مستخرج از پایان نامه

فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۶۸، بهار ۱۴۰۳ (۱۵۷- ۱۳۷)

تبیین الگوهای بهینه معماری ساختمان های مسکونی از نقطه نظر انرژی

(مطالعه موردی: منطقه ۱۲ تهران)

زهره عباس زاده [۱]

مسعود حق لسان [۲*]

ma.haghlesan@iau.ac.ir

حسن ابراهیمی اصل [۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۷ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۲۹**

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به افزایش روز افزون قیمت حامل‌های انرژی، میزان مصرف انرژی به یکی از چالش‌های اساسی تبدیل شده است. در این میان ساختمان‌ها مسکونی سهم قابل توجهی در مصرف انرژی دارند. در ایران، بخش ساختمان حدود ۴۰ درصد از کل مصرف انرژی را به خود اختصاص می‌دهد یکی از پرمصرف‌ترین بخش‌های تقاضای انرژی بخش مسکونی است. لذا هدف این پژوهش تبیین الگوهای بهینه معماری ساختمان‌های مسکونی از نقطه نظر انرژی است.

روش بررسی: روش تحقیق حاضر بصورت توصیفی ـ تحلیلی و پیمایشی است. با بررسی نمونه‌های طراحی ساختمان‌های متداول در منطقه ۱۲ تهران و مدل‌سازی آنها به کمک نرم‌افزار "دیزاین‌بیلدر" میزان انرژی مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش ساختمان و تأثیر فاکتورهای مختلف در مصرف انرژی ساختمان محاسبه گردید.

یافته‌ها: نتایج بدست آمده بیانگر این است که با روش‌های ساده طراحی معماری داخلی و خارجی ساختمان‌های مسکونی می‌توان مصرف انرژی در مناطق مورد مطالعه را تا حدود ۴۰ درصد کاهش داد و همچنین با تدوین معیارها و ضوابط معماری برای مناطق مختلف شهر تهران و نیز بکارگیری این ضوابط در طراحی آنها می‌توان به کاهش عمده‌ای در مصرف انرژی ساختمان‌ها و بهره‌وری انرژی دست یافت.

بحث و نتیجه‌گیری: در نتیجه کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها با طراحی معماری سبب می‌شود که این شیوه از بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها، تناسب زیادی با شرایط اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی ساکنین این مناطق داشته باشد.

واژهای کلیدی: ساختمان، انرژی، مصرف بهینه، معماری، منطقه ۱۲ تهران.

۱- پژوهشگر دکتری معماری، گروه معماری، واحد بین‌الملل جلفا، گروه دانشگاه آزاد اسلامی، جلفا، ایران.

۲- استادیار گروه معماری و شهرسازی، واحد ایلخچی، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلخچی، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۳- استادیار گروه معماری، واحد بین‌الملل جلفا، دانشگاه آزاد اسلامی، جلفا، ایران.

Human and Environment, No. 68, Spring 2024

Explaining the Optimal Architectural Patterns of Residential Buildings from the Point of View of Energy
(Case study of Tehran 12th District)

Zohreh Abbas Zadeh [1]
Masoud Haghlesan [2*]
ma.haghlesan@iau.ac.ir
Hassan Ebrahimi Asl [3]

Admission Date:December 20, 2022 Date Received: March 8, 2022

Abstract

Background and Objective: Due to the increasing price of energy carriers, energy consumption has become one of the main challenges. Meanwhile, residential buildings have a significant share in energy consumption. In Iran, the construction sector accounts for about 40% of total energy consumption and is one of the most consumed sectors of energy demand in the residential sector. Therefore, the purpose of this study is to explain the optimal architectural patterns of residential buildings from the point of view of energy.

Material and Methodology: The method of this research is descriptive-analytical and survey. By examining the design examples of common buildings in District 12 of Tehran and modeling them with the help of "Design Builder" software, the amount of energy required for heating and cooling of the building and the effect of various factors on the energy consumption of the building were calculated.

Findings: The results indicate that simple methods of interior and exterior architectural design of residential buildings can reduce energy consumption in the study areas by about 40% and also by developing architectural criteria for different areas of the city. Tehran and the application of these criteria in their design can be achieved a significant reduction in energy consumption of buildings and energy efficiency.

Discussion and Conclusion: As a result of reducing the energy consumption of buildings with architectural design, this method of energy efficiency in buildings is highly compatible with the economic, cultural and social conditions of the residents of these areas. Have high success.

Key words: Building, Energy, Optimal Consumption, Architecture, Zone 12 Tehran.

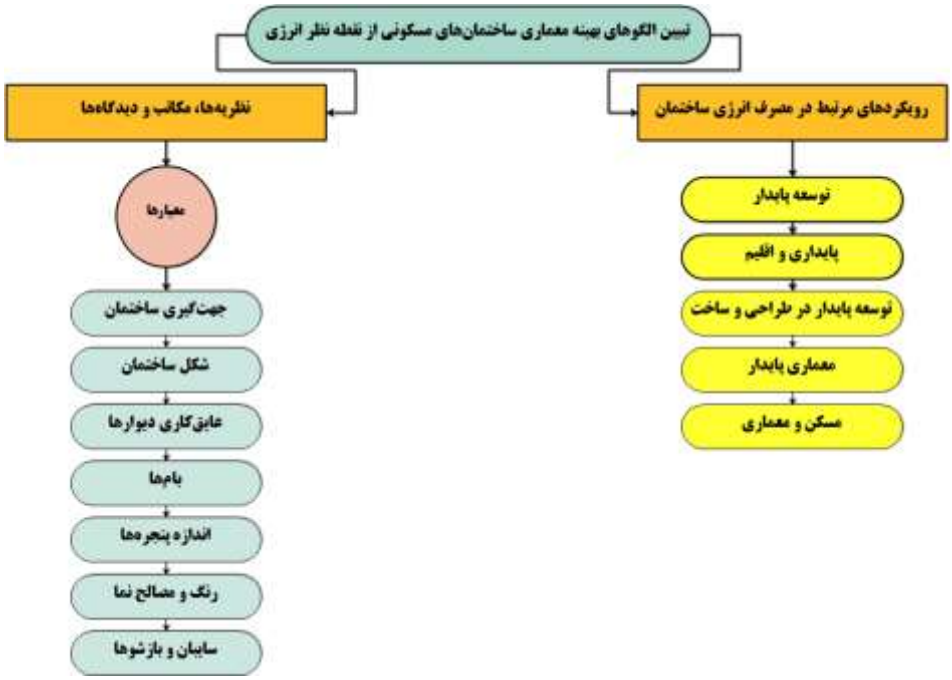
1- PhD Researcher in Architecture, Department of Architecture, Jolfa International Branch, Islamic Azad University, Jolfa, Iran
2- Assistant Professor, Department of Architecture and Urban Planning, Ilkhchi Branch, Islamic Azad University, Ilkhchi, Iran. *(*Correspending Author*)
3- Assistant Professor, Department of Architecture, Jolfa International Branch, Islamic Azad University, Jolfa, Iran.

مقدمه

با توجه به گســـتردگی کشـــور از نظر وجود عوارض طبیعی که موجب بروز شـــرایط آب و هوایی کاملاً متفاوت در نقاط مختلف کشور می‌شود، لزوم پیش‌بینی شکل خاصی از محیط‌های زیست انســـانی و یا فرم معمارانه منطبق بر اقلیم برای هریک از مناطق کشور ضرورتی انکارناپذیر است. باتوجه به ایده‌های معماری و با بهره‌گیری از عوامل طبیعی در بخش عمده‌ای از ســـال ایجاد شـــرایط مناســـب از نظر مصـــرف انرژی و آســـایش انســـانی در ســـاختمان‌های مســـکونی و عمومی مورد مطالعه و بررســـی قرار گرفته است. مصرف انرژی در ساختمان بستگی به ساختار و فرم هندسی و نحوه طراحی اجزای مختلف آن و شرایط اقلیمی دارد. عوامل دیگری همچون نحوه اشغال و استفاده از فضاها، کارکرد تجهیزات و تاســـیســـات و الگوی نگهداری آنها در درجه دوم اهمیت قرار دارند. از طرف دیگر پیشـــرفت‌های فنی، تحولات و تنوع روش‌ها در زمینه ســـاخت و بهره‌برداری از ســـاختمان در زمینه مصرف انرژی حائز اهمیت می‌باشد. بحث مصرف انرژی در ساختمان، از مرحله طراحی ساختمان شروع شده و تا مرحله اســـتفاده و بهره‌برداری از آن ادامه پیدا می‌کند. بنابراین معماری ضمن انطباق با شرایط اقلیمی و استفاده بهینه از انرژی، با ایجاد رابطه معقول بین انســـان، طبیعت در تکامل نهایی خود الگوهای جالبی را به عنوان فضـــای زیســـت ارائه می‌دهد (۱). امروزه بهره‌گیری از راهکارهای فناورانه و طراحی معماری غیرفعال جهت شـــکل‌گیری ســـاختمان‌های مســـکونی بهره‌ور در مصـــرف انرژی توســـعه یافته اســـت. با این حال، کاهش مصـــرف انرژی در ســـاختمان‌ها در حد انتظار به نظر نمی‌رســـد. چرایی بروز این مســـأله، با ماهیت پیچیده رفتار ســـاکنان آنها در مصـــرف انرژی پیوند می‌یابد که عامل مهمی جهت مرتبط ســـاختن خلأ بین میزان مصـــرف انرژی پیش‌بینی شـــده و واقعی در ســـاختمانهای مسکونی است. بحران بزرگی که آینده بشریت را تهدید می‌کند، مساله انرژی و رو به اتمام بودن منابع انرژی های فسیلی و اثرات تخریبی و آلوده کننده محیط زیســـت در اثر اســـتفاده بی‌رویه از این سوخت‌ها می‌باشد (۲). می‌توان دریافت، تا به امروز نظریات و راهبردهای مختلفی پیرامون اقلیم و مصـــرف انرژی همچون دیدگاه نظریات کســـمائی، رازجویان و ماهانی و.. ارائه گردیده اســـت که این نظریات به مرور زمان یکی پس از دیگری در جهت رفع نقاط ضعف نظریات و راهبردهای قبلی خود تلاش نموده‌اند. تمام این مســـائل و مشـــکلات ما را به ســـمتی ســـوق می‌دهد تا از تشدید این آثار مخرب بکاهیم. این امر با کاهش در مصرف انرژی و جایگزین کردن انرژی مصرفی با انرژی‌های پاک و تجدید شونده به ویژه در ساختمان و مسکن که بخش عظیمی از انرژی را مصـــرف می‌کنند، قابل حل خواهد بود و می‌توان با این رویکردها هزینه و مقدار مصـــرف انرژی را به شـــکل چشم‌گیری کاهش داد (۳). ساختمان‌ها تاثیر زیادی بر محیط و مصـــرف انرژی دارند. انرژی که در بخش ســـاختمان به مصـــرف می‌رسد به سرعت در حال افزایش است، زیرا سرعت ساخت و ساز جدید بیشتر از سرعت متروکه شدن ساختمان‌های قدیمی است (۴). باتوجه به نقش حیاتی انرژی در توسعه پایدار، رشد اقتصـــادی و تغییرات آب و هوایی جهان، اهمیت پرداختن به ســـیاســـت‌های بهینه‌ســـازی مصـــرف انرژی روز به روز افزایش می‌یابد. شهرها مصرف کننده عمده (حدود دو سوم) انرژی در جهان هستند و و رشد روز افزون شهرنشینی به افزایش قابل توجه در مصرف انرژی می‌انجامد (۵).

