F. Welle, B. Bansal, P. Soremekun, G. & Haymaker, J. (2009). **Multidisciplinary process integration and design optimization of a classroom building**. Journal of Information Technology in Construction (ITcon), 14(38), 595-612.

Hamdy, M. Nguyen, A. T. & Hensen, J. L. (2016). **A performance comparison of multi-objective optimization algorithms for solving nearly-zero-energy-building design problems.** Energy and Buildings, 121, 57-71.

Han, X. Pei, J. Liu, J. & Xu, L. (2013). **Multi-objective building energy consumption prediction and optimization for eco-community planning**. Energy and buildings, 66, 22-32.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

Karaguzel, O. T. Zhang, R. & Lam, K. P. (2014, April). **Coupling of whole-building energy simulation and multi-dimensional numerical optimization for minimizing the life cycle costs of office buildings**. In Building simulation (Vol. 7, No. 2, pp. 111-121). Tsinghua University Press.

Karatas, A. & El-Rayes, K. (2015). **Optimizing tradeoffs among housing sustainability objectives.** Automation in construction, 53, 83-94.

Kusiak, A. Xu, G. & Tang, F. (2011). **Optimization of an HVAC system with a strength multi-objective particle-swarm algorithm**. Energy, 36(10), 5935-5943.

Lee, B. & Hensen, J. L. (2013). **Towards zero energy industrial halls–simulation and optimization with integrated design approach**. In Proceedings of the thirteenth international IBPSA conference.

Lei, L. Chen, W. Wu, B. Chen, C. & Liu, W. (2021). **A building energy consumption prediction model based on rough set theory and deep learning algorithms**. Energy and Buildings, 240, 110886.

Li, L. Sun, W. Hu, W. & Sun, Y. (2021). **Impact of natural and social environmental factors on building energy consumption: Based on bibliometrics**. Journal of Building Engineering, 37, 102136.

Liu, S. Zhou, C. Guo, H. Shi, Q. Song, T. E. Schomer, I. & Liu, Y. (2021). **Operational optimization of a building-level integrated energy system considering additional potential benefits of energy storage**. Protection and Control of Modern Power Systems, 6(1), 1-10.

Magnier, L. & Haghighat, F. (2010). **Multiobjective optimization of building design using TRNSYS simulations, genetic algorithm, and Artificial Neural Network**. Building and Environment, 45(3), 739-746.

Naboni, E. Maccarini, A. Korolija, I. & Zhang, Y. (2013, August). **Comparison of conventional, parametric and evolutionary optimization approaches for the architectural design of nearly zero energy buildings.** In Building Simulation 2013 (pp. 2558-2565).

Parvin, K. Lipu, M. H. Hannan, M. A. Abdullah, M. A. Jern, K. P. Begum, R. A. ... & Dong, Z. Y. (2021). **Intelligent controllers and optimization algorithms for building energy management towards achieving sustainable development: challenges and prospects**. IEEE Access, 9, 41577-41602.

Penna, P. Prada, A. Cappelletti, F. & Gasparella, A. (2015). **Multi-objectives optimization of Energy Efficiency Measures in existing buildings**. Energy and Buildings, 95, 57-69.

Ramin, H. Hanafizadeh, P. Ehterami, T. & AkhavanBehabadi, M. A. (2019). **Life cycle-based multi-objective optimization of wall structures in climate of Tehran**. Advances in Building Energy Research, 13(1), 18-31.

Rapone, G. & Saro, O. (2012). **Optimisation of curtain wall façades for office buildings by means of PSO algorithm**. Energy and Buildings, 45, 189-196.

Sajadi,B. Baniassadi, A. (2015). **On the effect of using phase change materials in building energy consumption and CO2 emission in Iran: climatic and parametric study**, Energy Equipment andSystems, 3(2): 73-81.

Salminen, M. Palonen, M. & Sirén, K. (2012, September). **Combined energy simulation and multi-criteria optimisation of a LEED-certified building**. In Proceedings of the building simulation and optimization conference (pp. 372-377). Loughborough University Loughborough.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]

Salminen, M. Palonen, M. & Sirén, K. (2012, September). **Combined energy simulation and multi-criteria optimisation of a LEED-certified building.** In Proceedings of the building simulation and optimization conference (pp. 372-377). Loughborough University Loughborough.

Satrio, P. Mahlia, T. M. I. Giannetti, N. & Saito, K. (2019). **Optimization of HVAC system energy consumption in a building using artificial neural network and multi-objective genetic algorithm**. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 35, 48-57.

Sharif, S. A. & Hammad, A. (2019). **Simulation-based multi-objective optimization of institutional building renovation considering energy consumption, life-cycle cost and life-cycle assessment.** Journal of Building Engineering, 21, 429-445.

Shi, X. (2011). **Design optimization of insulation usage and space conditioning load using energy simulation and genetic algorithm**. Energy, 36(3), 1659-1667.

Shi, X. Tian, Z. Chen, W. Si, B. & Jin, X. (2016). **A review on building energy efficient design optimization rom the perspective of architects**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 65, 872-884.

Somu, N. MR, G. R. & Ramamritham, K. (2021). **A deep learning framework for building energy consumption forecast**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 137(2): 47-66.

Taheri, M. Tahmasebi, F. & Mahdavi, A. (2012). **A case study of optimization-aided thermal building performance simulation calibration**. Optimization, 4(2nd).

Touloupaki, E. & Theodosiou, T. (2017). **Performance simulation integrated in parametric 3D modeling as a method for early-stage design optimization—A review.** Energies, 10(5), 637.

Tresidder, E. Zhang, Y. & Forrester, A. I. (2012). **Acceleration of building design optimisation through the use of kriging surrogate models**. Proceedings of building simulation and optimization, 1-8.

Wang, W. Rivard, H. & Zmeureanu, R. (2006). **Floor shape optimization for green building design.** Advanced Engineering Informatics, 20(4), 363-378.

Wu, M. H. Ng, T. S. & Skitmore, M. R. (2016). **Sustainable building envelope design by considering energy cost and occupant satisfaction**. Energy for sustainable development, 31, 118-129.

Zhan, S. & Chong, A. (2021). **Building occupancy and energy consumption: Case studies across building types.** Energy and Built Environment, 2(2), 167-174.

Znouda, E. Ghrab-Morcos, N. & Hadj-Alouane, A. (2007). **Optimization of Mediterranean building design using genetic algorithms**. Energy and buildings, 39(2), 148-153.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-11-21]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.425]