



تحلیل فنی - اقتصادی عملکرد سیستم‌های سرمایش و گرمایش مرکزی و مستقل در ساختمان‌های مسکونی بلندمرتبه

جاماسب پیرکندی^{۱*}، محمد علی سیف‌الهی^۲، مصطفی محمودی^۳، مهدی هاشم‌آبادی^۴

۱- دانشیار، مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

۲- دانشجوی کارشناس ارشد، مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

۳- دانشیار، مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

۴- استادیار، مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

* تهران، صندوق پستی ۳۱۵۹۹۱۶۱۱۱، jpirkandi@mut.ac.ir

چکیده

منبع اصلی تامین انرژی مورد نیاز بشر، سوخت‌های فسیلی هستند که سبب افزایش دمای زمین و زیان‌های جدی زیست محیطی می‌شوند. بخش قابل توجهی از انرژی مصرفی در دنیا و ایران، مربوط به ساختمان‌های مسکونی است. مصرف کننده بخش عمده‌ای از این انرژی در ساختمان‌های مسکونی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی هستند. بنابراین صرفه‌جویی و انتخاب بهینه سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی در ساختمان‌های مسکونی امری ضروری بوده و می‌تواند به کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی کمک کند. در مطالعه حاضر، هفت سناریوی مختلف که هر کدام شامل یک سیستم سرمایشی مستقل یا مرکزی و یک سیستم گرمایشی مستقل یا مرکزی می‌باشند، در دو ساختمان مسکونی بلند مرتبه در شهر تهران، مورد بررسی فنی و اقتصادی قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که در ساختمان‌های بلند مرتبه سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی مرکزی، عملکرد بهتری نسبت به سیستم‌های مستقل دارند. همچنین با افزایش واحدهای (متراژ) ساختمان، عملکرد سیستم‌های مرکزی بهتر و عملکرد سیستم‌های مستقل ضعیف‌تر می‌شود.

کلیدواژه‌گان: سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی مستقل و مرکزی، ساختمان‌های مسکونی بلند مرتبه، تحلیل اقتصادی، هزینه

Technical-economic analysis of the central and independent cooling and heating systems in high residential buildings

Jamاسب Pirkandi^{1*}, Mohammad Ali Seyfollahi², Mostafa Mahmoodi³, Mahdi Hashemabadi⁴

1- Associate Professor, Faculty of Aerospace, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.

2- M.Sc Student, Faculty of Aerospace, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.

3- Associate Professor, Faculty of Aerospace, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.

4- Assistant Professor, Faculty of Aerospace, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.

* P.O.B. 3159916111, Tehran, Iran, jpirkandi@mut.ac.ir

Received: 28 May 2024 Accepted: 26 August 2024

Abstract

The main source of human energy supply is fossil fuels, which cause an increase in the earth's temperature and serious environmental damage. A significant part of energy consumption in the world and Iran is related to residential buildings. Consumers of a major part of this energy in residential buildings are cooling and heating systems. Therefore, saving and optimally selecting cooling and heating systems in residential buildings is essential and can help to reduce fossil fuel consumption. In the present study, seven different scenarios, each of which includes an independent or central cooling system and an independent or central heating system, were technically and economically investigated in two high-rise residential buildings in Tehran. The results showed that central heating and cooling systems perform better than independent systems in high-rise buildings. Also, with the increase of building units (area), the performance of central systems becomes better and the performance of independent systems becomes weaker.

Keywords: Independent and central cooling and heating systems, high residential buildings, economic analysis, cost



۱- مقدمه

سیستم‌های گرمایشی، سرمایشی و تهویه مطبوع^۳ نسبت به دیگر بخش‌ها بود. یانگ و همکاران [۵] سه ساختمان مختلف به مساحت تقریبی ۲۰۰ متر مربع در چین را مورد بررسی قرار دادند. موقعیت جغرافیایی، معماری ساخت، دیواره‌های بیرونی، استفاده از عایق و موقعیت قرارگیری ساختمان‌ها نسبت به خورشید در فصل‌های مختلف سال، در این بررسی مد نظر قرار گرفتند. جواد و همکاران [۶] نیز میزان تقاضای انرژی سالانه تجهیزات سرمایشی و گرمایشی در ساختمان‌های استرالیا را، با در نظر گرفتن چهار نوع دیوار خارجی و شش الگوی رایج اشغال فضا، بررسی کردند. کیم و همکاران [۷] یک مدل پیش‌بینی برای مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی بلندمرتبه، در کره جنوبی ایجاد کردند. در این مطالعه روابط بین عوامل طراحی ساختمان‌های بلندمرتبه و میزان مصرف مربوط به سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی، مشخص شد. ادنان و همکاران [۸] تاثیر تعدادی از دیوارهای عایق‌دار و بدون عایق را بر میزان بار سرمایشی و گرمایشی مورد نیاز ساختمان‌های مسکونی، در کشور اردن و سه اقلیم آب و هوایی مختلف مورد بررسی قرار دادند. علی بولاترک [۹] نیز به بررسی ضخامت بهینه عایق بر روی دیوارهای خارجی ساختمان‌ها، به صورت مقایسه‌ای و بر اساس بارهای گرمایشی و سرمایشی سالانه پرداخته است. محبوبه رحمانی [۱۰] ترکیبی از مصالح ساختمانی و سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی را در ساختمان‌های مسکونی و در اقلیم‌های متفاوت ایران ارائه داده است که موجب می‌شود هزینه‌های مرتبط و انرژی مصرفی ساختمان حداقل شود. پمپ حرارتی، چیلرهای جذبی دیگرهای آبگرم از جمله سیستم‌های بررسی شده در این مطالعه هستند. احسان عنبرزاده [۱۱] تاثیر ضخامت عایق ساختمان بر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی یک ساختمان نمونه را، با در نظر گرفتن اندازه سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی به عنوان یک متغیر، بررسی کرده است. چهار سیستم مورد بررسی در این مطالعه عبارتند از کولرآبی، کولر گازی، پکیج و موتورخانه مرکزی. محمد شهرجردی [۱۲] ۹ سیستم سرمایشی و گرمایشی را در ساختمان دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اراک، از لحاظ عملکرد اقتصادی یک ساله و مصرف انرژی مورد بررسی قرار داده است. در این مطالعه با محاسبه بار حرارتی و برودتی مورد نیاز این ساختمان، هزینه‌های مربوط به مصارف آب، برق، گاز، خرید سیستم‌ها و تجهیزات مربوطه، نصب آنها و تعمیرات و نگهداری سیستم‌های مورد بررسی، محاسبه و با یکدیگر مقایسه می‌شوند و سپس این کار در بارهای برودتی و حرارتی مختلف نیز تکرار می‌شود. در این مطالعه ۹ سیستم حجم هوای ثابت^۴، حجم هوای متغیر^۵، فن کوئل (بررسی هر سه سیستم ذکر شده با چیلر جذبی شعله مستقیم و چیلر تراکمی اسکرو)، سیستم جریان مبرد متغیر^۶، کولر گازی و کولرآبی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. امیرسالار علیزاده بذرافشان [۱۳] بار حرارتی و برودتی یک ساختمان مسکونی ۴ طبقه را محاسبه و سه سیستم گرمایشی و سرمایشی را در این ساختمان شبیه‌سازی کرد و آنها را مورد مطالعه قرار داد. سیستم‌های بررسی شده در این مطالعه عبارتند از پکیج و رادیاتور، دیگ و فن کوئل و کولر گازی، به عنوان سیستم‌های گرمایشی و کولرآبی، چیلر هواخنک اسکال و کولر گازی به عنوان سیستم‌های سرمایشی. فریودمنش و همکاران [۱۴] میزان مصرف انرژی یک ساختمان ۹ طبقه، با هفت طبقه مسکونی که متراژ هر یک ۴۳۲ متر بود را بررسی کردند. در این مطالعه پارامترهای تاثیرگذار در مصرف انرژی ساختمان مانند جنس مصالح، با توجه

رشد جمعیت و پیشرفت در صنعت و تکنولوژی، مصرف انرژی‌های فسیلی را برای تامین انرژی مورد نیاز بشر، با افزایش چشمگیری همراه کرده است. عدم استفاده خردمندانه از منابع فسیلی علاوه بر مخاطرات جدی زیست محیطی، موجب تحمیل بار اقتصادی و سیاسی نامطلوبی به جامعه و کشور می‌شود. انرژی اولیه مصرفی^۱ ایران در سال میلادی ۲۰۲۱، معادل ۲ درصد از کل انرژی مصرف شده در جهان بوده، که ۹۵ درصد آن را منابع فسیلی، به ویژه نفت و گاز تامین کرده‌اند [۱]. همچنین بیشترین مصرف انرژی در جهان مربوط به مصارف صنعتی و ساختمان‌ها بوده که سهم ساختمان‌ها ۴۰.۵ درصد می‌باشد. در این بین، ساختمان‌های مسکونی سهم قابل توجه ۲۲ درصدی را به خود اختصاص داده‌اند [۲]. در ایران نیز ۴۰.۷ درصد از انرژی تولیدی کشور در ساختمان‌ها مصرف می‌شود. با توجه به تعداد بالای ساختمان‌های مسکونی و افزایش مهاجرت از روستاها به شهرها، این دسته از ساختمان‌ها تاثیر به‌سزایی در میزان مصرف انرژی یک کشور می‌گذارند. یکی از اصلی‌ترین مصرف کنندگان انرژی در ساختمان‌های مسکونی، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی هستند. در ایران سهم سیستم‌های تهویه مطبوع از انرژی مصرفی در ساختمان‌های مسکونی بیش از ۴۵ درصد است [۳].

