

بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک ساختمان اداری مجهز به سیستم مدیریت هوشمند

جمال خداکریمی^{۱*}، پرینا قبادی^۲

^۱ استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

j.khodakarami@ilam.ac.ir

^۲ کارشناس ارشد دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

p.ghobadi_1989@yahoo.com

چکیده: ساختمان‌های اداری در مقایسه با انواع دیگر کاربری‌ها بزرگ‌ترین مصرف‌کننده انرژی در بخش ساختمان‌اند؛ از این رو با ارائه راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی، ارتقای کارایی و اصلاح الگوی بهره‌برداری می‌توان با کاهش میزان انرژی مصرفی، آسایش مورد نظر را فراهم کرد. در این پژوهش با کمک نرم‌افزارهای شبیه‌سازی Designbuilder و دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) و دستگاه‌های ثبت اطلاعات، پارامترهای کیفیت محیط داخل (دما، رطوبت و فشار هوا) و میزان انرژی مورد نیاز در یک ساختمان هوشمند محاسبه و بررسی شد. هدف اولیه مطالعه ارائه راهکارهای ساده و عملی، کاهش مصرف انرژی و ایجاد شرایط آسایش کارکنان در یک ساختمان اداری بلندمرتبه پانزده طبقه در شهر تهران است. مطالعه، سپس راه‌های عملی و ساده کاهش مصرف انرژی را در چنین ساختمانی بررسی می‌کند. یافته‌های شبیه‌سازی نشان داد که با انجام برنامه‌ریزی مناسب در زمینه مصرف و مدیریت انرژی در ساختمان‌های اداری هوشمند، امکان کاهش بیش از ۳۵ تا ۴۰ درصد مصرف انرژی سالانه وجود داشته و بیشترین میزان صرفه‌جویی در بخش‌های سرمایش و روشنایی است.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی مصرف انرژی، ساختمان‌های اداری، ممیزی انرژی، شبیه‌سازی انرژی، CFD، Designbuilder.

۱. مقدمه

یکی از مهم‌ترین موضوعاتی که در چند دهه اخیر مورد توجه اکثر کشورهای صنعتی و پیشرفته بوده، بحث جلوگیری از اتلاف انرژی است. اهمیت این بحث همزمان با ظهور بحران انرژی در سال‌های نخست دهه ۱۹۷۰ زمانی که تقاضا برای منابع انرژی افزایش چشمگیری یافت، روشن شد. البته این نگاه به کاهش مصرف با تأکید بر بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه از قبیل ساختمان‌های اداری همراه بود [۱].

از طرفی سال ۱۷۵۰ میلادی، آغاز انقلاب صنعتی و حضور پررنگ سوخت‌های فسیلی در جوامع مدرن و توسعه یافته بود. با وجود تلاش‌های جهانی با هدف کاهش انتشار کربن از طریق بهینه‌سازی در مصرف انرژی و گسترش منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر، ارقام منتشر شده در سال ۲۰۱۲ از سوی آژانس بین‌المللی انرژی^۱ نشان می‌دهد که سوخت‌های فسیلی بیشترین تسلط را در بخش مصرف انرژی جهانی دارند [۲ و ۳]. سازمان‌ها و مؤسسات مهم در زمینه بررسی و ارائه آمار و اطلاعات تولید و مصرف انرژی از قبیل آژانس اطلاعات انرژی^۲، پترولیوم بریتانیا^۳ (BP) و آژانس بین‌المللی انرژی، در سال ۲۰۱۲ بیشترین مصرف سوخت‌های فسیلی را به بخش ساختمان به میزان ۳۹ درصد (در رتبه اول) داده‌اند [۲ و ۴]. بهبود بهره‌وری انرژی در بخش ساختمان یکی از اقدامات عملی و پایدار با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و هزینه‌های انرژی است [۵ و ۶]. طبق آمار منتشر شده از سوی آژانس بین‌المللی انرژی در سال ۲۰۱۲، مصرف انرژی در بخش مسکن ۶ درصد تولید کربن دی‌اکسید را به همراه دارد. در این راستا کشور چین با ۸/۳۲۱ میلیارد مگاتن در رتبه اول تولیدکنندگان کربن دی‌اکسید (CO₂) قرار دارد. البته مقدار کربن دی‌اکسید منتشر شده در کشور ایران نیز به نوبه خود کم نبوده و حدوداً ۵۶۰/۳ میلیون مگاتن برآورد شده است [۲]. طبق آمار منتشر شده از سوی آژانس بین‌المللی انرژی، ایران نهمین کشور تولیدکننده انرژی، دهمین کشور مصرف‌کننده انرژی و هشتمین کشور تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای (CO₂) در جهان است [۲].

در طول تاریخ، ساختمان‌ها برای رسیدگی به نیازهای اجتماعی بشر همواره متحمل تغییرات زیادی شده‌اند. افزایش جمعیت همراه با ظهور آسمان‌خراش‌ها بوده که به تبع آن، افزایش مصرف انرژی برای رسیدن به شرایط آسایش انسانی را در پی داشته است. استفاده از منابع انرژی و سوخت‌های فسیلی، افزایش انتشار آلاینده‌ها و اثرات مخرب زیست‌محیطی از پیامدهای این تغییرات به حساب می‌آید. تحقیقات بسیاری نشان می‌دهند تا حدود ۴۰ درصد از کل انرژی تولیدی جهان در

بخش ساختمان مصرف می‌شود [۷] که ۸۰ درصد از کل آن به خدماتی چون تهویه مطبوع، روشنایی و تجهیزات مربوط می‌شود [۸]. میزان مصرف انرژی بخش ساختمان در کشور انگلستان ۳۹ درصد، در اتحادیه اروپا ۳۷ درصد [۹]، در ایالات متحده ۳۷ درصد [۹] و در ژاپن ۳۱ درصد [۱۱] کل انرژی مصرفی را شامل می‌شود. در این میان، تهویه مطبوع بالاترین درصد مصرف انرژی در یک ساختمان به‌ویژه ساختمان‌های اداری را دارد [۱۲ و ۱۳]، در اتحادیه اروپا و ایالات متحده، مصرف انرژی در بخش ساختمان حتی نسبت به حمل‌ونقل و صنعت بیشتر است.