این در حالی است که روند فعلی در زمینه الگوهای کاربری زمین و الگوهای حرکت و جابه‌جایی، منجر به سفرهای بیشتر و طولانی تر می‌شود که بیشتر این سفرها با اتومبیل‌های شخصی صورت می‌گیرد و مصرف بالای انرژی و سطوح بالای انتشار آلاینده‌ها، آلودگی صوتی و آلودگی هوا را موجب می‌گردد. بنابراین برنامه-ریزی در جهت ایجاد شهرها و ساختمان‌هایی که از نظر مصرف انرژی بهینه باشند، یکی از مهمترین اهداف برنامه‌ریزی شهری و طراحی معماری به شمار می‌آید (۶). یکی از جریان‌های اصلی در معماری امروز معماری، بر مبنای شرایط اقلیمی و بوم شناختی است. یکی از اصلی‌ترین بخش‌های که در حوزه‌ی صرفه جویی در مصرف انرژی می‌تواند اهمیت زیادی داشته باشد پوسته‌های خارجی، موقعیت و جهت گیری ساختمان‌ها هستند در این قسمت از تحقیق سعی شد شناخت جامعی نسبت به این

موضوع کسب شود و پژوهش‌های که به طور خاص روی این موضوع در گذشته تاکید دارند شناخته شود و بر روی این موضوع بحث شد که در اقلیم‌های مختلف ایران کدامیک از ساختمان‌ها می‌توانند در ائتلاف حرارت عملکرد بهتری داشته باشند این پژوهش با هدف تبیین الگوهای بهینه معماری ساختمان‌های مسکونی از نقطه نظر انرژی در منطقه ۱۲ تهران به دلایل ضرورت توجه به الگوهای بهینه معماری ساختمان‌های مسکونی از نقطه نظر انرژی، بحران اتمام منابع انرژی، کاهش مصرف و جایگزین‌کردن انرژی‌های پاک و تجدید شونده در بخش مسکن، اصلاح الگوی مصرف، ارتقای شاخص‌های زندگی و کاهش هزینه‌ها و بهینه‌سازی مصرف انرژی و همچنین حذف آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای انجام شده است. در این پژوهش ضمن بررسی تئوری‌ها و شناخت روش‌های موجود به تبیین و تشریح پارامترهایی برای به حداقل رساندن انرژی‌های مورد نیاز در ساختمان‌ها پرداخته می‌شود. این مسأله بخصوص در شهر تهران که دارای بیشترین مصرف انرژی می‌باشند از اهمیت بیشتری برخوردار است. الگوی مصرف هر جامعه‌ای نقش برجسته‌ای در امکان دستیابی آن جامعـه بـه توسعه دارد. بنابراین برای کشوری مانند ایران، که خواهان توسعه است، الگوی مصرف از اهمیت بالایی برخوردار است. الگوی مصرف اگر منطبق بر الگوی تولیـد جامعـه باشـد با توسعه سازگار است و اگر منطبق بر الگوی تولید نباشد وارداتی شمرده شده و به طور معمول به صورت عنصر ضد توسعه عمل می‌کند. در مورد انرژی در ساختمان تحقیقات مختلفی صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به امیری آده پاریز و همکاران (۱۴۰۰) اشاره کرد که به تأثیر عوامل اقلیم خرد با رویکرد بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های شهری تهران پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که نور روز ممکن است خیرگی در فضاهای کاری مانند آشپرخانه در بعضی اوقات روز در سال را به وجود آورد. نیکویی و همکاران (۱۴۰۰) اثر فناوری اطلاعات و ارتباطات بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در کشورهای عضو OECD و سیاست‌های صحیح در راستای مدیریت مصرف انرژی برای دستیابی به امنیت انرژی و مصون ماندن از تبعات ناشی از تغییر قیمت انرژی را بررسی کرده‌اند. اصغری و همکاران (۱۳۹۹) باتوجه به نتایج به دست آمده برای فاکتور نور روز، توزیع شدت روشنایی در میان مدل‌های (در جذب مستقیم) C، (در دیوار ترومب) G، (در گلخانه ای) L با کاهش میزان انرژی مصرفی۱۰، ۴۰ و ۲۰ درصد را بررسی کرده‌اند. اخلاقی و کامران کسمایی (۱۳۹۹) روش‌های صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌های مسکونی سبز از قبیل میزان نور، وضعیت سرمایش و گرما را بررسی کرده‌اند (۷). کریم‌پور و همکاران (۱۳۹۶) به این نتیجه رسیده‌اند که با تحلیل تأثیر آفتاب‌گیرهای داخلی بر مصرف انرژی با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی واحد مسکونی در تهران می‌توان تا ۱۴٪ مصرف انرژی را کاهش داد. آناستازیادو و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه تکنیک‌های یادگیری مکانیکی با تمرکز بر عملکرد انرژی ساختمان‌ها، به بررسی انرژی ساختمان‌ها پرداخته‌اند. کلم و ویز (۲۰۲۲) نیز به تبیین شاخص‌های بهینه‌سازی سیستم‌های انرژی شهری پایدار بر اساس مدل‌سازی سیستم انرژی پرداخته‌اند. هانیف و همکاران (۲۰۲۱) کاربرد تکنیک‌های مدل‌سازی انرژی مقیاس شهری و بهینه‌سازی چند هدفه برای نوسازی انرژی ساختمان در مقیاس ناحیه‌ای در کشور ایتالیا، ابزار مدل‌سازی انرژی مقیاس براساس عملکرد انرژی، اقتصادی و پایداری، در یک منطقه مسکونی ساخته شده در دهه ۱۹۹۰ در بولزانو ایتالیا را مورد مطالعه قرار داده‌اند (۸). فتحی و همکاران (۲۰۲۰) با مطالعه کاربردهای یادگیری مکانیکی در پیش‌بینی عملکرد انرژی ساختمان‌های شهری به این نتیجه رسیده‌اند که تغییرات آب هوایی و توجه به معیارهای ساخت با تغییرات مکانیزم‌های ماشینی جدید می‌توانند به بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها کمک کنند. محمود و همکاران (۲۰۱۹) با مطالعه کاربردهای هوش مصنوعی و داده های بزرگ در ساختمان‌ها به‌منظور بهره‌وری انرژی و محیط زندگی داخلی به این نتیجه رسیده‌اند که هوش مصنوعی هنگامی که با BD ترکیب می‌شود، می‌تواند کارایی انرژی و اثربخشی هزینه ساختمان‌هایی را که برای فراهم کردن محیط زندگی داخلی راحت برای ساکنین طراحی شده‌اند، به طرز فوق‌العاده‌ای افزایش دهد.



شکل ۱- مدل مفهومی تحقیق (ترسیم، نگارندگان)

Figure 1. Research Conceptual Model (drawing, authors)

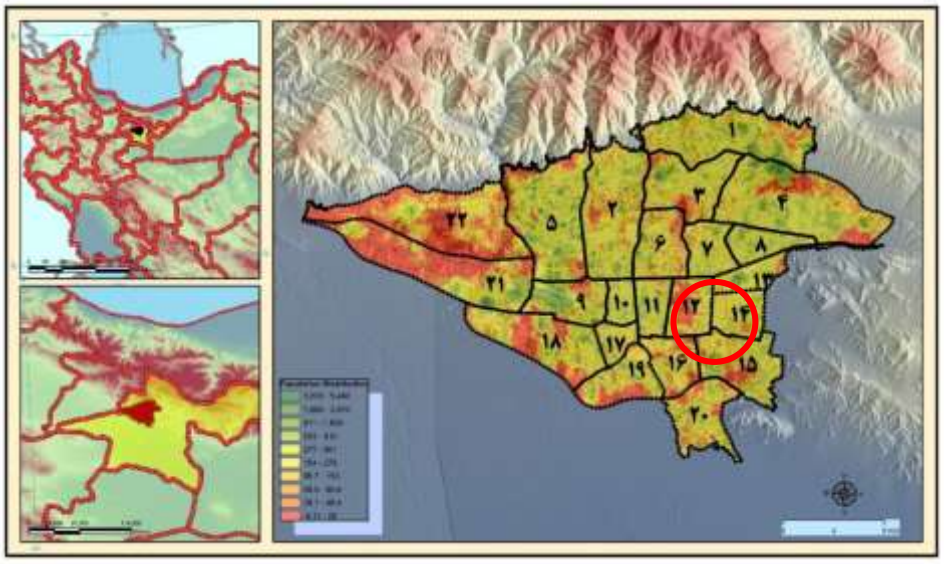
روش بررسی

روش تحقیق حاضر بصورت توصیفی ـ تحلیلی و پیمایشی است. در این میان با توجه به گسترش موضوع به‌طور خاص چگونگی تاثیرگذاری ویژگی‌های کالبدی بنا نظیر بازشوها و جهت‌گیری آنها، جداره‌های خارجی و سایبان‌ها و طراحی داخلی ارزیابی می‌گردد. در راستای تحقیق اهداف مورد نظر در هر مرحله از روند پیشبرد مطالعات روش‌ها و ابزارهای مختلف تحقیق همچون مطالعات کتابخانه‌ای مقایسه تطبیقی نمونه موردی و شبیه‌سازی رایانه‌ای مصرف انرژی به کارگرفته می‌شود. تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز با استفاده از روش‌های آمار توصیفی و استدلال منطقی انجام خواهد گرفت. نرم‌افزار Design Builder، جهت طراحی ساختمان با توجه به کاهش مصرف انرژی و شبیه‌سازی نرم‌افزاری جهت طراحی پوسته خارجی ساختمان با در نظر گرفتن مصالح نما و جداره خارجی ساختمان و ابعاد و جهت پنجرها و سایبان‌ها و.. استفاده می‌شود و از سویی نرم‌افزار جهت بررسی و طراحی ساختمان‌ها با بهره‌وری بالا تحت شرایط آب و هوایی این منطقه از تهران مورد استفاده قرارگرفته است تا با ارائه الگوی بهینه معماری میزان مصرف حامل‌های انرژی را با درنظر گرفتن شرایط آسایش کاربران، کاهش دهد.