انتخاب سیستم سرمایشی و گرمایشی نامناسب در ساختمان‌ها می‌تواند باعث افزایش مصرف انرژی شود. به عنوان مثال استفاده از سیستم‌های مستقل در ساختمان‌های مسکونی بلندمرتبه^۲، که در سال‌های اخیر با افزایش قابل توجه روبرو بوده است، موجب مصرف بیشتر انرژی و تحمیل هزینه‌های اضافی می‌شود. به طور مثال در یک ساختمان بلندمرتبه با تعداد واحدهای زیاد، انتخاب سیستم‌های مستقل بر اساس حداکثر بار فضا، سبب بالا رفتن مصرف انرژی و هزینه‌های مرتبط با سیستم‌های انتخابی خواهد شد. در حالیکه این مسئله در سیستم‌های مرکزی متفاوت بوده و ظرفیت سیستم‌های مرکزی، کمتر از مجموع بار حداکثر تک تک فضاها خواهد بود. این مشکل، بیشتر در ساختمان‌های مسکونی رایج است که از دلایل اصلی بروز آن، مسائل فرهنگی و اجتماعی می‌باشند که مردم را به استفاده از سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی مستقل متمایل کرده است.

جهت تامین شرایط مطلوب زندگی در ساختمان‌های مسکونی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی، انتخاب بهینه‌ی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی با در نظر گرفتن همزمان همه عوامل موثر، از جمله میزان مصرف انرژی، شرایط اقلیمی، عملکرد اقتصادی، نوع ساختمان و الگوهای رایج استفاده از این سیستم‌ها، امری ضروری می‌باشد. همچنین به دلیل نبود شبکه لوله‌کشی مجزا برای مصارف مختلف، تقریباً تمام آب مصرفی ساختمان‌های مسکونی، مانند مصارف خوراکی، بهداشتی و مصارف مربوط به گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها، عموماً از آب قابل شرب است. این مسئله باعث می‌شود تا میزان مصرف آب سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده و در انتخاب بهینه این سیستم‌ها موثر باشد.

در همین راستا لوییز و همکاران [۴] اطلاعات موجود در زمینه میزان مصرف انرژی در انواع ساختمان‌ها و روند رشد آن را مورد بررسی قرار دادند. همچنین میزان مصرف انرژی در بخش‌های مختلف چند ساختمان را با کارکردهای متفاوت بررسی کردند که این بررسی‌ها نشان دهنده مصرف بالای

⁴ CAV

⁵ VAV

⁶ VRF

¹ Primary energy consumption

² High-Rise Building

³ HVAC

انرژی این سیستم‌ها و عملکرد اقتصادی آنها، دو مسئله مهمی هستند که باید مد نظر قرار گیرند. در مطالعه حاضر، با بررسی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی رایج در کشور، میزان مصرف انرژی و عملکرد اقتصادی بلند مدت آنها، در ساختمان‌های مسکونی بلند مرتبه، بررسی و با یکدیگر مقایسه شده است. در این مطالعه بر خلاف کارهایی که تا کنون صورت گرفته است، با انتخاب دو ساختمان مسکونی بلند مرتبه تمامی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی مستقل و مرکزی رایج در کشور، از لحاظ فنی و اقتصادی مورد بررسی قرار گرفته و با یکدیگر مقایسه شدند. ابتدا با انجام مدل‌سازی به کمک نرم‌افزار Carrier Hap، بارهای حرارتی، برودتی و آب گرم مصرفی برای آنها محاسبه شد. سپس سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی مستقل و مرکزی در قالب هفت سناریو در ساختمان‌های نمونه قرار گرفته، و تحلیل فنی و اقتصادی برای آنها صورت گرفت. در نهایت سیستم مناسب سرمایشی و گرمایشی برای ساختمان-های نمونه، از لحاظ مصرف انرژی، مشخص و مرز اقتصادی بین سیستم‌های مستقل و مرکزی در ساختمان‌های بلند مرتبه تعیین گردید. همچنین برای اولین بار تحلیل اقتصادی صورت گرفته یک تحلیل بلند مدت ۳۰ ساله است.

۲- روش تحقیق

در مطالعه حاضر، با هدف انجام انتخاب بهینه‌ی سیستم سرمایشی و گرمایشی مناسب در یک ساختمان مسکونی بلند مرتبه، ابتدا دو نمونه از این نوع ساختمان‌ها جهت بررسی انتخاب شد. این ساختمان‌های انتخابی در شهر تهران واقع هستند و شبیه‌سازی بر اساس شرایط اقلیمی شهر تهران صورت گرفته است. سپس هفت سناریو از سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی رایج مستقل و مرکزی، جهت شبیه‌سازی در ساختمان‌های نمونه مد نظر قرار گرفت. بار حرارتی و برودتی مورد نیاز ساختمان‌های مورد بررسی به کمک نرم‌افزار Carrier Hap (v 4.9)، به علاوه‌ی میزان بار حرارتی مورد نیاز جهت تامین آب گرم مصرفی ساختمان، محاسبه و تجهیزاتی متناسب با نیاز ساختمان‌های مسکونی انتخاب شده است. با توجه به تجهیزات انتخابی و به کمک کاتالوگ-های موجود، میزان مصرف آب، برق و گاز آنها محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه دمای آسایش حرارتی برای تابستان ۲۴ درجه سانتیگراد و در زمستان ۲۲ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است. برای وارد کردن میزان شدت تابش خورشید در ساعت مختلف روز در طی یک سال، به نرم‌افزار Carrier HAP، از نرم‌افزار هواشناسی (v 7.3.3) Meteororm استفاده شده است. در مطالعه حاضر، طول لوله‌کشی، کانال‌کشی و غیره، چه در داخل واحد-های مسکونی و چه در خارج از آنها (مسیر موتورخانه یا تجهیزات تا واحد مصرف کننده)، بر اساس نقشه‌های واقعی فاز دو ساختمان‌ها محاسبه شده است. در مطالعه حاضر هزینه‌های خرید، حمل و نقل و نصب تجهیزات اصلی و جانبی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی محاسبه شده است. همچنین هزینه‌های سالانه مربوط به میزان مصرف آب، برق و گاز تمامی تجهیزات محاسبه و در تحلیل اقتصادی در نظر گرفته شده است. تمامی تعرفه‌ها و قیمت‌ها مربوط به بازه زمانی مرداد ماه سال ۱۴۰۰ هستند. همچنین محاسبه هزینه‌های مربوط به مصرف آب، برق و گاز در بازه زمانی ذکر شده، مشمول طرح اصلاح الگوی مصرف بوده است و بنابراین از جداول تعرفه‌های پلکانی مصرف استفاده شده است. در نهایت با توجه به هزینه‌های اولیه و جاری سالانه تجهیزات انتخابی در ساختمان‌های مسکونی نمونه، یک تحلیل اقتصادی ۳۰ ساله انجام گرفته است. در تحلیل اقتصادی صورت گرفته، در ارزیابی هزینه‌های اولیه و هزینه‌های

به بحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان انتخاب شده است. همچنین ۱۲ سیستم سرمایشی و گرمایشی به عنوان متغیر در این مطالعه بررسی شدند. عابدی و همکاران [۱۵] دو چیلر تراکمی اسکرو و جذبی شعله مستقیم را از لحاظ فنی و اقتصادی، در ساختمان‌های رایج مورد بررسی قرار دادند. عابدی و خسرویان [۱۶] نیز به بررسی فنی و اقتصادی چیلرهای جذبی و تراکمی (چیلر جذبی شعله مستقیم چیلر، پیچی، چیلر تراکمی دور متغیر سانتریفیوژ و چیلر تراکمی دور ثابت سانتریفیوژ) پرداختند. در این مقاله مزایای چیلرهای تراکمی سانتریفیوژ دور متغیر نسبت به سایر چیلرها در تناژهای بالای ۵۰۰ تن تبرید در یک ساختمان مسکونی با بار برودتی ۱۰۰۰ تن تبرید در تهران مورد مطالعه قرار گرفته است. عباسی و همکاران [۱۷] سه سیستم هوایی با کنترل روشن و خاموش، سیستم‌های آبی-هوایی (فن کوئل) و سیستم حجم هوای متغیر را از لحاظ مصرف انرژی در یک ساختمان مسکونی نمونه با زیر بنای تقریبی ۱۰۰۰ متر مربع مورد مطالعه قرار داده‌اند. میرزاخانیان و همکاران [۱۸] چهار سیستم مدرن تهویه مطبوع را در دو ساختمان نمونه با مساحت یکسان و نقشه متفاوت شبیه‌سازی و بررسی کردند. این چهار سیستم عبارتند از گرمایش با بویلر و سرمایش با چیلر و فن کوئل چهار لوله‌ای، گرمایش از کف با بویلر و سرمایش از طریق چیلر و فن کوئل، گرمایش با رادیاتور و بویلر و سرمایش با داکت اسپلیت و گرمایش از کف با بویلر چگالش و کلکتور خورشیدی و سرمایش از سقف با چیلر هواخنک. یانگ و همکاران [۱۹] چهار سیستم تهویه مطبوع رایج در کشور چین بر اساس نمونه‌های واقعی، از لحاظ مصرف انرژی و هزینه‌های یک سال آنها، بررسی و با یکدیگر مقایسه شدند. چهار سیستم مورد بررسی عبارتند از واحد پمپ حرارتی هواخنک، واحد پمپ حرارتی با سیکل آبی، واحد تهویه مطبوع گاز خانگی و چیلر هواخنک همراه با دیگ گازی. همچنین از فن کوئل به عنوان ترمینال داخلی سیستم‌های ذکر شده استفاده شده است. تنها برای واحد پمپ حرارتی با سیکل آبی از ترمینال مخصوص خود استفاده شده است. وانگ و همکاران [۲۰] سه سیستم تهویه مطبوع را از لحاظ عملکرد انرژی در ساختمان‌های مسکونی متوسط^۱ با یکدیگر مقایسه می‌کنند. سه سیستم مورد بررسی عبارتند از اسپلیت‌های انبساط مستقیم^۲، پمپ حرارتی دو تکه هوایی^۳ و یک سیستم پمپ حرارتی آبی حلقه بسته با یک دیگ بخار و یک خنک کننده سیال تبخیری به عنوان منبع گرمایش و سرمایش مرکزی. همچنین شبیه‌سازی برای شرایط آب و هوایی مختلف انجام شده است. سماح الغول [۲۱] مطالعه‌ای بر مصرف انرژی سیستم‌های HVAC در ساختمان‌های مسکونی با هدف مقایسه این سیستم‌ها از نظر مصرف انرژی انجام داده است. مساحت مفید ساختمان مسکونی مورد بررسی ۲۸۰ متر مربع در دو طبقه می‌باشد. سیستم‌های مورد بررسی در این مطالعه عبارتند از بارهای هوای ایده‌آل (یک جزء مجازی که در نرم‌افزار EnergyPlus استفاده می‌شود)، میرد جریان متغیر (VRF)، پمپ حرارتی پکیج پشت بامی (Packaged Rooftop Heat Pump)، پمپ‌های حرارتی پایانه‌ای (Packaged Terminal Heat Pump)، و سیستم‌های Unitary.