در سال‌های اخیر، رشد مصرف انرژی در جهان سالانه ۱ تا ۲ درصد و در ایران ۵ تا ۸ درصد بوده است، به عبارت دیگر رشد مصرف انرژی در ایران پنج برابر متوسط رشد مصرف در جهان است. همچنین مصرف انرژی در ساختمان‌های ایران به‌عنوان یک بخش غیر مولد بیشترین سهم را در بین همه بخش‌های مصرف به خود اختصاص داده است. با توجه به آمار منتشر شده از سوی سازمان بهره‌وری انرژی ایران و ترازنامه انرژی کشور در سال ۱۳۹۱، سالانه بیش از ۴۲/۷ درصد مصرف انرژی مستقیماً صرف تأمین نیازهای این بخش می‌شود. بیشترین سهم حامل‌های استفاده شده در این بخش در سال ۱۳۸۰ شامل ۵۲ درصد گاز طبیعی، ۳۶ درصد فرآورده‌های نفتی، ۱۱ درصد برق و ۱ درصد سوخت‌های جامد بوده است [۱۴]. در طول دهه گذشته، بسیاری از سازمان‌های جهانی با اختصاص سرمایه‌های کلان، با هدف ایجاد محیط‌های پایدار به دنبال کاهش استفاده از منابع تجدیدناپذیر و بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش‌های مختلف به‌ویژه ساختمان‌اند [۱۵]. همچنین با ایجاد منابع جایگزین به دنبال بهبود مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی هستند.

به‌طور کلی ساختمان‌های اداری در مقایسه با انواع دیگر ساختمان‌ها انرژی بیشتری مصرف می‌کنند. میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری بسته به موقعیت و ابعاد ساختمان، سیستم‌های روشنایی و سیستم‌های تهویه مطبوع، انواع و تعداد تجهیزات مورد استفاده در آن در محدوده بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلووات ساعت در هر مترمربع (Kwh.m⁻²) است [۱۶ و ۱۷]. مطالعات انجام شده در ایالات متحده آمریکا نشان می‌دهد که به‌طور متوسط، شدت مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری ۳۰۰ کیلووات ساعت در هر مترمربع است که حدود ۷۰ درصد آن در بخش روشنایی و تهویه مطبوع مصرف می‌شود، این در حالی است که در بریتانیا ۷۲ درصد [۹] و در کانادا ۶۰ درصد [۱۸] مصرف انرژی به این دو عنصر تعلق دارد. علاوه بر این انتظار می‌رود که مصرف انرژی در سال ۲۰۲۵ رشدی در حدود ۸۰ درصد داشته باشد؛ به گونه‌ای که میزان آن از ۱۲۰۰ Mm² به ۲۲۰۰ Mm² افزایش یابد [۱۹ و ۲۰]. استفاده از تهویه طبیعی و تمهیدات مربوط به آن راه حل کم‌هزینه و مناسبی با هدف بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه، قابل توجه است [۲۱ و ۲۳].

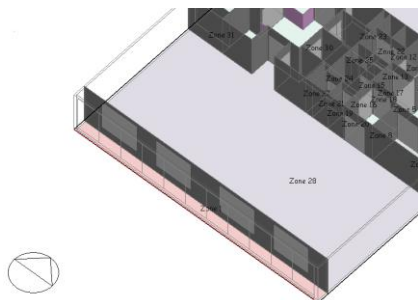
1. International Energy Agency (IEA)
2. Energy Information Agency (EIA)
3. Britannia Petroleum (BP)

اداری است. ساختمان اداری شماره (۲) (با نام ساختمان عرفان) که به عنوان نمونه موردی انتخاب شد، متعلق به یکی از شرکت های نفت و گاز ایران در منطقه دوی شهر تهران بوده و در مجاورت ساختمان شماره (۱) و یک مجتمع مسکونی واقع شده است. نمای کلی از این ساختمان در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل (۱): نمایی از وضعیت موجود ساختمان عرفان

شهر تهران در منطقه پروژه، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۷۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی دارد، ارتفاع این قسمت از شهر از سطح دریا حدود ۱۵۲۰ متر است. شکل (۲) و (۳) مدل ساخته شده در نرم افزار دیزاین بیلدر از این ساختمان را نمایش می دهند. ساختمان مذکور دارای مساحتی معادل ۱۱۱۰/۴۹ مترمربع مفید بوده و جمع کل متراژ آن به ۱۱۶۷۵/۱۷ مترمربع می رسد. این ساختمان دارای ۱۵ طبقه که ۵ طبقه آن در سطوح زیرزمین و ۱۰ طبقه آن در سطوح بالاتر قرار دارند. از این تعداد طبقات، ۹ طبقه مربوط به فضاهای اداری و ۶ طبقه دیگر به فضاهایی نظیر لابی، پارکینگ، آشپزخانه و استخر اختصاص یافته است. همچنین در جبهه جنوبی ساختمان از نمای دوپوسته شیشه ای برای زیباسازی های معماری و کاهش تابش خورشیدی به فضاهای داخل و کاهش خیره کنندگی استفاده شده است. ساختمان عرفان دارای کشیدگی در جهت محور شمالی جنوبی است که جبهه های شرقی و غربی آن با همجواری با ساختمان های مجاور، عملاً بدون باز شو است. بیشترین میزان دریافت تابش خورشیدی مربوط به جبهه های جنوب، جنوب شرقی و جنوب غربی بین ماه های مهر تا بهمن است.



شکل (۲): شماتیک نمای شیشه ای دو پوسته نمونه موردی در محیط

شبهه ساز دیزاین بیلدر

این تحقیق در راستای کاهش مصرف انرژی در ساختمان های اداری ایران به ویژه آن گونه از ساختمان ها که احتمال ساخت بیشتر در آینده را خواهند داشت، انجام می شود. سؤال اصلی مطرح شده در این مطالعه، مربوط به نحوه مصرف انرژی در چنین ساختمان هایی است. در ادامه نیز به راه حل هایی برای کاهش چنین مصرفی و حرکت به سمت ساختمانی با مصرف بهینه انرژی توجه شده است.

۲. روش تحقیق و تجزیه و تحلیل

مطالعات کتابخانه ای، میدانی و شبیه سازی به وسیله نرم افزارهای حرارتی و سیالاتی دیزاین بیلدر^۱ و دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)^۲ و دستگاه های اندازه گیری پارامترهای کیفیت محیط داخل، روش های مورد استفاده در این مطالعه است. در مرحله اول، به بررسی میدانی عوامل محیطی و وضعیت موجود به منظور بررسی عملکرد ساختمان پرداخته می شود. در مراحل بعدی به تجزیه و تحلیل قبض های انرژی ساختمان، شبیه سازی و محاسبه بارهای ساختمان و در نهایت به ممیزی انرژی و ارائه راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان پرداخته می شود.