منطقه مورد مطالعه

شـهر تهران، از نظر تقسـیمات اداری به ۲۲ منطقـه و ۱۲۳ ناحیـه و ۳۷۵ محلـه تقسـیم می‌شـود منطقه ۱۲ با ۲۴۰,۹۰۹ نفر جمعیت متشکل از ۶ ناحیه و ۱۲ محله؛ بخش اصلی مرکز تاریخی شهر تهران را شامل می‌شود و به دلیل اسـتقرار بخـش‌هـای زیادی از خدمات (مقیاس شهری و فراشهری تهران)، در منطقه و نیـز اختـصاص سـطوح وسـیعی از اراضـی ایـن منطقه به کاربری‌های فرامنطقه‌ای و سطوح بالاتر، منطقه ۱۲ را می‌توان به عنوان مرکز ثقل شـهر، کانون کالبد و بافت تاریخی تهران و در یک کلام نقطه تولد تهـران قلمـداد کـرد (۹). بازار بزرگ تهران در حد فاصل چهار خیابان ۱۵ خرداد، مصطفی خمینی، شوش و خیام، مرکز ثقل و ستون فقرات منطقـه ۱۲ را تشکیل می‌دهد، و امتدادهای منشعب از آن به‌خصوص به سمت جنوب و شمال ـ با پذیرش فعالیت‌هـای اصـلی، استخوانبندی منطقه را تعیین می‌کنند. محورهای خیام جنوبی و صاحب‌جمع با پذیرش فعالیت‌های تجاری ـ تولیـدی بـا مقیاس فرامنطقه‌ای دارای پیوندهای قوی با بازار هستند و بخش جنوبی این استخوان‌بندی را تشکیل می‌دهند و با امتداد از طریق محورهای

شهید رجایی و فدائیان اسلام به بزرگراه آزادگان می‌رسند (۱۰). به دلیل استقرار بخش‌های زیادی از خدمات و نهادهای سیاسی (با مقیاس شهری وفراشهری) و نیز اختصاص سطوح وسیعی از اراضی این منطقه به کاربری‌های فرامنطقه‌ای و سطوح بالاتر، ۹۵ درصد کاربری تجاری منطقه دارای کارکرد فرامنطقه‌ای می‌باشد (۱۱).



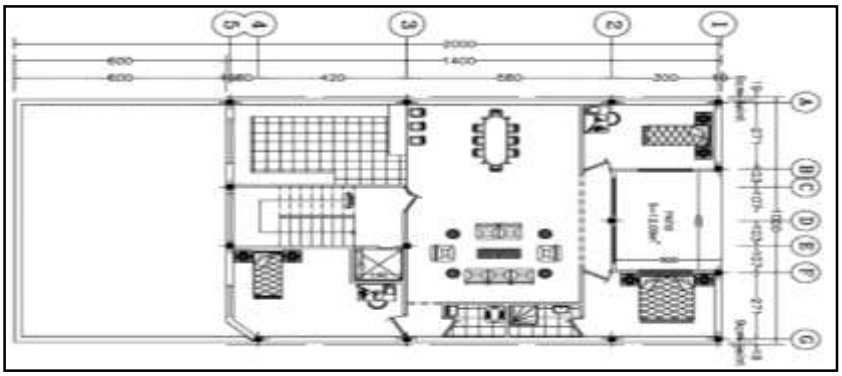
شکل ۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه (ترسیم، نگارندگان)

Figure 2. Study area location (drawing, authors)

جدول ۱-مشخصات ساختمان در ساختمان نمونه منطقه ۱۲

Table 1. Building specifications in the sample building of District 12

مشخصات ساختمان نمونه	توضیحات
مساحت زمین	۲۰۰ مترمربع (۲۰*۱۰)
نوع بنا	ساختمان نوساز آپارتمانی
زیربنای هر طبقه	۱۲۵/۲۰مترمربع
جهت گیری	جنوبی
اسکلت ساختمان	تمام متریال بتنی با نمای سنگ تزئینی ـ بلوک سفالی و شیشه
سیستم سرمایش و گرمایش	دیگ، رادیاتور ، دیگ و چیلر، فن کوئل
تعداد طبقات	۶ طبقه به غیر از زیرزمین (زیرزمین ۱۳۷/۷مترمربع)
تعداد واحد مسکونی	۶ واحد
ارتفاع ساختمان	۲/۸۰ از کف تا زیر سقف و ۳۰ سانتیمتر ضخامت سقف
مساحت دیوارهای خارجی هر طبقه	۱۸ مترمربع
تراکم ساکنین	۲۸/۷مترمربع به ازای هر نفر
نرخ تغییر هوا	۰/۴۱ در ساعت
میزان مصرف کل انرژی ساختمان (kWh/m^2a)	۳۳/۵
ضریب کل هدایت حرارتی دیوارهای خارجی	۰/۴۵ (بام از دال بتنی مسلح)
ضریب کل هدایت حرارتی سقف	۰,۴۰ (دیوارها شامل ۲۵ سانتیمتر بلوک‌سفالی و ۵ سانتیمتر عایق پلی استایون)



شکل ۳- پلان تیپ طبقات ساختمان مسکونی نمونه در منطقه ۱۲ تهران

Figure 3. Floor plan of a sample residential building in district 12 of Tehran

جدول ۲- مقاومت حرارتی سطوح (جسم به هوا) در ساختمان نمونه منطقه ۱۲

Table 2. Thermal resistance of surfaces (body to air) in the sample building of region 12

جزئیات و جهت	ضریب مقاومت حرارتی	
	داخلی	خارجی
دیوارها	٪ ۱۲	٪ ۰۶
سقف و کف	٪ ۱۰	٪ ۰۴
سقف و کف	٪ ۱۵	٪ ۰۴

یافته‌ها

مشخصات پنجره‌ها و ارزیابی کارآمدی انرژی و تعیین نسبت بهینه پنجره‌ها براساس متغیرها

نوع شیشه پنجره، تعداد جداره‌ها و نسبت مساحت پنجره به دیوار، پارامترهای کلیدی در طراحی پنجره ساختمان می‌باشند؛ چراکه می‌توانند بر میزان انتقال نور و جذب حرارت خورشیدی فضای داخلی‌تأثیر بگذارند. برای تعیین نوع پنجره بهینه، چهارنوع پنجره مختلف از میان انواع رایج آنها انتخاب گردید. پنجره ها شامل: پنجره تک جداره معمولی شفاف، پنجره سه جداره معمولی شفاف، پنجره سه جداره کم نشر و پنجره سه جداره انعکاسی می‌باشند. هر چهار نوع پنجره سه جداره دارای ضخامت شش میلیمتر در جداره‌های بیرونی و درونی و ضخامت چهار میلیمتر در جداره میانی هستند و حجم میانی جداره‌ها با هشت میلیمتر گاز آرگون پر شده است. مساحت اولیه پنجره‌ها ۱۲۱ مترمربع (هر طبقه ۲۴/۲ مترمربع) و ارتفاع آنها ۱,۵ متر هر طبقه لحاظ شده است. قاب کلیه پنجره‌ها UPVC می‌باشد. همچنین پنجره‌ها فاقد آفتابگیر هستند و قرارگیری پنجره ها

بدون زاویه نسبت به نمای ساختمان برای شبیه سازی در نظر گرفته شده است.

شکل ۴- نمودار میزان مصرف انرژی کل ساختمان منطقه ۱۲ با نوع و نسبت مختلف مساحت پنجره در تمام

Figure 4. The diagram of the total energy consumption of the building in area 12 with different types and proportions of window area in all

در این بخش میزان مصرف انرژی کل برای چهار نوع پنجره با نسبت‌های مختلف پنجره به دیوار در جهات شمال، جنوب، شرق و غرب به کمک نرم‌افزار، شبیه سازی گردید و میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی پنجره‌های سه‌جداره باهم و با پنجره مرجع (پنجره تک‌جداره شفاف) مقایسه شد تا معیاری برای گزینش نوع و نسبت بهینه پنجره حاصل گردد. در اینجا دو مرحله برای شبیه‌سازی‌ها در راستای نیل به هدف پژوهش در نظر گرفته شد. درمرحله اول نسبت پنجره به دیوار درساختمانهای نمونه در چهار جهت اصلی با درصد یکسان از ۵ تا ۵۵ تغییر یافت. در مرحله دوم متغیر نسبت پنجره بطور جداگانه در هرجهت بررسی شد. بدینگونه که در هرنمونه نسبت متفاوتی از مساحت پنجره در یک جهت‌گیری وجود دارد و سایر دیوارها از نسبت پنجره بهینه بدست آمده در مرحله اول بهره می‌برند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مرحله دوم در جداول زیر نشان داده شده است.