نوع سیستم سرمایشی و گرمایشی در یک ساختمان، یکی از عواملی است که تاثیر مهمی بر میزان مصرف انرژی ساختمان‌ها دارد. انتخاب این سیستم‌ها در ساختمان‌های مسکونی باید براساس شرایط اقلیمی، مصالح مورد استفاده در ساختمان، مترژ مفید ساختمان، نوع کاربری فضاهای ساختمان، الگوهای مصرف و ویژگی‌های فرهنگی مصرف‌کنندگان باشد. همچنین میزان مصرف

³ A split air-source heat pump system

¹ Mid-Rise

² A direct expansion split system

۴ ساعت از آبگرم برای مصارفی همچون حمام، دستشویی و شست و شوی ظروف یا لباس استفاده می‌کند.

جدول ۱ سناریوهای مورد بررسی در این مطالعه

سناریو	گرمایش	سرمایش	نوع سیستم
۱	پکیج و رادیاتور	کولر آبی	مستقل - مستقل
۲	پکیج و داکت اسپلیت	داکت اسپلیت	مستقل - مستقل
۳	دیگ و رادیاتور	کولر آبی	مرکزی - مستقل
۴	دیگ و داکت اسپلیت	داکت اسپلیت	مرکزی - مستقل
۵	دیگ و فن کوئل	چیلر تراکمی هواخنک، فن کوئل	مرکزی - مرکزی
۶	دیگ و فن کوئل	چیلر تراکمی آب-خنک، فن کوئل	مرکزی - مرکزی
۷	دیگ و فن کوئل	چیلر جذبی تک اثره‌ی شعله مستقیم، فن کوئل	مرکزی - مرکزی

۴- معرفی ساختمان‌های مسکونی نمونه

در این مطالعه برای بررسی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی مدنظر در ساختمان‌های مسکونی، دو ساختمان مسکونی بلند مرتبه انتخاب شده است. علت انتخاب این نوع از ساختمان‌های مسکونی جمعیت رو به رشد شهرها در کنار فضای مسکونی محدود در آنها است، که سبب افزایش روز افزون ساخت ساختمان‌های بلند مرتبه شده است. در جدول ۲، مشخصات کلی دو ساختمان مورد بررسی ارائه شده است.

هر دو ساختمان شامل، بیست طبقه مسکونی، همکف و نیم طبقه اول به عنوان لابی، طبقات منفی یک تا منفی شش به عنوان پارکینگ و انباری و طبقه منفی هفت که موتورخانه است، هستند.

جدول ۲ مشخصات ساختمان‌های مسکونی نمونه

نام ساختمان	تعداد طبقات مسکونی	تعداد کل واحدها	متراژ مفید مسکونی (m ²)
الف	۲۰	۱۲۰	۱۶,۲۰۰
ب	۲۰	۲۶۰	۳۲,۱۱۶

در هر طبقه از ساختمان الف، ۶ واحد مسکونی و در هر طبقه از ساختمان ب، ۱۳ واحد مسکونی وجود دارد. در واقع ساختمان الف، بخش مرکزی ساختمان ب را که یک ساختمان واقعی در شمال شهر تهران است را شامل می‌شود. هر چند ساختمان‌هایی مانند ساختمان الف، که در هر طبقه دارای ۶ واحد می‌باشد رایج‌تر هستند، اما روند روبه افزایش ساختمان‌های بلند مرتبه با تعداد واحدهای زیاد در هر طبقه، سبب شده تا ساختمان با ۲۰ واحد در هر طبقه نیز در این مطالعه بررسی شود.

جاری، نرخ تورم سالیانه ۲۰ درصدی، آنالیز تعویض و استهلاک تجهیزات در نظر گرفته شده است. در تحلیل اقتصادی ذکر چند نکته مهم لازم است. اول، نرخ تورم بر روی هزینه‌های تعمیرات و نگهداری تجهیزات، همچنین قیمت‌های خرید، حمل و نقل و نصب تجهیزات در هنگام آنالیز تعویض موثر بوده است. دوم، با توجه به روند طی شده در سال‌های اخیر کشور، هر ۵ سال، ۳۰ درصد به تعرفه‌های آب، برق و گاز افزوده می‌شود. سوم، از روش استهلاک خطی برای در نظر گرفتن روند استهلاک تجهیزات استفاده شده است [۲۲]. در آخر، در سال تعویض^۱ فقط هزینه‌های اولیه مربوط به تجهیزاتی که نیاز به تعویض دارند محاسبه می‌شود، نه همه هزینه‌های اولیه‌ی مربوط به همه تجهیزات. همچنین از استهلاک کانال‌های هوا، لوله‌ها و اتصالات صرف نظر شده است.

در نهایت هفت ترکیب از سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی در قالب هفت سناریو در هریک از ساختمان‌های مسکونی در نظر گرفته شده و از لحاظ مصرف انرژی و عملکرد اقتصادی ۳۰ ساله مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در آخر بهینه‌ترین آنها برای هر ساختمان معرفی شده است.

۳- معرفی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی

برای انتخاب سیستم سرمایشی و گرمایشی مناسب، پارامترهای متعددی باید مدنظر قرار گیرد. از اصلی‌ترین معیارها برای انتخاب سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی مناسب در ساختمان‌ها، نوع کاربری ساختمان، شرایط اقلیمی منطقه‌ای که ساختمان در آن قرار دارد و تعداد و اندازه مناطقی که باید شرایط آسایش حرارتی برای آنان فراهم شود، می‌باشند. در مطالعه حاضر هفت ترکیب از سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی مستقل و مرکزی، در قالب هفت سناریو، برای بررسی در ساختمان‌های نمونه انتخاب شده است. در جدول ۱، می‌توان سیستم‌های مورد بررسی را مشاهده کرد.

در مطالعه حاضر، تمامی سیستم‌های رایج در محدوده مطالعاتی، یعنی ساختمان‌های مسکونی شهر تهران، مورد بررسی قرار گرفته و با یکدیگر مقایسه شده است. اما سیستم‌هایی مانند VRF، GHP و مانند آن‌ها، علی‌رغم اینکه به صورت پراکنده در ساختمان‌های مسکونی شهر تهران استفاده می‌شوند، اما هنوز در محدوده مطالعاتی حاضر رایج نیستند. لازم به ذکر می‌باشد که هر چند بخاری یک سیستم گرمایشی مستقل بوده و همچنان جزء سیستم‌های رایج در کشور ما بشمار می‌رود، اما در این پژوهش مورد بررسی قرار نگرفته است. چرا که استفاده از بخاری در منازل مسکونی، خطرات جانی بسیاری را در پی دارد.

در مطالعه حاضر، در تمامی سیستم‌ها مورد بررسی، هوای تازه‌ی مورد نیاز، به صورت مستقیم^۲، از طریق باز و بسته شدن درب‌ها یا پنجره‌ها و یا به کمک یک مجرای مخصوص و مستقیماً از فضای بیرون ساختمان تامین می‌شود. بنابراین نیازی به استفاده از دستگاه هواساز یا مانند آن نیست. همچنین فرض بر این است که در محاسبات میزان مصرف آب، برق و گاز تجهیزات و هزینه‌های مربوطه دو فرض مهم در نظر گرفته شده است. اول، در ماه‌های گرم سال ۱۴ ساعت از روز، سیستم سرمایشی فعال می‌باشد. دوم، در ماه‌های سرد سال، در ۲۴ روز، سیستم گرمایشی فعال است. یکی دیگر از مفروضات در نظر گرفته شده در این مطالعه عبارت است از اینکه، هر واحد مسکونی در طول روز تنها

^۱ منظور از سال تعویض، یک سال پس از آخرین سال عمر تجهیز می‌باشد. با توجه به در نظر گرفتن استهلاک، هر تجهیز طول عمر مشخصی دارد و پس از اتمام عمر تجهیز، باید تجهیز جدیدی خریداری و جایگزین شود.

^۲ Direct Ventilation

در مطالعه حاضر برای محاسبه بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان‌های مورد بررسی از نرم‌افزار Carrier HAP (v 4.9) استفاده شده است. این نرم‌افزار از استانداردهای ASHREA، برای محاسبه بارهای حرارتی و برودتی طی یک سال، استفاده می‌کند [۲۳]. تمامی روابط و معادلاتی که در این مطالعه، جهت محاسبه بار حرارتی و برودتی مورد نیاز در ساختمان‌های مورد بررسی و همچنین انتخاب تجهیزات استفاده شده‌اند، بر اساس استانداردهای ASHREA و کتاب محاسبات تاسیسات ساختمان مهندس طباطبایی هستند [۲۴، ۲۵].