۱.۲. فرایند انجام ممیزی انرژی در نمونه موردی

در دستورالعمل ممیزی انرژی در ساختمان ضمن تشریح مراحل انجام ممیزی انرژی در ساختمان، وضعیت انرژی ساختمان با توجه به انرژی مصرفی مندرج در قبض های پرداختی مشخص شد. بر این اساس با استفاده از اطلاعات مندرج در قبض های انرژی ساختمان و همچنین داده های سالیانه هواشناسی و ... بارهای ساختمان مشخص شد. سپس با مقایسه وضعیت ساختمان با شرایط استاندارد، وضعیت مصرف انرژی در ساختمان نمونه موردی تعیین شد. شاخص های محیطی و وضع موجود که در مرحله اول مورد بررسی قرار گرفتند عبارتند از:

- اقلیم آب و هوایی محل احداث ساختمان؛
 - مواد و مصالح به کاررفته در پوسته و جداره های خارجی ساختمان
 - نوع معماری و سازه ساختمان؛
 - تأسیسات مرکزی ساختمان (گرمایش، سرمایش، تهویه مطبوع و روشنایی)؛
 - لوازم و تجهیزات مصرف کننده (لوازم برقی و تجهیزات اداری)؛
 - بررسی آماری مصارف و قبض های انرژی ساختمان؛
 - تعیین نوع و میزان مصارف انرژی بخش های مختلف ساختمان
- این اطلاعات در نمونه موردی به شرح زیرند:
- ساختمان مورد مطالعه در این پژوهش، یک ساختمان با کاربری

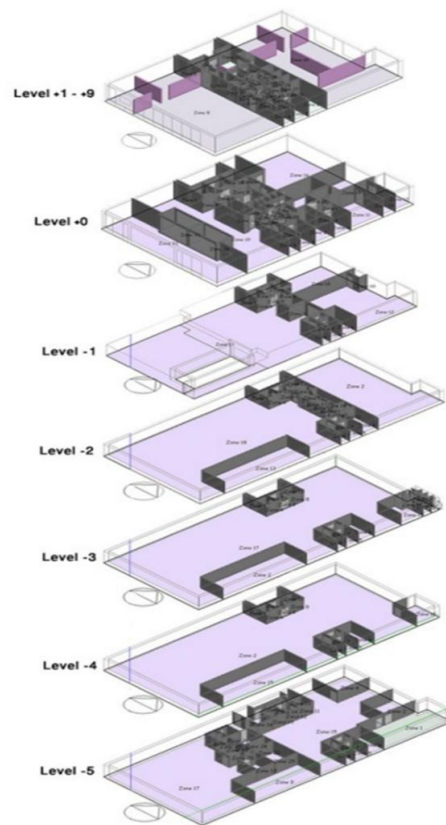
1. Designbuilder
2. Computational Fluid Dynamics (Ansys fluent 15.0)

موجود از دستگاه‌های ثبت دما و رطوبت^۱ در پنج نقطه مختلف داخل و خارج ساختمان استفاده شده است. آنالیز داده‌های ضبط شده توسط دستگاه‌ها نشان‌دهنده قرارگیری ساختمان در محدوده دمایی قابل قبول در فصل‌های سرد و گرم است. بررسی‌ها حاکی از آن است که سیستم مدیریت هوشمند ساختمان نقش مهمی را در فراهم آوردن این شرایط ایفا می‌کند. شکل‌های (۴) و (۵) نمونه دستگاه، موقعیت‌های اندازه‌گیری و شرایط دمای اندازه گرفته شده برای یک دوره ۲۴ ساعته در نمونه موردی را نشان می‌دهند.

در گام بعدی با استفاده از شبیه‌سازی ساختمان موجود و بررسی قبض‌های انرژی مصرفی بارهای سرمایش، گرمایش، روشنایی، آب گرم مصرفی، تجهیزات اداری و... محاسبه شد. مطالعات مربوط به قبوض برق و گاز نشان می‌دهد که بیشترین گاز مصرفی ۵۳۰۰۰ مترمکعب در ماه‌های سرد سال (دی و بهمن) و بیشترین میزان برق مصرفی ۲۴۶۰۰۰ کیلووات ساعت در ماه‌های گرم سال (تیر و مرداد) است. مصارف برق در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۲ نشان می‌دهد که بیشترین مصارف در دوره‌های میان بار به میزان ۸۷۰۶۵۰ کیلووات ساعت در یک سال است. این در حالی است که اوج بار برق ۴۵۷۴۸۰ کیلووات ساعت و کمترین بار جهت تقاضای برق ۵۰۴۵۰۰ کیلووات ساعت است.

همچنین تجزیه و تحلیل قبوض انرژی مصرفی در ساختمان موجود نشان می‌دهد که مصرف سالانه گاز طبیعی در هر مترمربع ۲۰۶/۴ کیلووات ساعت (۲۴۱۲۵۰۰ kwh برای کل ساختمان) و مصرف برق در هر مترمربع ۱۵۷/۲ کیلووات ساعت (۱۸۳۲۶۳۰ kwh برای کل ساختمان) است که مجموع انرژی مصرفی در ساختمان ۳۶۳/۶ کیلووات ساعت در هر مترمربع است.

با انجام شبیه‌سازی در فضای دیزاین بیلدر، آنالیز داده‌های شبیه‌سازی‌های حرارتی و انرژی در سه بخش گرمایش، سرمایش و مصرف انرژی در ساختمان موجود به دست آمده است. نتایج شبیه‌سازی ساختمان عرفان و قبوض مصرفی نشان می‌دهد که بیشترین انرژی مصرف شده این بنا در بخش روشنایی و کمترین آن در بخش پخت و پز است. بخش روشنایی ۳۲٪، گرمایش ۲۲٪، سرمایش ۱۶٪، تجهیزات اداری ۱۵٪، آب گرم مصرفی ۴٪، پخت و پز ۲٪ و در بخش‌های دیگر ۹٪ انرژی مصرفی را به خود اختصاص می‌دهند. این در حالی است که سازمان اطلاعات انرژی ایالات متحده (U.S EIA) در سال ۱۹۹۵، مصرف انرژی ساختمان‌های اداری در بخش‌های مختلف را ۲۹٪ روشنایی، ۲۵٪ گرمایش، ۹٪ سرمایش، ۱۶٪ تجهیزات اداری، ۹٪ آب گرم مصرفی، ۱٪ پخت و پز، ۵٪ تهویه و ۶٪ در



شکل (۳): طرح واره طبقات (۵- تا +۹) نمونه موردی در محیط شبیه‌ساز دیزاین بیلدر

مشخصات اصلی ساختمان عرفان شامل موقعیت، مساحت، برنامه زمان‌بندی استفاده از آن، تعداد کاربران و مشخصات حرارتی سطوح، سیستم گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع و همچنین سیستم مدیریت تجهیزات نیز برداشت شد. سیستم‌های تأسیسات مکانیکی و تهویه مطبوع ساختمان عبارت‌اند از: چیلرهای جذبی، برج خنک‌کننده، دیگ‌های فولادی آب گرم، پمپ‌های سیستم‌های تأسیساتی و بهداشتی، بوستر پمپ‌های آب صنعتی و آب آتش‌نشانی، منابع آب گرم کویلی، منابع انبساط باز. همچنین دستگاه‌ها و تجهیزات تهویه، دستگاه‌های هواساز و فن کوئل دارند.