جدول ۳ - نسبت بهینه پنجره بر اساس نوع آن در هر جهت گیری در منطقه ۱۲

Table 3. Optimal ratio of window based on its type in each orientation in region 12

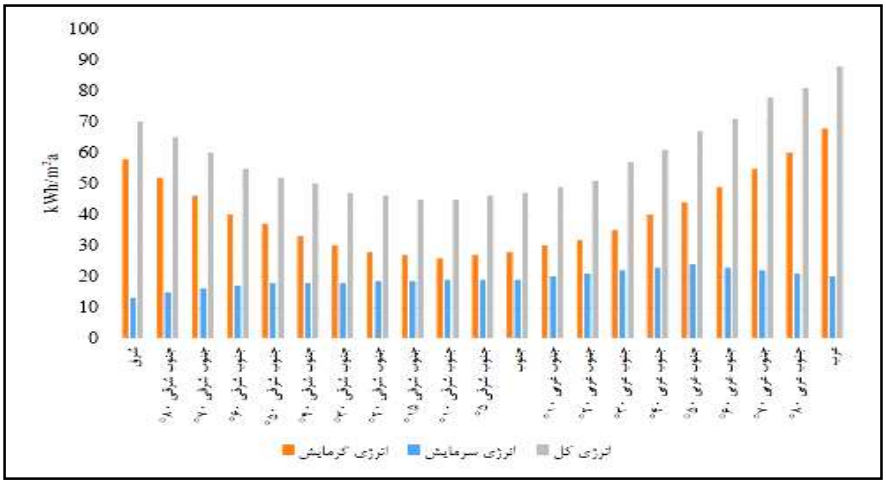
نوع پنجره	نسبت بهینه در هر جهت گیری (درصد)			
	شمال	جنوب	غرب	شرق
تک جداره شفاف	۵	۲۰	۱۰	۱۲
سه جداره شفاف	۵	۲۵	۱۵	۱۵
سه جداره کم نشر	۸	۳۵	۲۵	۲۰
سه جداره انعکاسی	۸	۴۲	۱۰	۱۵

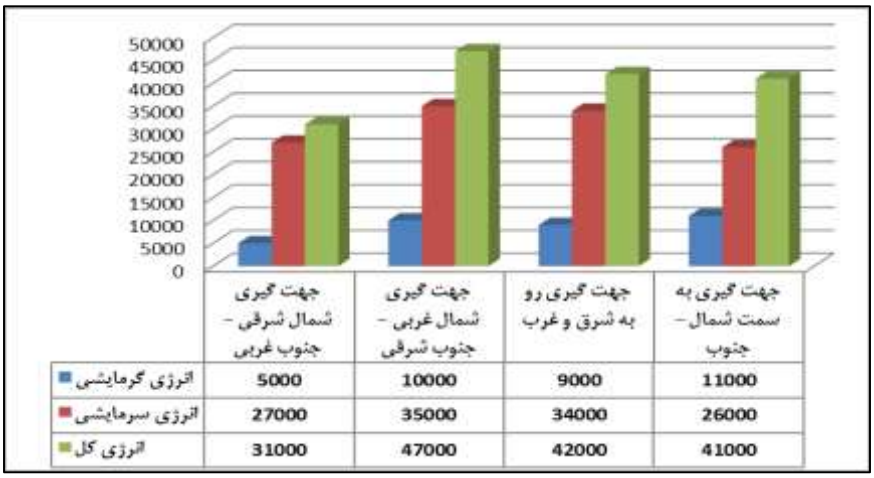
در هر منطقه ۱۲ مورد مطالعه از بین چهار جهت ا صلی، جهت جنوب بیشترین تاثیر را در صرفه جویی انرژی داراست. در میان تمام انواع پنجره و نسبت‌ها نیز پنجره کم نشر با نسبت ۳۵ درصد درجهت جنوبی حداکثر صرفه‌جویی درمصرف انرژی را به دنبال دارد. همچنین حداقل صرفه جویی در مصرف انرژی در جهت شمال و برای پنجره تک‌جداره در نسبت‌های بزرگ به میزان ۲۰ برای منطقه ۱۲ و ۲۵ برای منطقه ۱ می باشد. براساس جدول بالا بهینه کردن نسبت پنجره در تمام جهت‌گیری‌ها، بیشترین تاثیر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی به ترتیب در جهات جنوب، شرق، غرب و شمال صورت

خواهد گرفت. باتوجه به جدول امکان بررسی میزان صرفه‌جویی در انرژی هر جهت‌گیری به طور مجزا نیز وجود دارد. در جهت جنوب حداکثر صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌تواند از دو نسبت پنجره مختلف حاصل شود. یکی پنجره سه جداره کم نشر در نسبت ۳۵ درصد و دیگری پنجره سه جداره شفاف در نسبت ۳۰ درصد در جهت شرق بیشترین میزان صرفه جویی در انرژی۱۶/۳۲ درصد می‌باشد که با استفاده از پنجره کم نشر در نسبت ۲۰ در صد حاصل می شود. خلاصه خروجی نرم‌افزار و شبیه‌سازی ساختمان‌های مورد مطالعه در منطقه ۱۲ نشان داد که نسبت معین و ثابتی برای یک پنجره بهینه در هر جهت‌گیری و در راستای نیازهای گرمایش و سرمایش، باتوجه به این عوامل متفاوت است: اقلیم، ساکنین، مساحت پنجره در دیگر جهت‌گیریها، نوع پنجره (انتقال حرارت شیشه و قاب، نسبت مساحت شیشه به کل پنجره و انتقال انرژی خورشیدی)، نوع و عملکرد آفتابگیرها، جهت‌گیری ساختمان، نسبت مساحت دیوارجنوبی به دیوار شرقی و... . بنابراین فرمول بندی و تدوین قوانینی که بتواند نسبت پنجره بهینه برای هر دیوار را با توجه به اقلیم برای کلیه ساختمانها تعیین نماید، امکان‌پذیر نمی‌باشد.

جهت‌گیری

جهت استقرار ساختمان نقش بسیارمهمی در تامین بخشی از نیازهای حرارتی فضاهای داخلی به طور طبیعی ایفا می‌کند. دراین اقلیم بهتر است ساختمان در جهت دریافت حداکثر انرژی خورشیدی در ماه های سرد و همچنین درجهتی که نمای آن در حوزه بی‌اثر یا نیمه موثر بادهای سرد زمستانی باشد مستقر گردد. از نظر دریافت انرژی در طول سال جهت‌های جنوب تا ۳۰ درجه شرقی مناسب‌ترین و ۱۵درجه غربی نامناسبترین جهت محسوب می شود. بهترین جهت‌گیری برای اکثر سطوح ساختمان، جهتی است که حداکثر تابش خورشید در زمستان و حداقل آن را در تابستان دریافت کند. نمای جنوبی یک ساختمان در زمستان حدوداً ۳ برابر بیشتر از دیگر نماهای ساختمان در معرض تابش خورشیدی است. در تابستان برعکس است، نمای جنوبی کمتر از بام و نمای شرقی و غربی، تشعشعات خورشیدی را دریافت می‌کند. چون در زمستان آفتاب در آسمان پایین است و با زاویه کمتر می‌تابد و تشعشاتی که به نمای جنوبی برخورد می‌کند نزدیک به عمود بر این نما است. در تابستان بیشتر تشعشعات نزدیک به عمود بر بام خانه است. اما به هرحال تقریبا در تمام اقلیم‌ها، حرارت جذب شده در زمستان از طریق جداره‌های شیشه‌ای رو به جنوب بیشتر از افت حرارتی از طریق این جبهه شیشه‌ای است. به کمک نرم افزار و با چرخاندن ساختمان می‌توان تأثیر قرارگیری به سمت جنوب را به دست آورد. گستردگی به سمت شمال ــ جنوب، بهینه‌ترین روش است و اختلاف زیادی بین مصرف انرژی در این جهت با جهات دیگر است. در این بخش ساختمان‌های نمونه منطقه ۱۲ با جهت‌گیری‌های مختلف به منظور یافتن بهترین جهت‌گیری از نقطه نظر نیل به حداقل مصرف انرژی، شبیه‌سازی گردید. این ساختمان‌ها دارای نوع و نسبت بهینه پنجره در جداره‌های جنوبی و شمالی حاصل از مرحله قبل و دارای پرده‌خارجی و بدون‌پنجره در دیگرجهات می‌باشند. دیوار جهت جنوبی این ساختمانها دو برابر طویل‌تر از دیوار جهت شرقی می‌باشد. شرایط اعمال شده فوق بهترین تأثیر را بر مصرف انرژی دارند. جهت‌گیری‌های بررسی شده از شرق تا غرب ادامه دارد و بین هر کدام تا جهت‌گیری بعدی، ۱۱ درجه اختلاف در نظر گرفته شده است.





شکل ۵- نمودار تأثیر جهت‌گیری و میزان مصرف انرژی ساختمان بر میزان انرژی مورد نیاز در جهت‌گیری‌های مختلف

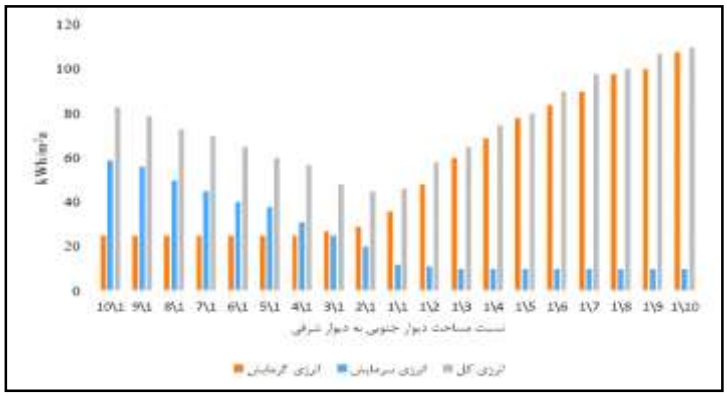
Figure 5. The diagram of the effect of the orientation and the amount of energy consumption of the building on the amount of energy required in different orientations

نتایج شبیه‌سازی منطقه ۱۲ مورد مطالعه نشان می‌دهد که با چرخش ساختمان از شرق به غرب، تقاضای انرژی سرمایش نیز افزایش می‌یابد و بنابراین ساختمان دارای جهت‌گیری شرقی حداقل انرژی سرمایش را در مقایسه با دیگر جهت‌گیری‌ها دارد. البته تفاوت در تقاضاهای انرژی سرمایش کم است و تأثیر آن بر انرژی کل در مقایسه با انرژی گرمایش زیاد نیست. با چرخش ساختمان از جهت جنوب به شرق یا غرب، تقاضای انرژی گرمایش افزایش یافته و بنابراین تقاضای انرژی کل هم افزایش می‌یابد. بر اساس نمودار فوق در هر منطقه ۱۲ جهت‌گیری بهینه برای دستیابی به حداقل تقاضای انرژی کل، یک چرخش ۱۰ تا ۲۳ درجه‌ای از جهت جنوب به سمت شرق (جنوب شرقی) است.