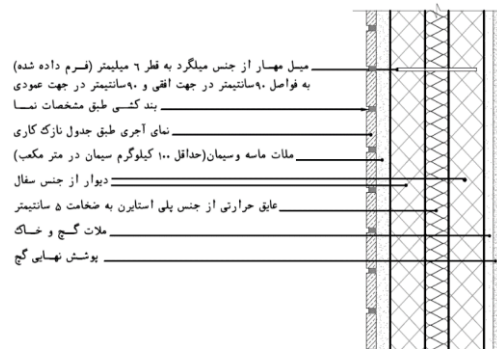
مواردی که باید در محاسبه بار گرمایشی در نظر گرفته شوند شامل بار ناشی از تاثیر دیوارها و سقف خارجی، بار حاصل از انتقال حرارت کف اتاق، بار ناشی از ورود هوای تازه بیرون به داخل اتاق و بار ناشی از هدایت از در و پنجره‌های داخلی است. همچنین مواردی که باید در محاسبه بار سرمایشی در نظر گرفته شوند شامل بار تابشی ناشی از پنجره‌ها و شیشه‌های خارجی، بار هدایتی ناشی از پنجره‌ها و شیشه‌های خارجی، بار ناشی از تاثیر همزمان تابش و هدایت از دیوارها و سقف خارجی، بار ناشی از ورود هوای تازه بیرون به داخل اتاق، بار ناشی از وجود افراد در اتاق، بار ناشی از چراغ‌های روشن در اتاق، بار هدایتی ناشی از دیوارها، درها و پنجره‌های داخلی و بار ناشی از موتورهای روشن و وسایل گرمازا است. از معادلات زیر در محاسبات بار سرمایشی و گرمایشی استفاده می‌شود.

ذکر چند نکته در رابطه با انتخاب تجهیزات مورد نظر و محاسبه ظرفیت آنها در مطالعه حاضر، لازم است. ظرفیت پکیج مناسب با هر واحد مسکونی، با در نظر گرفتن ۲۵٪ تلفات پکیج و تلفات پیش راه‌اندازی محاسبه شده است. در محاسبات انتخاب مشعل برای دیگ، راندمان مشعل ۸۵٪ در نظر گرفته شده‌اند. همچنین ارزش حرارتی خط سوخت شهر تهران به ازای هر متر مکعب گاز، ۹۴۰۷ کیلوکالری در نظر گرفته شده است. در این مطالعه از سختی‌گیر رزینی و منبع انبساط بسته استفاده شده است. در مطالعه حاضر برای سالن اصلی و هر یک از اتاق خواب‌های هر واحد مسکونی، ۱ فن کوئل در نظر گرفته شده است. زیرا طبق محاسبات انجام شده در این مطالعه، در صورت در نظر گرفتن یک فن کوئل برای کل واحد مسکونی و یا در نظر گرفتن دو فن کوئل، یکی برای اتاق خواب‌ها و یکی برای باقی فضاها، به ترتیب، حدود ۱۰ و ۱۵ درصد برای خرید و حدود ۵ و ۸ درصد برای مصرف برق، هزینه بیشتری صرف می‌شود. در انتخاب چیلرها، به تفاوت میان ظرفیت اسمی و واقعی آنها توجه شده است. همچنین در ظرفیت چیلر انتخابی، ۱۰٪ اضافه بار نیز در نظر گرفته شده است.

۶- نتایج

اعتبارسنجی مطالعه حاضر شامل دو بخش است. اول، به دلیل تاثیر قابل توجه هزینه مربوط به مصرف آب، برق و گاز تجهیزات، روش محاسبه این مقادیر در مطالعه حاضر، با قبوض واقعی صادر شده در مرداد ماه سال ۱۴۰۰ در شهر تهران مقایسه شده است. دوم، بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان‌های مورد بررسی که توسط نرم‌افزار Carrier HAP محاسبه شده، به دو روش اعتبارسنجی شده است. برای اعتبارسنجی هزینه‌های مصرف آب، برق و گاز، از قبوض واقعی یک خانه مسکونی در شهر تهران، در بازه مرداد ماه ۱۴۰۰، استفاده شده است. ابتدا میزان مصرف آب، برق و گاز خانه مورد نظر از روی قبض خوانده شده و سپس هزینه مربوط به آن، به کمک روشی که در این مطالعه استفاده شده است، محاسبه شده و در ادامه با مبلغ درج شده در قبوض مقایسه شده است. با توجه به مقایسه صورت گرفته، خطای مربوط به هزینه مصرف آب، بین روش استفاده شده در این مطالعه و قبض مورد بررسی در

در این مطالعه، از مواد و اجزای یکسانی برای ساختمان‌های نمونه استفاده شده است. پارامترهای تاثیرگذار در مصرف انرژی ساختمان‌ها، مانند جنس مصالح دیوارهای خارجی، دیوارهای داخلی، کف خشک، کف تر (برای دستشویی و حمام)، سقف طبقه آخر (کف بام) و جنس درب‌ها و پنجره‌ها، همگی از مصالح و اجناس رایج در ساخت و ساز ساختمان‌های بلند مرتبه در شهر تهران و با توجه به مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان انتخاب شده‌اند. همچنین تمامی مقادیر مربوط به ضریب هدایت حرارتی مصالح بکار رفته و اجزایی مانند درب‌ها و پنجره‌ها، جهت محاسبات مربوطه، از پیوست شماره ۷ مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان گرفته شده است. در شکل ۳، نمایی از لایه‌های مختلف دیوارهای خارجی استفاده شده در مطالعه حاضر، ارائه شده است.



شکل ۳ نمایی از لایه‌های دیوارهای خارجی در ساختمان‌های مورد بررسی

در جدول ۳ نیز مقاومت حرارتی جدارهای مختلف ارائه شده است. ضخامت بالای سقف طبقه آخر یا همان کف بام ناشی از این است که، این جدار علاوه بر اینکه باید وزن اشیاء موجود در بام را تحمل کند، در خود دو لایه عایق حرارتی و رطوبتی را نیز جای داده است. اجزای کف تر همانند کف خشک می‌باشد، با این تفاوت که در کف تر از یک لایه عایق رطوبتی استاندارد به همراه دو لایه محافظ عایق در دوطرف آن استفاده شده است. جنس درب‌ها و پنجره‌ها و مشخصات آنها نیز کاملاً بر اساس موارد رایج در ساختمان‌های مسکونی تهران و مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان بوده است.

جدول ۳ مشخصات جدارهای مورد استفاده در ساختمان‌های نمونه

جدار	ضخامت (cm)	ضریب هدایت حرارتی (W/m ² .c)
دیوارهای خارجی	۲۵	۰.۶۱۳
دیوارهای داخلی	۱۲.۵	۲.۳۶۷
کف خشک	۴۵	۰.۷۹۷
کف تر	۴۵.۱	۰.۷۱۷
سقف طبقه آخر	۷۷.۷	۰.۲۹۸
درب‌های ورودی	-	۲.۳۲۶
درب‌های ترانس	-	۴.۶۵
پنجره‌ها	-	۲.۶

۵- روش حل

انتخاب تمامی تجهیزات، با توجه با بار سرمایشی و گرمایشی مورد نیاز ساختمان‌های مورد بررسی بوده است. محاسبه میزان مصرف انرژی هر یک از ترکیب‌های مورد بررسی در ساختمان‌های نمونه و به دنبال آن هزینه مربوط به این مصارف، بر اساس کاتالوگ رسمی شرکت‌های سازنده تجهیزات است. در رابطه با انتخاب تجهیزات و محاسبات مربوط به آن ذکر چند نکته لازم است.

۱-۶- نتایج تحلیل انرژی

در این قسمت نتایج مربوط به تحلیل انرژی ترکیب‌های مختلف سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی، در ساختمان‌های مسکونی مورد بررسی ارائه شده است. در جداول ۷ و ۸، میزان مصرف آب، برق و گاز سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی انتخاب شده در ساختمان‌های مورد بررسی در طول یک سال، قابل مشاهده است.

با توجه به جدول ۷ در ساختمان الف، به جز چیلر هواخنک که مصرف آبی ندارد، چیلر تراکمی آب‌خنک کمترین مصرف آب را به خود اختصاص می‌دهد. کولرهای آبی با ۱۱.۸ درصد مصرف بیشتر نسبت به چیلر آب‌خنک، در جایگاه بعدی قرار گرفته و در نهایت چیلر جذبی تک اثره، با ۴۱.۹ درصد مصرف بیشتر نسبت به چیلر آب‌خنک، دارای بیشترین مصرف آب در ساختمان الف است. یکی از دلایل این امر، حجم بالای سیالی است که دمای آن باید در برج‌خنک کن چیلرهای جذبی پایین بیاید. باید در نظر داشت که عملکرد کولرهای آبی به مرور زمان افت کرده و به دنبال آن مصرف آب بیشتری را نسبت به آنچه در کاتالوگ‌ها آمده خواهند داشت.