سیستم مدیریت هوشمند ساختمان (BMS) با کنترل قسمت‌های مختلف نظیر چیلر، بویلر، پمپ، هواساز، فن‌کویل، منابع کویلی، تابلوهای برق، دیزل و ترانس و نمایش خروجی‌های مناسب، وضعیت مناسبی را برای کاربران فراهم ساخته است. به گونه‌ای که استفاده از دستگاه‌های ثبت پارامترهای اقلیمی در ساختمان عرفان نشان می‌دهد که درجه حرارت، رطوبت و فشار هوا در زون‌های مختلف این ساختمان که به وسیله این سیستم تنظیم شده، در یک بازه مشخص و در محدوده آسایش حرارتی قرار گرفته‌اند.

در پژوهش حاضر، برای بررسی پارامترهای آب‌وهوایی وضعیت

شرایط استاندارد در بسیاری از فضاها فراهم نشده است؛ با این حال میزان روشنایی مورد نیاز در طبقات جبهه جنوبی ساختمان نسبت به طبقات جبهه شمالی در شرایط بهتری قرار دارد.

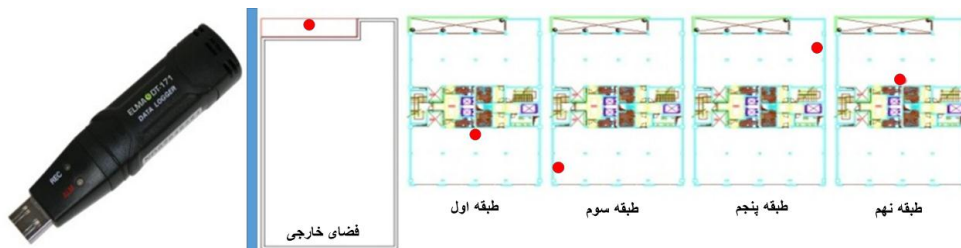
بار حرارتی ساختمان مقدار انرژی گرمایی است که برای حفظ درجه حرارت فضا در محدوده قابل قبول نیاز است، علاوه بر بار گرمایی ساختمان مقداری گرما نیز صرف گرمایش آب استخر، آب گرم مصرفی و... می شود. شبیه سازی در محیط دیزاین بیلدر نشان داد که بیشترین بار گرمایشی ساختمان متعلق به گرمایش فضاهای داخلی به میزان ۵۶ درصد است، بار گرمایشی استخر ۲۱ درصد، تانک آب گرم ۱۹ درصد و ۴ درصد دیگر صرف بار گرمایشی جکوزی می شود. بار حرارتی کل ساختمان با توجه به داده های مندرج در قبوض انرژی و شبیه سازی های حرارتی، $3272768 \text{ Btu.hr}^{-1}$ تخمین زده می شود.

بار سرمایشی ساختمان مقدار انرژی برودتی است که برای حفظ سرمایش و درجه حرارت فضا در محدوده قابل قبول نیاز است، با توجه به شبیه ساز دیزاین بیلدر، در ساختمان عرفان بار برودتی $2369620 \text{ Btu.hr}^{-1}$ تخمین زده شده است که مصرف $36/89$ گاز و $3/4 \text{ kw}$ برق را به همراه دارد.

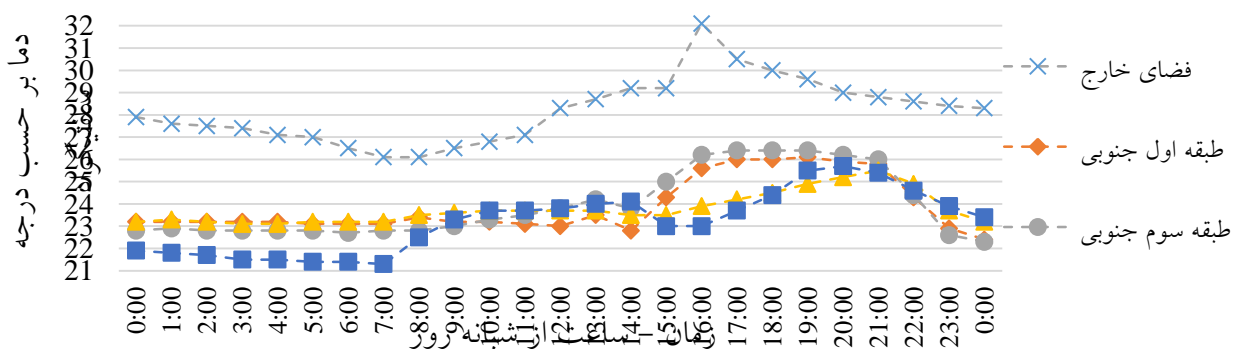
بخش های دیگر عنوان کرد. در نتیجه، انتظار می رود که در ساختمان مورد مطالعه در این پژوهش، به دلیل وجود سیستم مدیریت هوشمند ساختمان، مصرف انرژی در رنج پایین تری قرار داشته باشد. شکل (۶) مصرف انرژی در بخش های مختلف این ساختمان را بر اساس شبیه سازی در محیط دیزاین بیلدر نشان می دهد.

همان طور که گفته شد، بیشترین انرژی مصرفی ساختمان به بخش روشنایی اختصاص می یابد. به همین دلیل در این بخش به منظور اندازه گیری روشنایی موضعی و عمومی در محیط کار با هدف تعیین میزان شدت روشنایی از دستگاه اندازه گیری روشنایی در فضاهای داخل (DT 1309) استفاده شد. شکل (۷) نمونه این دستگاه را نشان می دهد.