انتخاب جهت قرارگیری، فرم و کشیدگی ساختمان

۱) برای ایجاد بهترین شرایط حرارتی در داخل ساختمان باید نمای اصلی ساختمان رو به جنوب باشد. ۲) اگرچه نماهای جنوب‌شرقی و جنوب‌غربی آفتاب را بطور یکنواخت‌تر دریافت می‌کنند، ولی در تابستان گرم‌تر و در زمستان سردتر از نمای جنوبی می شوند. ۳) دیوارهای شرقی و غربی در تابستان گرم‌تر و در زمستان سردتر از دیوارهای جنوبی، جنوب‌شرقی و جنوب‌غربی می‌شوند. بطورکلی، در مناطق سردسیر و در عرض‌های جغرافیایی زیاد که هوا معمولا سرد ا ست، ساختمان باید در جهتی قرار گیرد که حداکثر انرژی خورشیدی را در طول سال دریافت نماید. سردی هوا باعث فشردگی فرم ساختمان و شدت زیاد تابش آفتاب باعث کشیدگی آن در جهت

محور شرقی ـــ غربی می‌شود. پلان مربع بهترین فرم ساختمان محسوب می شود. زیرا با وجود بیشترین حجم، کمترین سطح خارجی را دارد البته این مسئله در مورد ساختمان‌های قدیمی که معمولاً پنجره های کوچکی دارد و به همین دلیل می‌توان نفوذ بسیارکم آفتاب به داخل آنها را نادیده انگاشت، صدق می‌کند. ولی در مورد ساختمان های امروزی که دارای قسمت‌های شیشه‌خور بزرگی است، این مسئله صادق نیست. یعنی اگر مقدار حرارت انتقال یافته از اضلاع یک ساختمان با اندازه اضلاع آن رابطه معکوس داشته باشد، فرم ساختمان مطلوب خواهد بود. به عبارت ساده‌تر، در یک فرم مطلوب، اضلاعی که بیشتر در معرض تاثیر تابش آفتاب و دمای هوا قرار دارند، کوچکتراند. ساختمان‌هایی که به طور کامل و با دقت عایق‌کاری شده‌اند یا ساختمان‌هایی که نمای جنوبی آنها سایبان دارد، باتوجه به اقلیمشان نیاز بیشتری به تغییر شکل داشته است. برعکس، ساختمانهای که پنجره‌های تقریبا کوچکی دارند یا کاملا در سایه هستند، نیاز کمتری به کشیدگی در طول محور شرقی ـــ غربی دارند. در این بخش از پژوهش، ساختمانهای نمونه (دارای نوع و نسبت بهینه پنجره در جداره‌های جنوبی و شمالی حاصل از مرحله قبل و دارای پرده خارجی و بدون پنجره در دیگر جهات) با نسبت‌های مختلفی از مساحت دیوار جنوبی به مساحت دیوار شرقی شبیه سازی گردید. که این نسبتها طیفی از ۱:۱۰ تا ۱۰:۱ را شامل میشوند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش نسبت مساحت دیوار جنوبی به شرقی، تقاضای انرژی گرمایش کاهش و سرمایش افزایش می‌یابد. در نسبت ۵ به ۱، تقاضای انرژی گرمایش ساختمان به حداقل می‌رسد و در نسبت ۱ به ۷ حداقل تقاضای انرژی سرمایش حاصل می‌گردد. اگر مساحت دیوار جنوبی دو برابر دیوار شرقی باشد تقاضای انرژی کل به حداقل خواهد رسید. مصرف انرژی کل یک ساختمان با مساحت دیوارهای جنوبی و شرقی یکسان، کمی بیشتر از همان ساختمان با مساحت دیوار جنوبی، دو برابر دیوار شرقی می‌باشد، اما این ساختمان نیاز به انرژی سرمایش بسیار کمتری دارند. چون خنک کردن ساختمان سخت‌تر و پرهزینه تر از گرم کردن آن است. نسبت بهینه برای مساحت دیوار جنوبی به دیوار شرقی نسبت ۱ به ۱ (یا ۲ به ۱) است. از سوی دیگر اگر سایتی کشیدگی شرقی ـ غربی داشته باشد، عمق حیاط جنوبی و فاصله مابین ساختمان‌های مجاور درمحور شمالی ـ جنوبی کمتر است و از سمت ساختمان پشتی سایه اندازی صورت می‌گیرد. لذا بطور مؤثری مصرف انرژی گرمایش ساختمان واقع در سایه افزایش می‌یابد.



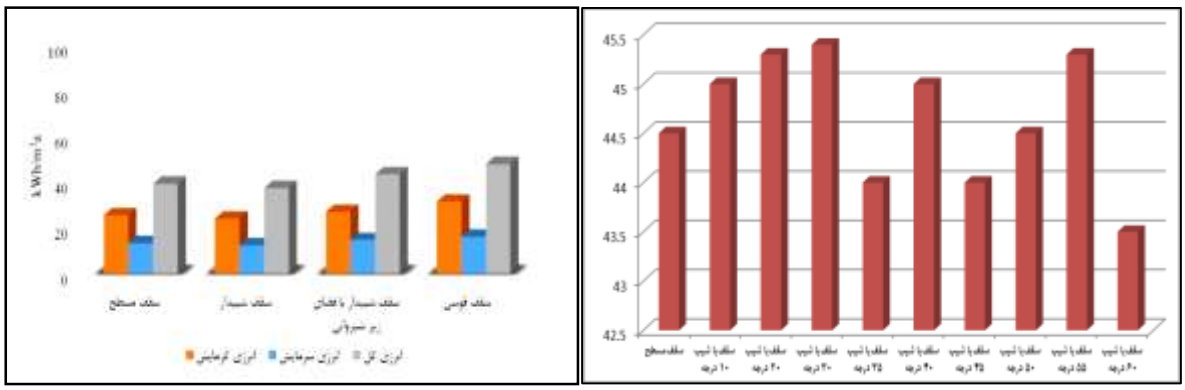
شکل ۶- تغییر میزان مصرف انرژی براساس نسبت‌های مختلفی از مساحت دیوار جنوبی به دیوار شرقی

Figure 6. Change in energy consumption based on different ratios of the area of the south wall to the east wall

شیب، بام و سقف

طراحی سقف و عایق‌کاری آن بر میزان اتلاف انرژی تأثیر می‌گذارد. سقف شیبدار، فضایی ایجاد می‌کند که همانند عایق عمل می‌کند و میزان اتلاف را کاهش می‌دهد. در این بخش به بررسی این موضوع می‌پردازیم که تأثیر کدام فاکتور از همه بیشتر است، سقف تخت عایق کاری شده یا سقف شیبدار بدون عایق. لذا به منظور یافتن بهترین و مناسبترین نوع بام از نقطه نظر کارآمدی

انرژی، برخی ساختمان‌های مشابه با بامهای متفاوت شبیه‌سازی گردید. براساس شبیه‌سازی‌ها، بین بام‌های مسطح، شیبدار و قوسی (فضای زیر بام کاربری مسکونی دارد)، بام مسطح تقاضای انرژی کمتری نسبت به دو نوع بام دیگر دارد. نتایج نشان می‌دهد که اگر از یک بام شیبدار استفاده گردد، تقاضای انرژی در مقایسه با یک بام مسطح کمی کمتر(۲,۶ درصد) می‌گردد. لذا از نظر اقتصادی قابل توجیه نمی‌باشد. به منظور دستیابی به تأثیر نوع ساخت بام شیبدار و تأثیر زاویه شیب بر مصرف انرژی ساختمان نیز ۱۰ ساختمان (از هر منطقه مورد مطالعه ۵ ساختمان) با بام مسطح و شیبدار با زوایای شیب متفاوت (بدون فضای سکونت زیر بام) شبیه‌سازی شده و در نمودارهای زیر با هم مقایسه شدند. شبیه‌سازی‌ها نشان میدهد استفاده از یک بام شیبدار، مصرف انرژی ساختمان را کاهش می‌دهد. ایده‌آل‌ترین زاویه شیب از خط افق، زاویه ۵۰ درجه می‌باشد. اما در این حالت ساختمان تنها۳/۵ درصد تقاضای انرژی کمتری نسبت به ساختمان مشابهِ دارای بام مسطح دارد. بنابراین اگر فضای زیر بام شیبدار به دلایل گرمایش و سرمایش به کار گرفته نشود، بهتر است از نقطه نظر صرفه اقتصادی تنها از بام مسطح استفاده گردد.



شکل ۷- نمودار میزان مصرف انرژی ساختمان‌های مشابه با بام‌های مختلف و بام شیبدار دارای زوایای شیب مختلف

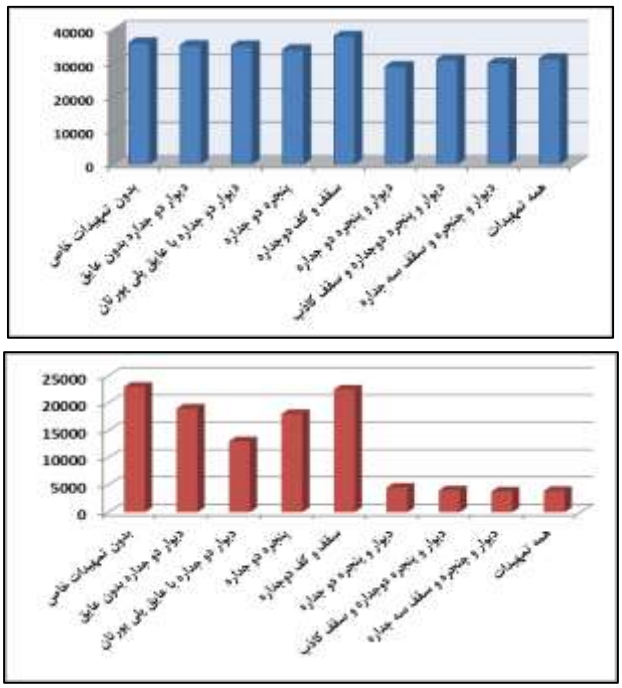
Figure 7. Energy consumption diagram of similar buildings with different roofs and sloping roofs with different slope angles