جدول ۷ مصرف سالانه آب، برق و گاز در سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی مورد

بررسی در ساختمان «الف» (۱۲۰ واحدی)

سناریوهای مورد بررسی	مصرف سالانه آب (m ³)	مصرف سالانه برق (KW)	مصرف سالانه گاز (m ³)
۱ گرمایش: پکیج و رادیاتور	-	۹۷,۸۳۲	۲,۰۷۶,۰۳۰
سرمایش: کولر آبی	۱۹,۶۵۶	۳۳۲,۶۴۰	-
۲ گرمایش: پکیج و رادیاتور	-	۹۷,۸۳۲	۲,۰۷۶,۰۳۰
سرمایش: داکت اسپلیت	-	۱,۵۴۷,۴۲۴	-
۳ گرمایش: دیگ و رادیاتور	-	۹۰۲,۸۶۶	۲,۶۷۸,۸۶۱
سرمایش: کولر آبی	۱۹,۶۵۶	۳۳۲,۶۴۰	-
۴ گرمایش: دیگ و داکت اسپلیت	-	۹۰۲,۸۶۶	۲,۶۷۸,۸۶۱
سرمایش: داکت اسپلیت	-	۱,۵۴۷,۴۲۴	-
۵ گرمایش: دیگ و فن کوئل	-	۹۰۲,۸۶۶	۲,۶۷۸,۸۶۱
سرمایش: چیلر تراکمی هواخنک	-	۲,۸۷۷,۱۷۱	-
۶ گرمایش: دیگ و فن کوئل	-	۹۰۲,۸۶۶	۲,۶۷۸,۸۶۱
سرمایش: چیلر تراکمی آب‌خنک	۱۷,۵۸۰	۱,۶۰۹,۱۰۷	-
۷ گرمایش: دیگ و فن کوئل	-	۹۰۲,۸۶۶	۲,۶۷۸,۸۶۱
سرمایش: چیلر جذبی تک اثره	۲۴,۹۴۸	۵۴۲,۱۳۹	۴۲۳,۳۶۰

مصرف برق در بخش گرمایش ساختمان الف، از بین دو سیستم پکیج و دیگ، پکیج مصرف برق کمتری نسبت به دیگ دارد. در واقع دیگ حدود ۹.۲ برابر برق بیشتری نسبت به پکیج مصرف می‌کند. علت این امر این است که در

حدود ۱۱ درصد است. این خطا در مورد هزینه مصرف برق، کمتر از ۵ درصد بوده است. همچنین در مورد هزینه مربوط به مصرف گاز، این خطا کمتر از ۸ درصد می‌باشد.

در این قسمت نتایج اعتبار سنجی بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان‌های مورد بررسی که توسط نرم‌افزار Carrier HAP محاسبه شده است، ارائه می‌شود. ابتدا تنظیمات در نظر گرفته شده در نرم‌افزار به کمک مقاله مفتونی و همکاران [۲۵] اعتبار سنجی شده است. به این صورت که طبقه دوم ساختمان مورد بررسی در مقاله مفتونی و همکاران، با توجه به نقشه و مشخصات اجزای ساختمان که در مقاله ارائه شده، مجدداً در نرم‌افزار Carrier HAP و با تنظیمات در نظر گرفته شده در مطالعه حاضر شبیه‌سازی و با نتایج موجود در مقاله مقایسه شده است. در جدول ۴ می‌توان نتایج مربوط به این بخش از اعتبارسنجی را مشاهده کرد.

جدول ۴ اعتبارسنجی مطالعه حاضر با مقاله مفتونی و همکاران [۲۵]

بار مورد نیاز	بار گرمایشی (W)	بار سرمایشی (W)
مطالعه حاضر	۱۵۶۴	۱۷۹۵
مقاله مفتونی و همکاران	۱۷۰۰	۲۰۰۰
درصد خطا	۸ درصد	۱۱ درصد

در ادامه جهت اعتبارسنجی دقیق‌تر مطالعه حاضر، میزان بار سرمایشی و گرمایشی یکی از واحدهای ساختمان‌های مسکونی مورد بررسی در این مطالعه، که در هر دو ساختمان مشترک است، به صورت دستی محاسبه و با مقداری که نرم‌افزار ارائه داده مقایسه شده است. به دلیل محاسبات طولانی و پیچیده بار سرمایشی و گرمایشی به صورت دستی، تنها یک واحد از ساختمان‌های مورد بررسی اعتبارسنجی شده است. در جدول ۵ می‌توان نتایج این قسمت را مشاهده کرد.

جدول ۵ مقایسه محاسبات دستی و کامپیوتر بار سرمایشی و گرمایشی واحد نمونه در ساختمان‌های مورد بررسی

بار مورد نیاز	بار گرمایشی (btu/hr)	بار سرمایشی (btu/hr)
محاسبات کامپیوتری	۳۹۵۷۶	۵۵۲۳۴
محاسبات دستی	۴۲۷۶۸	۵۱۸۵۵
درصد خطا	۸ درصد	۶ درصد

در این قسمت، نتایج مربوط به شبیه‌سازی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی مورد بررسی در ساختمان‌های نمونه و همچنین نتایج مربوط به تحلیل انرژی و تحلیل اقتصادی آنها ارائه شده است.

میزان بار سرمایشی و گرمایشی مورد نیاز ساختمان‌های مورد بررسی، در جدول ۶ قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که بار گرمایشی ذکر شده در جدول ۶، مجموع بار گرمایشی مورد نیاز ساختمان و بار گرمایشی مورد نیاز برای تامین آبگرم ساختمان است.

جدول ۶ مقدار بار سرمایشی و گرمایشی مورد نیاز ساختمان‌های مسکونی

ساختمان	بار سرمایشی مورد نیاز (btu/hr)	بار گرمایشی مورد نیاز (btu/hr)
الف (۱۲۰ واحدی)	۶,۳۵۵,۰۵۴	۸,۰۷۶,۴۶۴
ب (۲۶۰ واحدی)	۱۲,۸۹۸,۷۳۸	۱۵,۵۲۵,۴۵۷

دهنده این است که، میزان مصرف برق سناریوها نسبت به یکدیگر، در هر دو ساختمان یکسان هستند.

جدول ۸ مصرف سالانه آب، برق و گاز در سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی مورد بررسی در ساختمان «ب» (۲۶۰ واحدی)

سناریوهای مورد بررسی	مصرف سالانه آب (m ³)	مصرف سالانه برق (kW)	مصرف سالانه گاز (m ³)
۱ گرمایش: پکیج و رادیاتور سرمایش: کولر آبی	-	۲۱۱،۷۶۱	۴،۴۷۸،۶۷۰
۲ گرمایش: پکیج و رادیاتور سرمایش: داکت اسپلیت	-	۲۱۱،۷۶۱	۴،۴۸۷،۶۷۰
۳ گرمایش: دیگ و رادیاتور سرمایش: کولر آبی	۳۹،۵۶۴	۲۱۱،۷۶۱	-
۴ گرمایش: دیگ و داکت اسپلیت سرمایش: داکت اسپلیت	-	۳،۲۱۹،۶۹۶	-
۵ سرمایش: چیلر تراکمی هواخنک	-	۱،۶۸۹،۸۱۱	۳،۷۵۶،۸۱۶
۶ گرمایش: دیگ و فن کوئل سرمایش: چیلر تراکمی آبخنک	۳۰،۲۴۰	۱،۶۸۹،۸۱۱	-
۷ گرمایش: دیگ و فن کوئل سرمایش: چیلر جذبی تک اثره	۴۰،۳۲۰	۱،۶۸۹،۸۱۱	۳،۷۵۶،۸۱۶

در بین سیستم‌های گرمایشی به عنوان مصرف کننده اصلی گاز در ساختمان ب، بر خلاف ساختمان الف، سیستم مستقل پکیج حدود ۱۹.۵ درصد مصرف گاز بیشتری نسبت به سیستم مرکزی دیگ دارد. این موضوع نشان دهنده این است که با بیشتر شدن مترای ساختمان از حد مشخصی، مصرف گاز سیستم‌های مستقل از مصرف گاز سیستم‌های مرکزی پیشی می‌گیرد. چیلر جذبی تک اثره در نیز، به عنوان یک سیستم سرمایشی مرکزی، مصرف کننده گاز می‌باشد. نکته قابل توجه این است که با وجود اینکه در ترکیب هفتم هم سیستم سرمایشی و هم سیستم گرمایشی مصرف گاز دارند، مصرف گاز پکیج به مجموع مصرف گاز کل سناریوی هفتم بسیار نزدیک است.

۲-۶- نتایج تحلیل اقتصادی

در این قسمت نتایج تحلیل اقتصادی هفت سناریوی مورد بررسی در ساختمان-های نمونه ارائه شده است. هزینه‌های اولیه، هزینه‌های جاری در طول یک سال و نتایج تحلیل اقتصادی ۳۰ ساله در این قسمت مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۲۶، ۲۷]. منظور از هزینه‌های اولیه، هزینه‌های مربوط به خرید تجهیزات سرمایشی و گرمایشی، تجهیزات جانبی آنها، هزینه‌های حمل و نقل و نصب آنها و هزینه‌های مربوط به خرید و نصب لوله‌ها و کانال‌ها است. همچنین منظور از هزینه‌های جاری، هزینه‌های مربوط به مصرف آب، برق و گاز تجهیزات و هزینه تعمیرات و نگهداری تمامی تجهیزات است [۲۸].

در جدول ۹، می‌توان هزینه‌های اولیه و جاری را برای هر یک از سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی مورد بررسی را در ساختمان الف مشاهده کرد. در بین سیستم‌های گرمایشی، پکیج و داکت اسپلیت، دیگ و داکت اسپلیت، دیگ و فن کوئل، پکیج و رادیاتور و دیگ و رادیاتور، کمترین تا بیشترین هزینه‌های

سیستم مرکزی گرمایشی دیگ، علاوه بر پمپ‌ها که مصرف برق بالایی دارند، مشعل دیگ‌ها نیز برق قابل توجهی را به نسبت پکیج مصرف می‌کند. مصرف برق ساختمان الف در بخش سرمایش کولرهای آبی کمترین مصرف برق را دارا هستند. زیرا در این تجهیزات تنها الکتروموتور کولر به همراه یک پمپ کوچک، مصرف کننده برق هستند. بعد از کولر آبی، چیلر جذبی تک اثره، کمترین مصرف برق را در بین سیستم‌های سرمایشی، با مصرف ۱.۶۳ برابر نسبت به کولر آبی، به علت استفاده از پمپ برای رساندن آب سرد به فن کوئل‌ها دارد. داکت اسپلیت، چیلر تراکمی آبخنک و چیلر تراکمی هواخنک، به علت وجود کمپرسورها در ساختار خود، با اختلاف زیادی، مصرف برق بیشتری را به نسبت دو سیستم اول دارند. داکت اسپلیت، چیلر تراکمی آبخنک و چیلر تراکمی هواخنک، به ترتیب حدود ۴.۶۵، ۴.۸۳ و ۸.۶۵ برابر مصرف برق بیشتری نسبت به کولرهای آبی دارند.