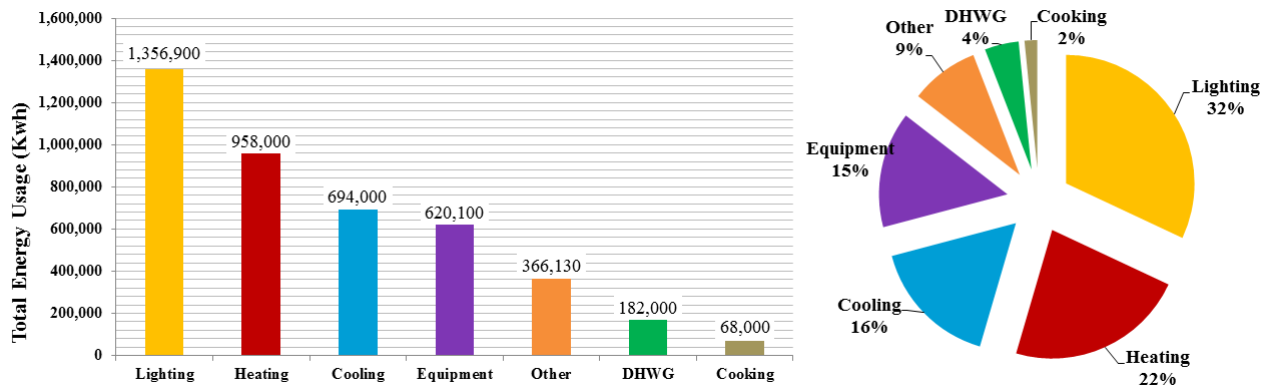
آنالیز داده های اندازه گیری شده در بخش های مختلف ساختمان نشان می دهد که میزان شدت روشنایی موضعی (برحسب لوکس) در جبهه های جنوبی طبقات اول تا نهم به ترتیب ۴۴/۴، ۵۷، ۶۸/۶، ۵۳/۳، ۴۶، ۸۳/۳، ۶۱، ۵۷ و ۲۵ درصد در محدوده میانگین شدت روشنایی مورد نیاز هستند. همچنین این مقادیر در جبهه های شمالی به ترتیب ۱۱، ۴۲، ۲۷، ۷۰، ۵۰، ۵۷، ۵۱/۴، ۴۳ و ۲۳ درصدند. پس می توان نتیجه گرفت که علی رغم اینکه مصرف انرژی در این بخش بسیار بالاست،



شکل (۴): نمونه دستگاه اندازه گیری دما و رطوبت و موقعیت های استفاده از آن در نمونه موردی



شکل (۵): داده های دمایی نقاط مختلف ساختمان (فضای خارج، جبهه جنوبی طبقات اول و سوم، جبهه شمالی طبقات پنجم و نهم)



شکل (۶): انرژی مصرفی سالانه در بخش‌های مختلف نمونه موردی

عایق‌های سلولزی (گیاهی و قابل بازیافت) علاوه بر کارایی حرارتی با پر کردن حفره‌های دیوار به‌عنوان عایق صوتی (سه برابر چگال‌تر از پشم شیشه) و رطوبتی (سرویس بهداشتی) نیز کاربرد داشته و از نظر ایمنی در برابر آتش در سطح بالایی قرار دارد.

۲. اضافه کردن عایق به لوله‌ها و تأسیسات آب گرم: استفاده از فوم پشم شیشه ۵۰ میلی‌متری.

۳. افزایش جداره بازشوها - استفاده از شیشه‌های سه‌جداره با فریم یو پی وی سی (UPVC): افزایش جداره‌های بازشوها در برابر افزایش نوسانات دمایی داخلی و خارج بنا به کاهش مصرف انرژی سرمایشی کمک می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که بیشترین گرمای از دست‌رفته ساختمان به‌وسیله جداره‌های شیشه‌ای و نفوذ هوا به خارج ساختمان است، در نتیجه سعی می‌توان با افزایش جداره‌ها این مشکل را برطرف کرد.

۴. استفاده از مواد سرد (با رنگ روشن و منعکس‌کننده تابش خورشیدی) در سطح خارجی بام: بام‌های سرد یا بازتابنده، معمولاً سفید و دارای ضریب بازتاب بالایی هستند، مواد استفاده شده در این بام‌ها معمولاً تک‌لایه یا به‌صورت مایع است [۲۴]. در سطوح جذب^۳ تفاوت درجه حرارت سطح بام و محیط حدود ۵۰ درجه سانتی‌گراد است، در حالی که این میزان در سطوح با جذب کمتر^۴ تنها ۱۰ درجه سانتی‌گراد است [۲۵]. افزایش بازتاب سطح بام و کاهش حرارت تابشی وارد شده به داخل ساختمان، باعث کاهش بار سرمایشی ساختمان می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که هزینه افزایشی استفاده از یک سطح سرد نسبت به سطح تیره و جذب خورشید، کمتر از ۱۰ درصد است [۲۶] که با توجه به کاهش ۲۰ درصد مصرف انرژی سرمایشی ساختمان [۲۷] بسیار به‌صرفه است.

۵. استفاده از پنجره‌های دارای بازشوی قابل کنترل برای افزایش تهویه طبیعی در نماهای شمال و جنوب: گفتنی است که پنجره‌های ساختمان موجود ثابت و بدون بازشو هستند. شبیه‌سازی جریان هوا



شکل (۷): نمونه دستگاه اندازه‌گیری شدت نور، استفاده‌شده در مطالعه موردی

۲.۲. بهبودسازی انرژی در نمونه موردی

در گام بعدی مدل مربوط (ساختمان اداری پانزده طبقه) را در محیط شبیه‌ساز دیزاین بیلدر قرار داده و با بررسی میزان هدرفت انرژی با ارائه راهکارهای مناسب، منطقی و کم‌هزینه به بهبودسازی انرژی در ساختمان پرداخته شد. با اعمال راهکارهای بهبودسازی، شاخص‌های مختلف روشنایی، سرمایش، گرمایش، تجهیزات و... میزان صرفه‌جویی انرژی ارائه شد.

بهبودسازی انرژی و فراهم آوردن شرایط آسایش حرارتی در این ساختمان با استفاده از استراتژی‌ها و ابزارهای طبیعی (روشنایی طبیعی، تهویه طبیعی برای فصول گرم و بهره‌گیری از تابش آفتاب متناسب با اقلیم منطقه برای فراهم آوردن بار گرمایش بنا)، با هدف کاهش وابستگی به سیستم‌های مکانیکی، سوخت‌های فسیلی و تحقق یک معماری همساز با محیط زیست (بیوکلیماتیک)^۱ در نظر گرفته شد.