بررسی تأثیر مصالح بر انرژی مورد نیاز گرمایشی و سرمایشی

جداره‌های خارجی ساختمان به دلیل تماس مستقیم با هوای خارج مهمترین راه تبادل حرارتی ساختمان با بیرون است و تاثیر مستقیمی بر میزان مصرف انرژی ساختمان دارد. جداره‌های ساختمان تحت تاثیر سه عامل مهم اقلیمی؛ باد، رطوبت و تابش قرار دارند. رفتار جداره ها در مقابل هر یک از این پدیده های جوی بر شرایط آسایش داخل ساختمان تاثیر می گذارد. در این بخش به بررسی مصالح مناسب جداره ها در برابر این عوامل پرداخته شده است. برای تخمین تأثیر طراحی معماری و مصالح مورد استفاده در ساختمان بر میزان نیاز به انرژی گرمایشی و سرمایشی، میزان انرژی گرمایشی و سرمایشی مورد نیاز از طریق مدل سازی در نرم افزار دیزاین‌بیلدر بر روی ساختمان‌های مورد مطالعه محاسبه گردید. در نمونه‌های مورد بررسی، دیوارها تک جداره از جنس آجر با نمای آجری ۱۰ سانتیمتر و پنجره ها تک جداره انتخاب شده و در دیتیل دیوارها و سقف و کف از مصالح عایق حرارتی استفاده نشده است و پنجره ها حدود ۲۰ الی ۲۵ درصد سطح نما را تشکیل داده اند. در جدول مربوطه نیز مصالح و دیتیل‌های مورد استفاده به تفکیک آمده‌اند. سیستم تأسیساتی ساختمان فن‌کوئل در نظرگرفته شده است. بعد از محاسبه میزان نیاز به انرژی سالانه، در قدم بعد، با یک طراحی جدید و تغییر دیتیل دیوار، سقف، کف و پنجره، تأثیر فاکتورهای مختلف چون دیوار دو جداره با فاصله ۱۰ سانتیمتر هوا، دیوار دو جداره با عایق پلی یوتان بین جداره ها، پنجره دو جداره، پنجره دو جداره لوولای ۳، کف کاذب، سقف مجوف استفاده از لایه عایق حرارتی در سقف و... اضافه گردید و تأثیر تک تک فاکتورها بر میزان نیاز به انرژی ساختمان محاسبه گردید. در جدول زیر دیتیل مصالح استفاده شده در طراحی جدید آمده است. در نهایت تأثیر کل تمهیدات در کنار هم محاسبه گردید. چنانچه از خروجی نرم‌افزار

مشخص است به ترتیب بیشترین تأثیر مربوط به استفاده از پنجره لوولای میباشد. تأثیر فاکتورهای دیگر بر مصرف انرژی سرمایشی بسیار کم بوده است. اما استفاده از سقف و کف کاذب، نه تنها نتوانسته مصرف انرژی سرمایشی را کاهش دهد، که باعث بالا رفتن مصرف انرژی سرمایشی شده است. باتوجه به اینکه استفاده از سقف و کف عایق‌کاری شده مصرف انرژی سرمایشی را بالا برده است، سه حالت زیر بررسی شده تا حالت بهینه برای کاهش انرژی کل به دست آید: الف) دیوار و پنجره دوجداره عایق کاری شده بدون عایق‌کاری سقف و کف.

ب) دیوار و پنجره و سقف عایق کاری شده بدون عایق‌کاری سقف. ج) دیوار و پنجره و سقف عایق کاری شده بدون عایق‌کاری کف. تأثیر این سه حالت نیز در نمودار ۸ نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است، میزان انرژی گرمایی مورد نیاز وقتی که تمام تمهیدات بکار می‌رود از همه کمتر است. این میزان، اختلاف اندکی با حالت سوم دارد. این نمودارها همچنین نشان می دهند که عدم عایق کاری سقف و کف بیشترین کاهش را داشته، دلیل این امر نیز مشخص است.

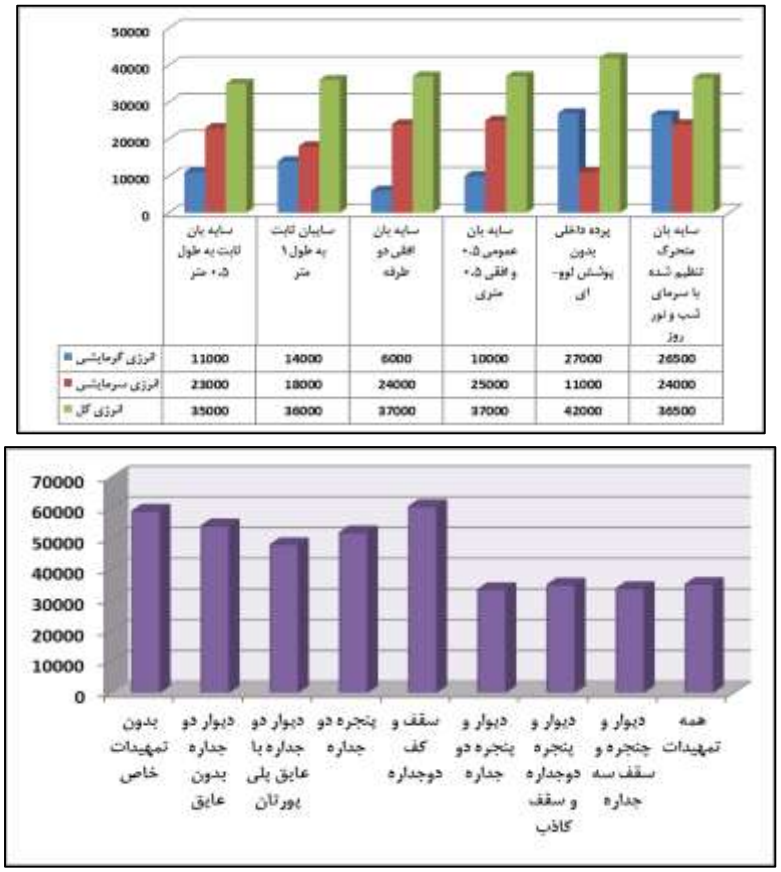


شکل ۸- نمودار میزان انرژی گرمایشی مورد نیاز برای فاکتورهای مختلف (برحسب کیلووات ساعت)

Figure 8. Diagram of the amount of heating energy required for different factors (in kilowatt hours)

چراکه گرمایی که از سقف و کف اتلاف می‌شود، میزان نیاز به انرژی سرمایشی را کاهش می‌دهد. همچنین استفاده از دیوار و پنجره دو جداره همراه با عایق کاری سقف هم توانسته نیاز به سرمایش را تا حد مناسبی کاهش دهد. با توجه به اینکه حالت بهینه زمانی اتفاق می‌افتد که هم انرژی سرمایشی و هم گرمایشی مورد نیاز کاهش یابد به بررسی انرژی کل مورد نیاز مجموعه می‌پردازیم. در شکل ۹ میزان کل انرژی مورد نیاز مجموعه نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است، استفاده صرف از سقف و کف کاذب بر مصرف انرژی کل تأثیر چندانی ندارد. استفاده از دیوار و پنجره دوجداره بدون پوشش هم تأثیر اندکی بر کاهش انرژی کل دارد. اما زمانیکه از مصالح عایق کاری دردیوار دوجداره استفاده می‌شود و یا از پوشش لوولای در پنجره استفاده می‌شود، میزان انرژی کل کاهش می-یابد. استفاده از دیوار دو جداره عایق شده و پنجره لوولای، میزان انرژی کل را به خوبی کاهش داده است. در حالیکه استفاده این دو به همراه کف کاذب باعث بالا رفتن انرژی کل شده است. دلیل این امر افزایش انرژی سرمایشی مورد نیاز است. بهینه‌ترین حالت، استفاده از دیوار، پنجره و سقف عایق‌کاری شده، بدون

عایق کاری کف می‌باشد. در این حالت متوسط انرژی مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش کاهش می‌یابد در حالی که استفاده کل تمهیدات در کنار هم، انرژی کل مورد نیاز را افزایش داده است.



شکل ۹- نمودار مجموع انرژی کل مورد نیاز ساختمان و تأثیر سایه‌بان‌های مختلف بر میزان انرژی سالانه

Figure 9. The diagram of the total energy requirement of the building and the effect of different shades on the annual energy amount

تأثیر استفاده از سایه‌بان‌های مختلف

با اضافه کردن سایه بان‌های مختلف تأثیر آنها بر کاهش مصرف انرژی بررسی شد. شبیه سازی ساختمانهای نمونه نشان می‌دهد که بیشترین تأثیر بر انرژی گرمایی مربوط به سایه‌بان متحرک می‌باشد که براساس سرمای شب و نور روز کنترل می‌گردد. در حالیکه این عامل باعث بالاتر رفتن انرژی سرمایشی شده است. از طرفی بیشترین تأثیر در کاهش انرژی سرمایشی مربوط به پرده داخلی می‌باشد. اما این عامل کمترین تأثیر در کاهش انرژی گرمایی داشته است. همانگونه که گفته شد بهینه‌ترین حالت زمانی است که انرژی کل کاهش یابد. عاملی که توانسته انرژی کل را کاهش دهد، استفاده از سایه‌بان ثابت با پیش آمدگی ۰٫۵ متر در منطقه ۱۲ است. از این‌رو متوجه می‌شویم که استفاده از سایه‌بان افقی در کنار سایه‌بان عمودی تأثیری در کاهش انرژی گرمایشی نداشته است.

شبیه‌سازی و تحلیل تأثیر طراحی معماری بر میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی منطقه ۱۲ شهر تهران

به منظور شبیه‌سازی و تحلیل تأثیر طراحی معماری و دیگر عوامل بر میزان تقاضای انرژی ساختمان‌های مسکونی و باتوجه به گستردگی این مناطق، از هر منطقه یک ساختمان نمونه از میان ساختمانهای مسکونی متعارف در این شهر انتخاب گردید. که مشخصات ساختمانها در ابتدای فصل بیان شد. در ادامه برخی از مولفه‌های طراحی شامل جهت‌گیری ساختمان، نوع

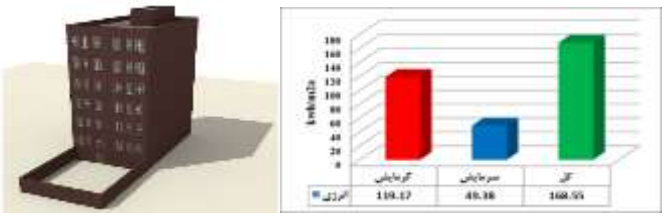
پنجره‌ها، شکل و ارتفاع ساختمان، بام و مصالح ساختمان و سایبان و بازشوهاو ... به عنوان متغیرهای مستقل تغییر و از طریق شبیه‌سازی آنها، میزان متغیر وابسته (میزان مصرف انرژی) که دارای یک مقدار عددی است، محاسبه گردید. سپس از طریق مقایسه تقاضای انرژی ساختمانها تحت شرایط یکسان، عوامل طراحی که بر تقاضای انرژی این نمونه‌ها تأثیر می‌گذارد، مشخص گردید. در همه شبیه‌سازیها و محاسبات شرایط زیر ثابت و بدون تغییر باقی مانده است: ۱) شرایط اقلیمی و یکسان مناطق مورد مطالعه. ۲) دریافت حرارت داخلی یکسان از لوازم خانگی، روشنایی و ساکنین. ۳) در همه ساختمانها در دو جهت شرقی و غربی، همسایه مجاور قرار دارد. ۴) ساختمانهای شبیه-سازی شده مطابق با اصول فرهنگی و ضوابط طراحی معماری در ایران می‌باشند. ۵) همه ساختمانهای شبیه‌سازی شده جنوبی می باشند. اغلب ساختمانهای مسکونی فعلی در شهر تهران به طور عام و مناطق مورد مطالعه به طور خاص ردیفی هستند و همسایه مجاور دارند. همسایه های مجاور هم می‌توانند در دو حالت کنترل شده یا کنترل نشده در نظر گرفته شوند. (در شبیه-سازی‌های این پژوهش، در حالت کنترل‌نشده شبیه‌سازی صورت گرفته است). میزان اتلاف حرارتی از طریق پوشش حرارتی یک فضای کنترل نشده مجاور، حدود نصف دیگر اجزای پوشش حرارتی می باشد. بنابراین در محاسبات این پژوهش، ضخامت عایق عناصر مشترک با همسایه مجاور (دیوارهای خارجی کنترل نشده، راه پله و ...) نصف ضخامت عایق دیگر اجزای شبیه‌سازی می‌باشد.