مصرف گاز نیز تنها مربوط به سیستم‌های گرمایشی می‌باشد که سیستم مستقل پکیج، حدود ۲۹ درصد مصرف گاز کمتری به نسبت سیستم مرکزی دیگ دارند. یکی از دلایل این امر این است که در شبیه‌سازی و انتخاب تجهیزات، ماکزیمم بار حرارتی مورد نیاز در نظر گرفته شده است. در ساختمان الف، مجموع ماکزیمم بار حرارتی واحدهای مسکونی در سیستم‌های مستقل، کمتر از ماکزیمم بار حرارتی کل ساختمان در سیستم‌های مرکزی می‌باشد. چیلر جذبی تک اثره نیز، به عنوان یک سیستم سرمایشی مرکزی، مصرف کننده گاز می‌باشد.

میزان مصرف آب، برق و گاز در ساختمان «ب» با ۲۶۰ واحد، کمی با ساختمان «الف» با ۱۲۰ واحد متفاوت است. در ساختمان «ب» با توجه به جدول ۸، سیستم سرمایشی چیلر تراکمی آبخنک کمترین میزان مصرف آب را دارد. کولرهای آبی با ۳۰ درصد مصرف بیشتر نسبت به چیلر آبخنک، در جایگاه بعدی قرار گرفته و در نهایت چیلر جذبی تک اثره، با ۳۳ درصد مصرف بیشتر نسبت به چیلر آبخنک، بیشترین مصرف آب را در طی یک سال خواهد داشت. در ساختمان ب، بر خلاف ساختمان الف، میزان مصرف آب سیستم سرمایشی مستقل کولر آبی تقریباً با مصرف آب چیلر جذبی که یک سیستم سرمایشی مرکزی است، برابر شده است. این بدین معنا است که با بیشتر شدن مترای ساختمان از یک حد مشخص، سیستم‌های مرکزی آب کمتری را نسبت به سیستم‌های مستقل مصرف می‌کنند.

در ساختمان ب، از بین دو سیستم پکیج و دیگ، به عنوان سیستم‌های گرمایشی مستقل و مرکزی، پکیج مصرف برق کمتری نسبت به دیگ دارد. در واقع دیگ حدود ۷.۹۸ برابر برق بیشتری نسبت به پکیج مصرف می‌کند. علت این امر این است که، در سیستم مرکزی گرمایشی دیگ، علاوه بر پمپ‌ها که مصرف برق بالایی دارند، مشعل دیگ‌ها نیز برق قابل توجهی را به نسبت پکیج مصرف می‌کند. در میان سیستم‌های سرمایشی در ساختمان ب نیز، کولرهای آبی کمترین مصرف برق را دارا می‌باشند. زیرا در این تجهیزات تنها الکتروموتور کولر به همراه یک پمپ کوچک، مصرف کننده برق هستند. بعد از کولر آبی، چیلر جذبی تک اثره، کمترین مصرف برق را با مصرف ۲.۲۸۴ برابر نسبت به کولرهای آبی دارد. داکت اسپلیت، چیلر تراکمی آبخنک و چیلر تراکمی هواخنک، به علت وجود کمپرسورها در ساختار خود، با اختلاف زیادی، مصرف برق بیشتری را به نسبت دو سیستم اول دارند. داکت اسپلیت، چیلر تراکمی آبخنک و چیلر تراکمی هواخنک، به ترتیب حدود ۴.۴۶، ۵.۲۳ و ۸.۰۳ برابر مصرف برق بیشتری را به نسبت کولرهای آبی دارند. نتایج این بخش نشان

گرفت که در ساختمان ب، اولاً هزینه سیستم مرکزی دیگر نسبت به پکیج بیشتر می‌باشد. دوماً، استفاده از رادیاتور هزینه اولیه زیادی را به نسبت سیستم - های گرمایشی دیگر تحمیل خواهد کرد. در سیستم‌های سرمایشی در سناریوهای هفتگانه، در ساختمان ب، به ترتیب، کولرهای آبی، داکت اسپلیت‌ها، چیلر تراکمی آب‌خنک، چیلر تراکمی هواخنک و در آخر چیلر جذبی تک اثره، کمترین تا بیشترین هزینه‌های اولیه را در پی خواهند داشت. در جداول ۸ و ۹، علت اصلی اختلاف زیاد هزینه‌های اولیه مربوط به چیلرها نسبت به باقی سیستم‌های سرمایشی، قیمت بالای آنها می‌باشد. در هر دو ساختمان الف و ب، هزینه‌های اولیه ترکیب‌های مختلف نسبت به یکدیگر یکسان است. این مطلب در مورد هزینه‌های جاری نیز صادق است و تنها در ساختمان ب، بر خلاف ساختمان الف، هزینه‌های دومین ترکیب مورد بررسی از ترکیب سوم پیشی گرفته است.

اولیه را به خود اختصاص می‌دهند. با توجه به این موضوع، می‌توان نتیجه گرفت که برای ساختمان الف، اولاً، هزینه سیستم مرکزی دیگر نسبت به پکیج بیشتر می‌باشد. دوماً، استفاده از رادیاتور هزینه اولیه زیادی را به نسبت سیستم‌های گرمایشی دیگر تحمیل خواهد کرد. در بین سیستم‌های سرمایشی در ساختمان الف، به ترتیب، کولرهای آبی، داکت اسپلیت‌ها، چیلر تراکمی آب‌خنک، چیلر تراکمی هواخنک و در آخر چیلر جذبی تک اثره، کمترین تا بیشترین هزینه‌های اولیه را در پی خواهند داشت.

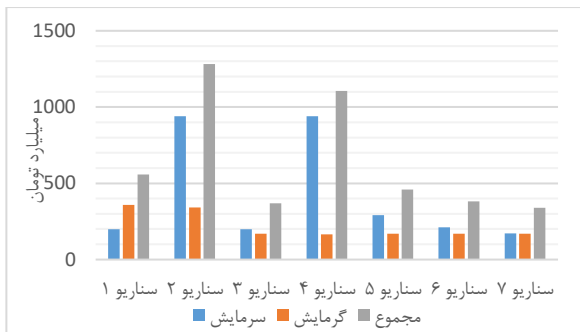
در جدول ۱۰ نیز، می‌توان هزینه‌های اولیه و جاری را برای هر یک از سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی مورد بررسی را در ساختمان ب مشاهده کرد. در بین سیستم‌های گرمایشی، پکیج و داکت اسپلیت، دیگر و داکت اسپلیت، دیگر و فن کوئل، پکیج و رادیاتور و دیگر و رادیاتور، کمترین تا بیشترین هزینه‌ های اولیه را به خود اختصاص می‌دهند. با توجه به این موضوع، می‌توان نتیجه

جدول ۹ هزینه‌های اولیه و جاری سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی مورد بررسی در ساختمان الف

سناریوهای مورد بررسی	هزینه‌های اولیه (تومان)	مجموع (تومان)	هزینه‌های جاری (تومان)	مجموع (تومان)
۱ گرمایش: پکیج و رادیاتور	۳,۴۳۲,۱۸۰,۰۰۰	۶,۶۹۸,۱۸۰,۰۰۰	۶۰۴,۹۲۳,۳۸۲	۸۶۲,۵۳۱,۸۸۶
سرمایش: کولر آبی	۳,۲۶۶,۰۰۰,۰۰۰		۲۵۷,۶۰۸,۵۰۴	
۲ گرمایش: پکیج و رادیاتور	۱,۷۸۹,۰۰۰,۰۰۰	۱۲,۹۸۰,۵۷۲,۰۰۰	۶۰۴,۹۲۳,۳۸۲	۱,۴۷۱,۴۰۴,۷۸۱
سرمایش: داکت اسپلیت	۱۱,۱۹۱,۵۷۲,۰۰۰		۶۰۴,۹۲۳,۳۸۲	
۳ گرمایش: دیگر و رادیاتور	۴,۵۳۰,۸۸۰,۰۰۰	۷,۷۹۶,۸۸۰,۰۰۰	۱,۴۹۹,۹۷۳,۸۷۵	۱,۷۵۷,۵۸۲,۳۷۹
سرمایش: کولر آبی	۳,۲۶۶,۰۰۰,۰۰۰		۲۵۷,۶۰۸,۵۰۴	
۴ گرمایش: دیگر و داکت اسپلیت	۲,۲۸۲,۲۰۰,۰۰۰	۱۴,۰۱۹,۷۷۲,۰۰۰	۱,۴۹۹,۹۷۳,۸۷۵	۲,۳۶۶,۴۵۵,۲۷۴
سرمایش: داکت اسپلیت	۱۱,۱۹۱,۵۷۲,۰۰۰		۸۶۶,۴۸۱,۳۹۹	
۵ گرمایش: دیگر و فن کوئل	۳,۳۱۲,۲۰۰,۰۰۰	۲۲,۲۶۵,۱۹۰,۰۰۰	۱,۴۹۹,۹۷۳,۸۷۵	۳,۲۶۹,۳۱۷,۷۵۶
سرمایش: چیلر تراکمی هواخنک	۱۸,۹۵۲,۹۹۰,۰۰۰		۱,۷۶۹,۳۴۳,۸۸۱	
۶ گرمایش: دیگر و فن کوئل	۳,۳۱۲,۲۰۰,۰۰۰	۱۹,۹۸۶,۱۹۰,۰۰۰	۱,۴۹۹,۹۷۳,۸۷۵	۲,۶۶۳,۰۶۸,۵۸۰
سرمایش: چیلر تراکمی آب‌خنک	۱۶,۶۷۳,۹۹۰,۰۰۰		۱,۱۶۳,۰۹۴,۷۰۵	
۷ گرمایش: دیگر و فن کوئل	۳,۳۱۲,۲۰۰,۰۰۰	۲۴,۵۱۷,۱۹۰,۰۰۰	۱,۴۹۹,۹۷۳,۸۷۵	۲,۲۴۵,۷۷۸,۳۰۰
سرمایش: چیلر جذبی تک اثره	۲۱,۲۰۴,۹۹۰,۰۰۰		۷۴۵,۸۰۴,۴۲۵	