تکنیک‌های مورد استفاده به‌منظور کاهش مصرف انرژی و بهبود شرایط آسایش در ساختمان موجود عبارت‌اند از:

۱. اضافه کردن عایق به دیوارهای خارجی، اضافه کردن لایه ۶۰ میلی‌متری سلولزی با دانسیته بالا: پس از بررسی و آنالیز داده‌ها، استفاده از عایق‌های حرارتی پلی‌استایرن و سلولزی^۲، میزان کاهش بار سرمایش و گرمایش در مدل شبیه‌سازی شده تقریباً به یک اندازه بود. اما استفاده از

3. Low-albedo
4. High-albedo

1. Bioclimatic Architecture
2. Polystyrene and Cellulose Thermal Insulation

Solution Controls:

Velocity magnitude (inlet): 5.5 m/s (average prevailing wind speed in tehran, south and southwest)
 Pressure: 0.3 pascal
 Density: 1
 Body forces: 1
 Momentum: 0.7
 Turbulent kinetic energy: 0.8
 Turbulent dissipation rate: 0.8
 Turbulent viscosity: 1

تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که سرعت جریان هوا در فضای اتاق در مدل‌های ۴ و ۵ و ۷ بیشتر از مدل‌های دیگر است. همچنین در فضای حفره میانی نمای دوپوسته تقریباً شرایط در تمامی مدل‌ها به استثنای مدل ۷ مشابه هم است. مدل ۷ با کاهش ورود تابش خورشیدی به فضاهای داخل شرایط آسایش بصری را بهبود می‌دهد، اما کمک چندانی به کاهش بار سرمایشی ساختمان نمی‌کند. مدل ۵ با هدایت سریع جریان هوا به فضای داخل و ایجاد تلاطم^۳ جریان هوا، بار سرمایشی ساختمان را کاهش داده و تا حدی از ورود تابش خیره‌کننده به داخل جلوگیری می‌کند.

۸ استفاده از سیستم‌های روشنایی کارآمد؛ جایگزین کردن لامپ‌های ال ای دی به جای لامپ‌های رشته‌ای و مهتابی؛ از آنجاکه بیشترین انرژی مصرفی ساختمان در بخش روشنایی اتفاق می‌افتد، پیشنهاد می‌شود که با تعویض لامپ‌های پرمصرف و استفاده از لامپ‌های کم‌مصرف این شرایط را بهبود داد و به بهینه‌سازی مصرف انرژی کمک کرد. میزان برق مصرفی برای هریک از انواع لامپ‌ها به صورت زیر محاسبه می‌شود. محاسبه برق مصرفی بخش روشنایی در یک سال:

$$\text{ولت در سال} = \text{تعداد ساعت‌ها} \times \text{تعداد روزها} \times \text{ولتاژ لامپ} \times \text{تعداد لامپ}$$

در ابتدا به بررسی وضعیت برق مصرفی وضعیت موجود در برخی از انواع لامپ‌های پرمصرف (مهتابی، رشته‌ای و صفحه‌ای تخت^۴) ساختمان عرفان پرداخته می‌شود:

$$956 \times 40 \times 290 \times 12 = 133075200$$

$$2096 \times 20 \times 290 \times 12 = 145881600$$

$$12 \times 100 \times 290 \times 12 = 4176000$$

$$232 \times 36 \times 290 \times 12 = 29064960$$

$$312197760 \text{ وات در سال} = \text{برق مصرفی لامپ‌ها}$$

تعویض لامپ‌های مهتابی، رشته‌ای و تخت صفحه‌ای و استفاده از لامپ‌های دیودی^۵ به کاهش مصرف برق کمک خواهد کرد:

$$956 \times 18 \times 290 \times 12 = 59883840$$

$$2096 \times 9 \times 290 \times 12 = 65646720$$

به وسیله نرم‌افزار دینامیک سیالات محاسباتی در یک طبقه از نمونه موردی در سه حالت بدون بازشو، دارای بازشو در جبهه جنوبی و دارای بازشو در دو جبهه جنوبی و شمالی نشان می‌دهد که با تعبیه پنجره‌های با قابلیت بازشدن و قابل کنترل در دو جبهه شمالی و جنوبی، تهویه طبیعی افزایش می‌یابد و این امر به کاهش بار سرمایشی در کل ساختمان منجر خواهد شد. از میان حالت‌های شبیه‌سازی شده، حالت سوم (تعبیه پنجره‌های دارای بازشو در دو جبهه شمالی و جنوبی) بیشترین جریان هوا و تهویه طبیعی را در فضای داخلی به وجود می‌آورد؛ این در حالی است که سرعت جریان هوای اتاق در حالت دوم، بیشتر از دو حالت دیگر است.

۶ کاهش ۲۰ درصدی سطوح بازشوها نسبت به مساحت بدنه‌ها و کوچک کردن سایز پنجره‌ها.

۷ استفاده از تمهیدات سایه‌اندازی در حفره میانی نمای دوپوسته به منظور کاهش بار سرمایشی و مشکلات بصری و افزایش جریان هوا؛ نتایج شبیه‌سازی حرارتی نشان می‌دهد که بیشترین تابش و گرمای دریافتی در فصول گرم سال از طریق جداره‌های شیشه‌ای نمای جنوبی است. همچنین طی مصاحبه‌ای که با کارکنان این جبهه ساختمان انجام شد، مشخص شد کارکنانی که میز و محل کارشان در نزدیکی پنجره‌هاست، در فصول گرما به شدت از مشکلات بصری و تابش ورودی خورشید رنج می‌برند و این نواحی در این فصول از آسایش حرارتی و بصری برخوردار نیستند. به همین دلیل سعی شده تا با افزایش تمهیدات سایه‌اندازی و تهویه طبیعی این مشکل برطرف گردد. شرایط حل معادلات در نرم‌افزار CFD برای بررسی جریان هوا در مدل‌های پژوهش نمونه موردی به شرح زیر است. جریان از نوع تراکم‌ناپذیر، در شرایط پایا^۱ و در محیط دوبعدی می‌باشد، همچنین در این حالت از مدل استاندارد^۲ برای حل معادلات استفاده شده است. باقی شرایط مدل به شرح زیر است:

Solution Condition (CFD Software, Ansys Fluent 15.0):

General Solver:

Type: pressure-based
 Time: steady
 Velocity: absolute
 2D Space, planer

Define Models:

Viscose model: k-epsilon (2 eqn)
 5 < Wall Yplus < 30 (Coverage buffer region and turbulent region)