شبیه‌سازی ساختمانها با مولفه‌های مختلف معماری

به منظور ارزیابی تأثیر طراحی معماری بر مصرف انرژی ساختمانها در تهران، تعدادی ساختمان مسکونی، در شرایط اقلیمی تهران شبیه‌سازی گردید و تقاضای انرژی گرمایش و سرمایش و همینطور کل آنها از طریق مدلسازی انرژی به دست آمد. سپس سایر ساختمانها تحت شرایط مشابه و تنها با تفاوت در شاخصه‌های طراحی معماری، شبیه‌سازی گردیدند. در همه نمونه‌ها، هر ساختمان معمولاً در یک عامل با ساختمان قبلی تفاوت دارد و از هر نظر دیگر با آن مشابه است. در نهایت تغییر در تقاضای انرژی تنها توسط تغییر در شاخصه‌های طراحی معماری مورد بررسی قرار گرفت. در این بخش از پژوهش تقاضای انرژی گرمایش و سرمایش ساختمان هر دو محاسبه شده و نتایج حاصل از آن راهکارهای مناسبی در جهت کاهش مصرف انرژی سرمایش و گرمایش به دست داد. لازم به ذکر است در اغلب پژوهش‌ها صرفاً مصرف انرژی کل مورد مطالعه قرار گرفته است ولی پژوهش حاضر جداگانه به تحلیل مصرف انرژی سرمایش و گرمایش پرداخته است. جدول زیر به معرفی نمونه-های ساختمانی، شاخصه‌های طراحی معماری و تقاضای انرژی گرمایش، سرمایش وکل آنها می‌پردازد.

جدول ۵- میزان تقاضای انرژی گرمایش و سرمایش و کل در ساختمان نمونه منطقه ۱۲ تهران براساس مولفه‌های طراحی معماری

Table 5. The amount of heating and cooling energy demand and the total in the example building of district 12 of Tehran based on architectural design components

ردیف	انرژی (kwh/m2a)			نمودار مصرف انرژی
	گرمایش	سرمایش	کل	
۱	۱۱۹,۱۷	۴۹,۳۸	۱۶۸,۵۵	
	مشخصات ساختمان: ساختمان بدون عایق و دارای پنجره تک جداره و پرده داخلی			

۲	گرمایش	سرمایش	کل	
	۴۷,۰۱	۲۱,۳۹	۶۸,۴	
	مشخصات ساختمان: ساختمان عایق دیوار و سقف			
۳	گرمایش	سرمایش	کل	
	۳۱,۴۰	۱۶,۳۸	۴۷,۷۸	
	مشخصات ساختمان: ساختمان عایق دیوار و سقف و پنجره عایق (سه جداره و آفتابگیر خارجی			
۴	گرمایش	سرمایش	کل	
	۳۱,۰۰	۲۹,۱۲	۶۰,۱۲	
	مشخصات ساختمان: کشیدگی بیشتر با بازشوهای شرقی، پرده داخلی و عایق دیوار			
۵	گرمایش	سرمایش	کل	
	۱۹,۹۷	۲۶,۰۸	۴۶,۰۵	
	مشخصات ساختمان: کشیدگی بیشتر با بازشو غربی، پرده داخلی و آفتابگیر خارجی			
۶	گرمایش	سرمایش	کل	
	۲۵,۱۳	۲۴,۹۴	۵۰,۰۷	
	مشخصات ساختمان: کشیدگی بیشتر با بازشو شمالی، پرده داخلی و آفتابگیر خارجی			
۷	گرمایش	سرمایش	کل	
	۲۱,۲۹	۴۰,۷۷	۶۲,۰۶	
	مشخصات ساختمان: کشیدگی بیشتر با بازشو سقفی، پرده داخلی، سقف شیبدار و آفتابگیر خارجی . با سایبان			

۸	گرمایش	سرمایش	کل
	۲۰,۶۱	۴۶,۸۸	۶۷,۴۹
	مشخصات ساختمان: کشیدگی بیشتر با بازشو سقفی، پرده داخلی، سقف شیبدار و آفتابگیر خارجی. بدون سایبان		
۹	گرمایش	سرمایش	کل
	۱۶,۶۹	۲۷,۳۶	۴۴,۰۵
	مشخصات ساختمان: کشیدگی بیشتر با بازشو سقفی، بدون داخلی، سقف شیبدار و یک متر سایبان		
۱۰	گرمایش	سرمایش	کل
	۲۱,۰۹	۳۶,۵۷	۵۷,۶۶
	مشخصات ساختمان: ساختمان کشیده، پنجره بزرگ جنوبی، پرده داخلی، نما سنگی، پرده داخلی		
۱۱	گرمایش	سرمایش	کل
	۱۵,۹۴	۳۱,۸۵	۴۷,۷۹
	مشخصات ساختمان: کشیدگی بیشتر، سقف شیبدار ، بازشو سقفی، نما کامپوزیت، پنجره بزرگ تک جداره و پرده داخلی، آفتابگیر خارجی،		
۱۲	گرمایش	سرمایش	کل
	۱۴,۲۳	۲۹,۱۱	۴۳,۳۴
	مشخصات ساختمان: کشیدگی بیشتر، سقف مسطح ، بازشو سقفی، نما آجری، پنجره بزرگ دو جداره و پرده داخلی، آفتابگیر خارجی،		

بحث و نتیجه‌گیری

تمامی شاخص‌ها و متغییرهای مورد استفاده در این تحقیق عواملی بودند که متناسب با شرایط اقتصادی کشور و شهر تهران راهکارهایی ارزان و ساده برای اجرا می‌باشند. شبیه‌سازی نمونه-های موردی نشان داد، که با روش‌های ساده عایق‌بندی و طراحی معماری می‌توان مصرف انرژی را در این مناطق و حتی شهر تهران تا حدود ۴۰ درصد کاهش داد و با تدوین معیارها و ضوابط معماری برای مناطق مختلف اقلیمی ایران و نیز بکارگیری این ضوابط در طراحی آنها می‌توان به کاهش عمده‌ای در مصرف انرژی ساختمان‌ها و بهره‌وری انرژی دست یافت. کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها با طراحی معماری باعث می‌گردد که این شیوه از بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها، تناسب زیادی با شرایط اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی کشور داشته و در اجرا از موفقیت بالایی برخوردار باشد. به واسطه اثر زیاد طراحی معماری بر میزان مصرف انرژی ساختمانها، یافتن عوامل معماری کاهش دهنده مصرف انرژی و بکارگیری آنها در طراحی ساختمان ها، باعث کاهش قابل توجه مصرف انرژی ساختمان‌ها می گردد. از طرفی بخش اعظمی از مشکلات زیست محیطی در دنیای امروز مربوط به مصرف بیش از اندازه سوختهای فسیلی بویژه در صنعت ساختمان می‌باشد، لذا بی‌توجهی به چگونگی و میزان مصرف و اتلاف انرژی در ساختمان‌ها، خسارت‌های جبران‌ناپذیری را به دنبال خواهد داشت. بهینه سازی مصرف انرژی از طریق کنترل فرآیند طراحی و تبیین الگوهای بهینه معماری ساختمانها، از آن جهت مهم است که این روش‌ها به هیچ‌گونه انرژی جز اندیشه انسانی نیازی نخواهند داشت. مروری بر نتایج بدست آمده در مراحل گوناگون این پژوهش و مقایسه تطبیقی آنها بیانگر آنست که ضمن انجام فرآیند طراحی یک ساختمان، به کمک شبیه سازی و انجام محاسبات توسط نرم افزار، می‌توان خصوصیات فیزیکی آن را به معیارهایی قابل اندازه‌گیری تبدیل و مقدار انرژی مصرفی را هر مرحله بررسی نمود. نتایج این پژوهش با نتایج اصغری و همکاران (۱۳۹۹)، امیری آده و همکاران، (۱۴۰۱)، آناستازیادو و همکاران، (۲۰۲۲)، کلم و ویز، (۲۰۲۲)، از نظر راهکارهای بهینه سازی انرژی مشابه بوده اند. بدین ترتیب ضمن پیش‌بینی و بررسی فاکتورهای اثر گذار بر مصرف انرژی، میزان مصرف نهایی کنترل شده و امکان انتخاب گزینه بهینه را از میان آلترناتیو های ممکن وجود خواهد داشت. لذا شبیه‌سازی ساختمانها در منطقه ۱۲ تهران و تحلیل نرخ مصرف انرژی‌های گرمایش، سرمایش و کل، نتایج زیر را به همراه داشت:

با عایق بندی پنجره‌ها (استفاده از پنجره‌های دو و سه جداره) و به ویژه با بکارگیری عایق حرارتی در جداره‌ها (دیوار، بام، کف) بطور مؤثری می‌توان مصرف انرژی را ۳۰ تا ۴۰ درصد کاهش داد. با افزایش تعداد کف‌های یک ساختمان (تعداد طبقات)، میزان مصرف انرژی کاهش می‌یابد.