جدول ۱۰ هزینه‌های اولیه و جاری سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی مورد بررسی در ساختمان ب

ترکیب	هزینه‌های اولیه (تومان)	مجموع (تومان)	هزینه‌های جاری (تومان)	مجموع (تومان)
۱ گرمایش: پکیج و رادیاتور	۷,۱۰۶,۶۸۰,۰۰۰	۱۳,۸۵۲,۱۶۰,۰۰۰	۱,۳۰۸,۱۵۷,۵۵۳	۱,۸۱۵,۳۱۸,۱۷۱
سرمایش: کولر آبی	۶,۷۴۵,۴۸۰,۰۰۰		۵۰۷,۱۶۰,۶۱۸	
۲ گرمایش: پکیج و رادیاتور	۳,۷۴۵,۰۰۰,۰۰۰	۲۷,۴۱۳,۷۵۰,۰۰۰	۱,۳۰۸,۱۵۷,۵۵۳	۳,۱۱۶,۸۲۵,۱۳۱
سرمایش: داکت اسپلیت	۲۳,۶۶۸,۷۵۰,۰۰۰		۱,۸۰۸,۶۶۷,۵۷۷	
۳ گرمایش: دیگر و رادیاتور	۷,۴۷۳,۵۶۰,۰۰۰	۱۴,۲۱۹,۰۴۰,۰۰۰	۱,۷۷۸,۶۴۶,۱۹۸	۲,۲۸۵,۸۰۶,۸۱۶
سرمایش: کولر آبی	۶,۷۴۵,۴۸۰,۰۰۰		۵۰۷,۱۶۰,۶۱۸	
۴ گرمایش: دیگر و داکت اسپلیت	۴,۲۲۴,۶۰۰,۰۰۰	۲۷,۸۹۳,۳۵۰,۰۰۰	۱,۷۷۸,۶۴۶,۱۹۸	۳,۵۸۷,۳۱۳,۷۷۵
سرمایش: داکت اسپلیت	۲۳,۶۶۸,۷۵۰,۰۰۰		۱,۸۰۸,۶۶۷,۵۷۷	
۵ گرمایش: دیگر و فن کوئل	۵,۱۸۴,۶۰۰,۰۰۰	۴۰,۹۴۱,۵۴۰,۰۰۰	۱,۷۷۸,۶۴۶,۱۹۸	۴,۸۳۳,۱۸۱,۷۳۰
سرمایش: چیلر تراکمی هواخنک	۳۵,۷۵۶,۹۴۰,۰۰۰		۳,۰۵۴,۵۳۵,۵۳۲	
۶ گرمایش: دیگر و فن کوئل	۵,۱۸۴,۶۰۰,۰۰۰	۳۷,۷۱۹,۵۴۰,۰۰۰	۱,۷۷۸,۶۴۶,۱۹۸	۳,۸۶۵,۸۱۶,۴۰۱
سرمایش: چیلر تراکمی آب‌خنک	۳۲,۵۳۴,۹۴۰,۰۰۰		۲,۰۸۷,۱۷۰,۲۰۴	
۷ گرمایش: دیگر و فن کوئل	۵,۱۸۴,۶۰۰,۰۰۰	۴۵,۳۶۴,۱۴۰,۰۰۰	۱,۷۷۸,۶۴۶,۱۹۸	۲,۹۹۸,۳۴۹,۸۲۹
سرمایش: چیلر جذبی تک اثره	۴۰,۱۷۹,۵۴۰,۰۰۰		۱,۲۱۹,۷۰۳,۶۳۱	



شکل ۶ نمودار تحلیل اقتصادی ۳۰ ساله‌ی ترکیب‌های مختلف در ساختمان ب

۷- جمع بندی

در این مطالعه به بررسی فنی و اقتصادی تعدادی از سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی رایج در ساختمان‌های مسکونی بلند مرتبه، در قالب هفت سناریو پرداخته شده است. اصلی‌ترین سوالی که در این مطالعه به آن پرداخته شده این است که، برای هر یک از ساختمان‌های مسکونی کدام یک از سناریوها مناسب می‌باشد. چند عامل مهم برای پاسخ به این سوال باید مورد توجه قرار گیرد. عامل اول، میزان مصرف انرژی (برق و گاز) و آب سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی (سناریوهای هفتگانه) است. برای هر گروه از ساختمان‌ها باید بهینه‌ترین و کم مصرف‌ترین سناریو انتخاب شود. انتخاب بهینه‌ترین سناریو بدون در نظر گرفتن مسائل جغرافیایی و اقلیمی امکان‌پذیر نمی‌باشد. به عنوان مثال نمی‌توان برای منطقه‌ای که با خشکسالی و کم آبی دست و پنجه نرم می‌کند، سیستمی با مصرف آب بالا انتخاب کرد. بنابراین اقلیم و جغرافیای ساختمان‌های مورد بررسی، دومین عاملی است که باید به آن توجه کرد. عامل سوم، مسائل اقتصادی می‌باشد. هزینه‌های اولیه و هزینه‌هایی که سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی در دراز مدت تحمیل می‌کنند، در انتخاب بهینه‌ترین سناریو در ساختمان‌های مسکونی مورد بررسی، از اهمیت بالایی برخوردار هستند. عامل نهمی نیز مسائل فرهنگی می‌باشد. بنابراین در این مطالعه، با توجه به این فرض که ساختمان‌های مورد بررسی همگی در شهر تهران واقع شده‌اند، مسئله اقتصادی در اولویت اول و بعد از آن مسئله مصرف انرژی و آب در سناریوهای مختلف در اولویت دوم بررسی قرار می‌گیرد.

با توجه به تحلیل‌های انجام شده، در ساختمان الف، سناریوی سوم از همه جهات عملکرد بهتری را از خود نشان می‌دهد. اما نکته مهمی که باید در نظر گرفت این است که سناریوهای اول و سوم، به دلیل استفاده از کولر آبی به عنوان سیستم سرمایشی، در ساختمان‌های بلند مرتبه قابل استفاده نیستند. زیرا قوانین اجازه استفاده از کولر آبی در نمای ساختمان را نمی‌دهد. سناریوی هفتم در تحلیل اقتصادی ۳۰ ساله با اختلاف کمی بعد از سناریوی سوم و بعد از آن سناریوی ششم قرار می‌گیرد. بنابراین، در مجموع سناریوی هفتم عملکرد بهتری را نسبت به باقی سناریوها دارد. سناریوی ششم، از همه جهات به جز میزان مصرف آب، بعد از سناریوی هفتم، از همه سناریوها برتری داشته و بعد از آن سناریوی پنجم قرار می‌گیرد. در ساختمان ب نیز، سناریوهایی که از سیستم گرمایش مرکزی استفاده می‌کنند، برتری کاملی به نسبت سناریوها با گرمایش مستقل دارند. اما در بخش سرمایش، همچنان کولرهای آبی، به علت هزینه‌های جاری و اولیه کم به نسبت باقی سیستم‌ها، در تحلیل سی ساله هزینه‌های کمتری را تحمیل می‌کنند. با این حال بدیهی است که با توجه به ساختار بیست طبقه و تعداد واحدهای زیاد ساختمان ب، استفاده از سیستم سرمایشی کولر آبی غیرممکن است. در ساختمان ب، سیستم‌های مرکزی به

در ادامه نتایج تحلیل اقتصادی ۳۰ ساله ارائه شده است. در تحلیل صورت گرفته، تمام هزینه‌ها در طول ۳۰ سال جمع می‌شود و در نهایت ترکیبی که هزینه کمتری را در این بازه زمانی داشته باشد، مطلوب‌تر است. در تحلیل ۳۰ ساله، هزینه‌های اولیه و جاری (هزینه‌های مصرف آب، برق و گاز و تعمیرات و نگهداری)، هزینه‌هایی که استهلاک تجهیزات تحمیل می‌کند و همچنین هزینه تعویض تجهیزاتی که در این بازه ۳۰ ساله عمر مفیدشان تمام می‌شود، در نظر گرفته شده‌اند. در شکل‌های ۵ و ۶، مجموع هزینه‌هایی که در طول ۳۰ سال، به وسیله سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی به ساختمان‌های الف و ب وارد می‌شود، قابل مشاهده می‌باشد. در شکل‌های ۵ و ۶، ستون‌های آبی و نارنجی، به ترتیب مربوط به سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی هستند. همچنین ستون خاکستری مربوط به کل هزینه‌هایی است که هر سناریو به صورت کلی، به ساختمان مورد نظر وارد می‌کنند.

در ساختمان الف، پس از ۳۰ سال و با توجه به شکل ۵، به ترتیب سناریوهای سوم، هفتم، ششم، اول، پنجم، چهارم و دوم، به صرفه‌ترین تا پر هزینه‌ترین سناریوها در طی ۳۰ سال هستند. همانطور که مشاهده می‌شود در این ساختمان، به جز سناریوی سوم، سناریوهای مربوط به سیستم‌های مرکزی، از سناریوهای مربوط به سیستم‌های مستقل عملکرد اقتصادی بهتری را در طی سی سال دارند. اما همچنان سناریوی سوم به دلیل قیمت بسیار پایین‌تر کولرهای آبی، علیرغم تعداد بالای آنها، نسبت به سیستم‌های سرمایش مرکزی، بهترین سناریو می‌باشد. همچنین تعداد و به دنبال آن، هزینه‌ی بالای رادیاتورها در سناریوی اول سبب شده است تا این سناریو عملکرد اقتصادی ضعیف‌تری را به نسبت سناریوهای هفتم و ششم، از خود نشان دهد. در تحلیل ۳۰ ساله‌ی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی در ساختمان الف، سناریوی سوم حدود ۵ درصد به صرفه‌تر از سناریوی هفتم، ۱۲ درصد به صرفه‌تر از سناریوی ششم، ۱۳ درصد به صرفه‌تر از سناریوی اول، ۳۱.۷ درصد به صرفه‌تر از سناریوی پنجم، ۱۵۱ درصد به صرفه‌تر از سناریوی چهارم و در نهایت ۱۶۳ درصد به صرفه‌تر از سناریوی دوم می‌باشد.