Solution Method:

Scheme: simple
 Gradient: least squares cell based
 Pressure: second order
 Momentum: second order upwind
 Turbulent kinetic energy: second order upwind
 Turbulent dissipation rate: second order upwind

3. Turbulence
 4. Flat Panel Light (FPL)
 5. Light-Emitting Diode (LED)

1. Steady
 2. k-epsilon

ساختمان هوشمند ساختمانی است دربردارنده محیطی پویا و مقرون به صرفه به وسیله یکپارچه کردن چهار عنصر اصلی سیستم‌ها، ساختار، سرویس‌ها و مدیریت و رابطه میان آن‌ها. سازمان بهره‌وری انرژی ایران [۱۴] اعلام کرده است که استفاده از سیستم مدیریت هوشمند ساختمان به طور میانگین، ۲۵ تا ۳۰ درصد مصرف انرژی در ساختمان‌های ایران را کاهش می‌دهد و زمان بازگشت سرمایه در این مورد ۲/۵ تا ۳ سال است. در ساختمان موجود با افزایش کارایی سیستم مدیریت ساختمان در زمینه‌های استفاده از سوئیچ‌های مرکزی و کنترل تجهیزات اداری، استفاده از دیمرها برای کنترل خودکار تجهیزات روشنایی در زمان‌های مختلف و کنترل تمهیدات سایه‌اندازی و بازشوها در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌شود.

استفاده از استراتژی‌های ساده، عملی، در دسترس و مقرون به صرفه با هدف کاهش مصرف انرژی و استفاده از ترکیب تکنیک‌های بالا راه حل مناسبی برای کاهش تقاضای سیستم‌های مکانیکی و بهبود کیفیت آسایش حرارتی است.

در زیر نتایج ۱۰ راهکار عملی، مقرون به صرفه و متناسب با ویژگی‌های ساختمان موجود ارائه شده است. در ابتدا درصد کاهش و افزایش بخش‌های مختلف گرمایش، سرمایش، روشنایی، آب گرم مصرفی، تجهیزات، بخش‌های دیگر و کل انرژی توسط تکنیک‌های ارائه شده به صورت جداگانه محاسبه شده و در نهایت ترکیب راهکارها در کاهش مصرف انرژی در بخش‌های گفته شده ارائه شده است. نتایج با مقایسه مدل مبنای نمونه موردی با مدل‌های بهینه شده در محیط دیزاین بیلدر به دست آمده است.

- کاهش ۲۲٪ بار گرمایشی و ۳٪ آب گرم مصرفی؛
- کاهش ۱۵٪ بار گرمایشی و ۱۲٪ آب گرم مصرفی؛
- کاهش ۱۵٪ بار سرمایشی، افزایش ۸٪ روشنایی و ۳٪ بار گرمایشی؛
- کاهش ۲۲٪ بار سرمایشی و افزایش ۵٪ بار گرمایشی؛
- کاهش ۲۸٪ بار سرمایشی و افزایش ۲۰٪ بار گرمایشی؛
- کاهش ۱۲٪ بار سرمایشی و ۲٪ بخش‌های دیگر، افزایش ۲۲٪ روشنایی و ۴٪ بار گرمایشی؛
- کاهش ۴۰٪ بار سرمایشی، افزایش ۱۸٪ روشنایی، ۱۵٪ بار گرمایشی و ۵٪ آب گرم مصرفی؛
- کاهش ۵۴٪ روشنایی و ۱۲٪ بار سرمایشی
- کاهش ۳۸٪ تجهیزات، ۱۵٪ بار سرمایشی و ۸٪ بخش‌های دیگر
- کاهش ۵۲٪ روشنایی، ۴۳٪ تجهیزات، ۳۲٪ بار سرمایشی، ۱۵٪ بار گرمایشی، ۲۵٪ بخش‌های دیگر و ۲۱٪ آب گرم مصرفی در نمودارهای ارائه شده.

$$12 \times 20 \times 290 \times 12 = 835200$$

$$232 \times 20 \times 290 \times 12 = 16147200$$

۱۴۲۵۱۲۹۶۰ وات در سال = برق مصرفی لامپ‌ها

پس ذخیره سالیانه برق مصرفی عبارت است از:

$$312197760 - 142512960 = 169684800$$

۹. استفاده از تجهیزات اداری مرکزی، مناسب و کم مصرف: با پیشرفت تکنولوژی هرروزه سهم مصرف در تجهیزات اداری افزایش می‌یابد؛ از این رو ارائه راهکارهایی در زمینه کاهش مصرف انرژی در تجهیزات اداری و اجرای مناسب و بموقع این راهکارها تا حد زیادی باعث کاهش مصرف برق در ساختمان‌های اداری می‌شود. مطالعات سازمان بهره‌وری انرژی ایران نشان می‌دهد که تجهیزات اداری از قبیل رایانه، چاپگر، دستگاه تکثیر، نمایشگر و... به طور میانگین ۷ تا ۲۵ درصد از کل مصرف برق در ساختمان‌های اداری را به خود اختصاص می‌دهند. با توجه به نوع کاربری تجهیزات اداری و پیشرفت‌های حاصل در سال‌های اخیر در زمینه تولید تجهیزات کم مصرف، به طور بالقوه امکان صرفه‌جویی ۷۰ درصدی در این زمینه وجود خواهد داشت.

بهبودسازی مصرف در تجهیزات اداری علاوه بر کاهش مصرف برق، افزایش عمر تجهیزات اداری، کاهش بار سرمایشی و تهویه مطبوع، افزایش کیفیت هوای محیط و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را به همراه دارد.

در ساختمان موجود در هریک از طبقات، تقریباً ۱۵ دستگاه چاپ و تکثیر موجود بوده که در زمان صرف ناهار و استراحت بیشتر تجهیزات در حالت روشن باقی می‌مانند. همچنین تجهیزات اداری در پایان وقت اداری توسط پرسنل خدمات و کارمندان خاموش می‌شوند. پیشنهاد می‌شود که با استفاده از تجهیزات مرکزی و چندکاره نظیر فکس، کپی و پرینتر در طبقات مختلف، استفاده از کنترل‌های تایمردار یا سوئیچ‌های مرکزی برای خاموش کردن اتوماتیک تجهیزات و استفاده از سیستم‌های پربازده (لپ‌تاپ ۱۰ درصد کامپیوتر رومیزی برق مصرف می‌کند) در مصرف انرژی ساختمان صرفه‌جویی شود.