جهت‌گیری، فرم و کشیدگی ساختمان، نوع نمای ساختمان، نسبت مساحت پنجره در هر جهت و... بر مصرف انرژی تأثیر زیادی دارند. از میان چهار جهت اصلی، جهت جنوبی مناسب-ترین جهت‌گیری برای ساختمان‌های این مناطق و شهر تهران است. با افزایش نسبت پنجرهای جهت جنوبی، میزان انرژی سرمایش افزایش و انرژی گرمایش و کل کاهش می‌یابد. مناطق حائل حرارتی در محل بازشوهای خارجی، میزان مصرف انرژی را کاهش می‌دهد. مکانیابی ساختمان بر روی سطح زمین و قرار دادن بخشی از آن در زیر زمین مصرف انرژی را کاهش می‌دهد. استفاده از بام شیبدار در منطقه ۱۲ بجای بام مسطح مصرف انرژی را تا حدی کاهش می‌دهد (گرچه به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست). اما در منطقه ۱ استفاده از بام مسطح معقول‌تر و با صرفه‌تر می‌باشد. براساس مدلهای شبیه‌سازی، ساختمانی اگر دارای نورگیرهای سقفی و پرده‌های داخلی بر روی بام شیبدار که دارای اتاق زیر شیروانی غیرمسکونی است، باشد، تقاضای انرژی گرمایش و سرمایش بیشتری نسبت به ساختمان بدون نورگیر سقفی دارد. بنابراین نورگیرهای سقفی مصرف انرژی را افزایش می‌دهد. مقایسه ساختمانهای با و بدون اتاق زیرشیروانی مسکونی و دارای نورگیر سقفی بزرگ بدون آفتابگیر در بام نشان می‌دهد که نورگیرهای سقفی بزرگ بدون آفتابگیر در بامهای شیبدار که دارای اتاقهای زیرشیروانی مسکونی است، انرژی گرمایش را کاهش می‌دهد. اما میزان انرژی سرمایش بسیار بیشتر افزایش می‌یابد و در نتیجه میزان مصرف انرژی کل هم افزایش می‌یابد. پرده‌های خارجی (که بر حسب نیاز انرژی

سرمایش و گرمایش قابل تنظیم است)، مصرف انرژی گرمایش و سرمایش ساختمان را کاهش می‌دهند. پرده‌های خارجی کنترل شده، انرژی سرمایش را کاهش می‌دهد زیرا جذب حرارت خورشیدی را در فصول گرم کم کرده و در عین حال میزان انرژی گرمایش را در زمستان تقلیل می‌دهند. علت این امر این است که پرده‌های بسته در طی شب‌های زمستان از تابش گرما (انرژی با طول موج بالا) به فضای بیرون ممانعت می‌کنند. استفاده از پرده‌های خارجی بسته (یا پرده‌های غیرقابل تنظیم) انرژی سرمایش را کاهش و میزان انرژی گرمایشی و کل را افزایش می‌دهند. همچنین آفتابگیرهای خارجی در کاهش انرژی سرمایش بسیار مؤثرتر از آفتابگیرهای داخلی عمل می‌کنند. کنترل کردن پرده‌های خارجی بر حسب نیازهای سرمایش و گرمایش فضا، بطور مؤثری مصرف انرژی خصوصاً گرمایش را کاهش می‌دهد. باز و بسته کردن پرده در طی روز و شب و فصول مختلف، در کاهش مصرف انرژی ساختمان نقش عمدهای را ایفا می‌کند. با بکارگیری باله‌های کناری روی پنجره‌های جنوبی و در صورت وجود پرده خارجی، میزان مصرف انرژی افزایش می‌یابد. استفاده از تاق‌نمای یک متری در جهت جنوبی به همراه پرده خارجی روی پنجره، انرژی سرمایش را کاهش و انرژی گرمایش را افزایش می‌دهد. از آنجا که تأمین سرمایش سخت‌تر و پر هزینه‌تر است، لذا استفاده از تاق‌نما در پنجره‌های جنوبی (حتی با وجود پرده خارجی) مفید خواهد بود. به منظور دستیابی به مطلوبترین میزان کاهش مصرف انرژی، ابعاد بهینه تاق‌نما باید با توجه به ابعاد پنجره موجود محاسبه گردد. با استفاده از بازشوهایی در جهات شمال، شرق و غرب در ساختمانهایی که نسبت مساحت پنجره جنوبی آنها زیاد است، و پرده‌های خارجی با انعکاس بالا روی پنجره‌های آنها به کار گرفته شده است، مصرف انرژی افزایش می‌یابد. ساختمانهای دارای عایق مصرف انرژی گرمایش کمتری دارند، و مصرف انرژی سرمایش با استفاده از عایق نسبت به میزان انرژی گرمایشی، تغییر کمتری را نشان می‌دهد. با طراحی یک ساختمان مسکونی پاسخگو به اقلیم در پهنه اقلیمی گرم و خشک ایران، فقط میزان انرژی گرمایش بطور مؤثری کاهش خواهد یافت. یک ساختمان بدون عایق حرارتی در این مناطق سالانه حدود ۲,۵ برابر مصرف انرژی گرمایش بیشتری نسبت به سرمایش دارد، اما در ساختمان طراحی شده پاسخگو به اقلیم، میزان مصرف انرژی گرمایش کمی بیش از سرمایش است. عایق‌بندی ساختمان تقاضای انرژی سرمایش را ۴۹ درصد و تقاضای انرژی گرمایش را حدود۷۰ درصد کاهش می‌دهد و البته میزان کاهش به نوع ساختمان بستگی دارد. ساختمانهای پاسخگو به اقلیم در پهنه اقلیمی گرم و خشک ایران، تقاضای انرژی گرمایش و کل کمتری دارند اما در تقاضای انرژی سرمایش آنها تغییری بزرگی به چشم نمی-خورد. زیرا جذب حرارت خارجی در تابستان در این ساختمانها زیاد است و مسئله سرمایش حائز اهمیت می‌باشد. لذا کاهش میزان مصرف انرژی کل در این ساختمان ها صرفاً از طریق کاهش میزان مصرف انرژی گرمایشی حاصل می‌گردد. جذب و اتلاف حرارت در ساختمان‌های با و بدون عایق حرارتی، نسبت به هم تفاوت داشته و شیشه‌ها، دیوارها، کف‌های خارجی در این میان بیشترین تأثیر را دارند. در ساختمان های بدون عایق نیز بیشترین اتلاف از جانب شیشه‌ها، دیوارها و نفوذ خارجی بوده است که باید توجه شود. تأثیر شیشه خارجی و آفتابگیرها در جذب و اتلاف حرارت بسیار زیاد است و در طراحی ساختمان-های انرژی کارآمد باید به آنها توجه گردد. همچنین در ساختمانهای دارای عایق، نفوذ خارجی باعث اتلاف حرارت زیادی می‌گردد. لذا پوشش حرارتی ساختمان باید نفوذناپذیر باشد.

References

1. Anastasiadou, M., Santos, V., & Dias, M. S. (2021). Machine Learning Techniques Focusing on the Energy Performance of Buildings: A Dimensions and Methods Analysis. Buildings, 12(1), 28.
2. Grillone, B., Danov, S., Sumper, A., Cipriano, J., & Mor, G. (2020). A review of deterministic and data-driven methods to quantify energy efficiency savings and to predict retrofitting scenarios in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 131, 110027.

3. Gangolells, M., Casals, M., Ferré-Bigorra, J., Forcada, N., Macarulla, M., Gaspar, K., & Tejedor, B. (2020). Office representatives for cost-optimal energy retrofitting analysis: A novel approach using cluster analysis of energy performance certificate databases. Energy and Buildings, 206, 109557.
4. Cerquitelli, T., Di Corso, E., Proto, S., Bethaz, P., Mazzarelli, D., Capozzoli, A., ... & Tamburini, M. (2020). A Data-Driven Energy Platform: From Energy Performance Certificates to Human-Readable Knowledge through Dynamic High-Resolution Geospatial Maps. Electronics, 9(12), 2132.
5. Salata, F., Ciancio, V., Dell'Olmo, J., Golasi, I., Palusci, O., & Coppi, M. (2020). Effects of local conditions on the multi-variable and multi-objective energy optimization of residential buildings using genetic algorithms. Applied energy, 260, 114289.
6. Fan, Y., & Xia, X. (2018). Building retrofit optimization models using notch test data considering energy performance certificate compliance. Applied Energy, 228, 2140-2152.
7. Amiri Ade P, Tizghalam zenozi S, Javidi Nejad M. (2022). The effect of micro climate factors on energy consumption optimization approach in Tehran urban buildings. JGS; 22 (65) :265-282. (In Persian)
8. Asghari Alireza, Maliki Gavagani, Aida, Ebrahimi Asl Hassan, Sattari Sarbangoli, Hassan. (2020). Investigating the role of passive solar systems in zero energy urban buildings, for comfort and reducing energy consumption (Case study: Waliasr Shahratberiz), New perspectives in human geography, 2: 752-771. (In Persian)
9. Karimpour Alireza, Diba Darab, Itsam Iraj. (2017). Analyzing the effect of internal sunshades on energy consumption using simulation models (case study: residential unit in Tehran). City identity, 11(30), 17-30. (In Persian)
10. Anastasiadou, M., Santos, V., & Dias, M. S. (2021). Machine Learning Techniques Focusing on the Energy Performance of Buildings: A Dimensions and Methods Analysis. Buildings, 12(1), 28.
11. Klemm, C., & Wiese, F. (2022). Indicators for the optimization of sustainable urban energy systems based on energy system modeling. Energy, Sustainability and Society, 12(1), 1-20.
12. Haneef, F., Pernigotto, G., Gasparella, A., & Kämpf, J. H. (2021). Application of Urban Scale Energy Modelling and Multi-Objective Optimization Techniques for Building Energy Renovation at District Scale. Sustainability, 13(20), 11554.
13. Fathi, S., Srinivasan, R., Fenner, A., & Fathi, S. (2020). Machine learning applications in urban building energy performance forecasting: A systematic review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 133, 110287.
14. Mehmood, M. U., Chun, D., Han, H., Jeon, G., & Chen, K. (2019). A review of the applications of artificial intelligence and big data to buildings for energy-efficiency and a comfortable indoor living environment. Energy and Buildings, 202, 109383.
15. Abouzari Panthea, Ziyari Yusufali. Explaining the effects of improvement and renovation policies of dilapidated urban tissues (case study: District 12 of Tehran Municipality). New attitudes in human geography (human geography). 2018, 11(4): 491-510. (In Persian)

16. Farrokhzadeh Behnoosh, Kayani Arman, Bazarafshan Umm Albinin. Evaluation of SWMM hydrologic-hydraulic model in urban runoff management (case study: District 12 of Tehran Municipality). Economy and urban planning. 2019, 9(4), 243-251. (In Persian)