شکل ۵ نمودار تحلیل اقتصادی ۳۰ ساله‌ی ترکیب‌های مختلف در ساختمان الف

در ساختمان ب، پس از ۳۰ سال و با توجه به شکل ۶، به ترتیب سناریوهای هفتم، سوم، ششم، پنجم، اول، چهارم و دوم، به صرفه‌ترین تا پر هزینه‌ترین سناریوها در طی سی سال هستند. در تحلیل ۳۰ ساله، سناریوی هفتم حدود ۸.۵ درصد به صرفه‌تر از سناریوی سوم، ۱۲ درصد به صرفه‌تر از سناریوی ششم، ۳۵ درصد به صرفه‌تر از سناریوی پنجم، ۶۴ درصد به صرفه‌تر از سناریوی اول، ۲۲۵ درصد به صرفه‌تر از سناریوی چهارم و در نهایت ۲۷۶ درصد به صرفه‌تر از سناریوی دوم می‌باشد.

[8] Shariyah, A., B. Tashtoush, and A. Rousan, Cooling and heating loads in residential buildings in Jordan, *Energy and buildings*, Vol. 26, No. 2, pp. 137-143, 1997.

[9] Bolattürk, A., Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey, *Building and environment*, Vol. 43, No. 6, pp. 1055-1064, 2008.

[10] Rahmani, M., Identification and analysis of heating and cooling systems and building materials and providing methods to reduce thermal energy consumption in buildings, University of Tehran, 2014. (In Persian)

[11] Anbarzadeh, A., Energy, economic and environmental optimization of building insulation thickness considering different heating and cooling systems, Khwarazmi University, 2018. (In Persian)

[12] Shahrijardi, M., technical and economic review of cooling and heating systems in the technical and engineering faculty of Arak University, Arak University, 2017. (In Persian)

[13] Bazarafshan, A.A., optimization of energy production in buildings (case example: 4-story residential building), Sajjad University of Technology, 2017. (In Persian)

[14] Sepehr, F., Comparative study of energy consumption of different heating and cooling systems in a residential sample building using Design Builder software, International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Development Management in Iran, Tehran, 2017. (In Persian)

[15] Abedi, A., P. Badaghi, and Sh. Araste ship, technical and economic comparison of absorption and compression chillers, in the 8th National Energy Conference, 1390. (In Persian)

[16] Abedi, A. and K. Khosrovian, technical and economic comparison of absorption and compression chillers, 2013. (In Persian)

[17] Abbas, A. and c. Hamed, Modeling and comparing the energy consumption of air conditioning systems in a model building, in the 14th Annual Mechanical Engineering Conference, 1385. (In Persian)

[18] Mohammad Ali, M., S. Shima, and N. Fatemeh, review and comparison of four types of mechanical building equipment in connection with HVAC systems and in order to optimize energy consumption and use the results in the design of a residential building in Isfahan, in the second national conference on applied mechanical engineering, 2017. (In Persian)

[19] Wei, B. and H. Yang. Energy consumption analysis of residential central air conditioning systems, in *Energy Sustainability*, 2009.

[20] Wang, W., et al., Energy performance comparison of heating and air-conditioning systems for multi-family residential buildings, *HVAC&R Research*, Vol. 17, No. 3, pp. 309-322, 2011.

[21] Alghoul, S.K., A comparative study of energy consumption for residential hvac systems using EnergyPlus, *American Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 98-103, 2017.

[22] Zadeh, M.B.-P.A., Engineering Economics: Economic Analysis of Projects, Sharif University of Technology, 2013. (In Persian)

[23] A.A.S., Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings, ASHRAE Standards and Guidelines, 2022.

[24] Tabatabai, S.M., Calculations of building facilities (central heating, air conditioning, water supply and construction waste disposal), ed. CH, 2013. (In Persian)

[25] Maftuni, N. and K. Movishti, optimization of cooling and heating energy consumption of a residential complex in a hot and dry climate, *Mechanical Engineering Tabriz University*, Vol. 50, No. 3, pp. 215-224, 2020, (In Persian).

[26] Pirkandi, J., Maroufi, A. and Ommian, M., Exergy and economic investigation of different strategies of hybrid systems consisting of gas turbine (GT) and solid oxide fuel cell (SOFC), *International Journal of Integrated Engineering*, Vol 14, No. 1, pp. 127-139, 2022.

[27] Pirkandi, J. and Ommian, Thermo-Economic Operation Analysis of SOFC-GT Combined Hybrid System for Application in Power Generation Systems, *Journal of Electrochemical Energy Conversion and Storage*, Vol 16, No. 1, pp. 011001, 2019.

[28] Pirkandi, J., Maroufi, A. and Khodaparast, S., Parametric simulation and performance analysis of a solar gas turbine power plant from thermodynamic and exergy perspectives, *Journal of mechanical Science and Technology*, Vol 32, pp. 2365-2375, 2018.

نسبت سیستم‌های مستقل، برتری قابل توجهی را از جهات مختلف پیدا کرده‌اند. در سناریوی هفتم، میزان مصرف آب و گاز، بیشتر از سناریوهای پنجم و ششم بوده اما مصرف برق آب به میزان قابل توجهی کمتر از سناریوهای پنجم و ششم است. هزینه‌های اولیه سناریوی هفتم بالاتر از هزینه‌های اولیه سناریوهای پنجم و ششم بوده ولی هزینه‌های جاری سناریوی هفتم کمتر از هزینه‌های جاری سناریوهای پنجم و ششم می‌باشد. در تحلیل اقتصادی ۳۰ ساله نیز سناریوی هفتم عملکرد بهتری را نسبت به سناریوهای پنجم و ششم دارد. سناریوی ششم، به جز در مورد مصرف آب، از باقی جهات عملکرد بسیار بهتری را نسبت به سناریوی پنجم از خود نشان می‌دهد. بنابراین با در نظر گرفتن اولویت‌های ذکر شده در این بخش، به ترتیب سناریوی هفتم، ششم و پنجم برای ساختمان مناسب هستند. ذکر این نکته لازم است که، در صورتی که میزان مصرف آب جز اولویت اول انتخاب قرار گیرد، سناریوی پنجم که از چیلر هواخنک استفاده می‌کند، در هر دو ساختمان گزینه مناسب‌تری می‌شود. در نهایت چند نتیجه کلی از مطالعه حاضر می‌توان گرفت.

در تحلیل اقتصادی ۳۰ ساله و با افزایش تعداد طبقات و واحدهای ساختمان (افزایش مترای فضای مفید تهویه شده)، عملکرد سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی مرکزی نسبت به سیستم‌های مستقل بهبود یافته و بالعکس. یعنی عملکرد سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی مستقل نسبت به سیستم‌های مرکز افت می‌کند. این روند تا آن جا ادامه می‌یابد که سیستم‌های مرکزی نسبت به سیستم‌های مستقل برتری پیدا می‌کنند. تعرفه مصرف برق در کشور ما به میزان موثری بیشتر از تعرفه‌های مربوط به مصرف آب و گاز می‌باشد. در نتیجه هزینه‌های مربوط به مصرف برق، از هزینه‌های مربوط به مصرف آب و گاز بیشتر است. بنابراین تجهیزاتی که از برق بیشتری استفاده می‌کنند، هزینه‌های جاری بیشتری داشته و در دراز مدت هزینه‌های بیشتری را تحمیل می‌کنند. مثلاً، به همین دلیل است که در همه ساختمان‌ها چیلر هواخنک در سناریوی پنجم، عملکرد اقتصادی ضعیف‌تری را در همه تحلیل‌های اقتصادی از خود نشان می‌دهد. هر چند سناریوی پنجم، به دلیل استفاده از چیلر هواخنک، عملکرد ضعیف‌تری را در همه ساختمان‌ها از خود نشان داد، اما در مناطق خشک و کم آب و مناطقی که رطوبت یا گرد و غبار زیادی دارند، استفاده از این سناریو در ساختمان‌های بلند مرتبه توصیه می‌شود. چرا که چیلرهای هواخنک کندانسور هوایی داشته و مصرف آب نیز ندارند.

۸- مراجع

[1] Hannah Ritchie, M.R.a.P.R. *Energy Country Profile (IRAN)*. 2020; Available from: <https://ourworldindata.org/energy>.

[2] Administration, U.S.E.I. *Energy analysis of iran*. July 20, 2021; Available from: <https://www.eia.gov>.

[3] Energy, M.A.B.V., Energy balance sheet of 1998, V.N.-J.A. Iran, Editor. 2018. (In Persian)

[4] Pérez-Lombard, L., J. Ortiz, and C. Pout, A review on buildings energy consumption information, *Energy and buildings*, Vol. 40, No. 3, pp. 394-398, 2008.

[5] Yang, H., et al., Tailored domestic retrofit decision making towards integrated performance targets in Tianjin, China, *Energy and Buildings*, Vol. 140, pp. 480-500, 2017.

[6] Jazaeri, J., R.L. Gordon, and T. Alpcan, Influence of building envelopes, climates, and occupancy patterns on residential HVAC demand, *Journal of Building Engineering*, Vol. 22, pp. 33-47, 2019.

[7] Kim, D.D. and H.S. Suh, Heating and cooling energy consumption prediction model for high-rise apartment buildings considering design parameters, *Energy for Sustainable Development*, Vol. 61, pp. 1-14, 2021.