۱۰. بهبودسازی مدیریت انرژی ساختمان و افزایش کارایی سیستم مدیریت هوشمند ساختمان^۱ و هوشمندسازی در بخش‌های روشنایی، تجهیزات، بازشوها و سایه‌اندازی: امروزه در ساختمان‌های مجهز، به کمک کنترل‌کننده‌های پیشرفته و پیچیده می‌توان با کاهش تعداد تجهیزات میزان اتلاف انرژی را نیز کاهش داد. استفاده از سیستم‌های مدیریت هوشمند ساختمان، ایده‌ای نوین در کاهش مصرف انرژی توسط تجهیزات و سیستم‌های تهویه مطبوع است.

جدول (۱): میزان درصد بهینه‌سازی در بخش‌های مختلف مصرف‌کننده انرژی در ساختمان نمونه موردی

مصرف کلی	غیره	تجهیزات اداری	سرمایش	گرمایش	آب گرم	روشنایی	بخش‌های مصرف انرژی ساختمان
٪ ۳۸/۷	٪ ۱۲	٪ ۵۰/۵	٪ ۷۳/۲	٪ ۲۱/۹	٪ ۵/۲۵	٪ ۳۹	درصد بهینه‌سازی

شماره ۲ بیشترین کاهش مصرف روشنایی، شماره ۱ بیشترین کاهش

بار گرمایشی و شماره ۴ بیشترین کاهش بار سرمایشی را به همراه دارد. همچنین دیده می‌شود که با افزایش تهویه طبیعی و سایه‌اندازی در جبهه جنوبی ساختمان در شماره‌های ۵ و ۷ با کاهش بار سرمایشی ساختمان، مصرف انرژی در بخش‌های گرمایش و روشنایی را افزایش می‌دهند.

با این حال اقتصادی بودن یا نبودن راهکارهای ارائه شده یکی از مهم‌ترین بخش‌های ممیزی انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه است. به منظور اولویت‌بندی اجرای راهکارها و تعیین اقتصادی بودن اجرای هر یک از راهکارها از معیاری به نام زمان بازگشت سرمایه استفاده می‌شود. زمان دوره برگشت هزینه پیاده‌سازی راهکارهای بهینه‌سازی، تابعی از ارزش صرفه‌جویی ریالی حاصل از کاهش مصرف انرژی خواهد بود. بنابراین زمان بازگشت سرمایه برابر است با کل سرمایه‌گذاری لازم تقسیم بر ارزش صرفه‌جویی ریالی سالانه.

بر اساس شبیه‌سازی در محیط دیزاین بیلدر، نتایج بهینه‌سازی مصرف انرژی به وسیله ترکیب تکنیک‌های ارائه شده نشان می‌دهد که مصرف انرژی از $363/6$ کیلووات ساعت در هر مترمربع ($Kwh.m^2$) به $222/9$ کیلووات ساعت در هر مترمربع ($Kwh.m^2$) کاهش یافته است که $38/7$ درصد کل انرژی مصرفی حال حاضر ساختمان را شامل می‌شود.

۱.۳. محاسبه هزینه‌ها

همچنین می‌توان تخمین زد که ساختمان مورد نظر پتانسیل بیشتری برای کاهش مصرف انرژی در بخش‌های مختلف دارد. استفاده از طراحی‌های معماری همساز با محیط و سیستم‌های خورشیدی نظیر کلکتورها، آتریوم، دودکش خورشیدی و... می‌تواند نقش بسزایی در این زمینه داشته باشد. این‌گونه سیستم‌ها اگرچه در ابتدا نیازمند هزینه‌های هنگفتی هستند، زمان بازگشت سرمایه کوتاه‌تری دارند. جدول (۱) میزان بهینه‌سازی ممکن ناشی از ترکیب روش‌های مختلف را در بخش‌های مصرف‌کننده انرژی نشان می‌دهد.

مورد ۱. اضافه کردن عایق به دیوارهای خارجی؛ اضافه کردن لایه ۶۰ میلی‌متری سلولزی با دانسیته بالا

هزینه هر فوم عایق با ابعاد $2 \times 1 \times 0.2$ متر: 140000 ریال

ابعاد کل نمای خارجی ساختمان برای عایق‌کاری حرارتی:

$2024/65$ مترمربع

هزینه خرید فوم‌های اکستروژده شده برای عایق‌کاری حرارتی:

$$X = \frac{2024,65 \times 140,000}{2} = 141725000 \text{ ریال}$$

✓ هزینه نهایی برای عایق‌کاری حرارتی بدنه‌های خارجی

ساختمان (سفارش مواد اولیه و اجرا): 150000000 ریال

مورد ۲. اضافه کردن عایق به لوله‌ها و تأسیسات آب گرم؛ استفاده

از فوم پشم شیشه ۵۰ میلی‌متری: هزینه هر مترمربع عایق پشم شیشه

17000 ریال است و طبق اطلاعات مندرج در دفترچه‌های تأسیساتی

ساختمان طول لوله‌های آب گرم استفاده شده 100 متر است.

ریال $17000 \times 100 = 1700000$

✓ هزینه نهایی برای عایق‌کاری خطوط لوله و تأسیسات آب گرم

(سفارش مواد اولیه و اجرا): 25000000 ریال

مورد ۳ و ۵. افزایش جداره بازشوها؛ استفاده از شیشه‌های سه‌جداره

با قاب یو پی وی سی + استفاده از پنجره‌های دارای بازشوهای قابل

کنترل جهت افزایش تهویه طبیعی در نماهای شمال و جنوب:

✓ هزینه نهایی (سفارش مواد و نصب) هر پنجره سه‌جداره

ساده (UPVC): 2365000 ریال

تعویض بازشوهای طبقات همکف تا طبقه نهم (هر طبقه دارای ۸

بازشو خارجی است).

۳. بررسی جنبه اقتصادی و محاسبه دوره بازگشت سرمایه

بررسی قبوض انرژی مصرفی (برق و گاز) ساختمان در سال 1392 نشان می‌دهد که صورت حساب ریالی سالانه مصرف برق و گاز در ساختمان مذکور به ترتیب 2138604000 و 527773000 ریال است؛ بنابراین انرژی مصرفی ساختمان اداری عرفان رقمی نزدیک به 2666377000 ریال در سال را به دنبال دارد. امید است که با ارائه راهکارهای بهینه‌سازی و مدیریت صحیح منابع انرژی در این ساختمان از هزینه‌های آن کاسته شود. همان‌طور که در ابتدا ذکر شد، نتایج بهینه‌سازی مصرف انرژی با اعمال تکنیک‌های ارائه شده نشان می‌دهد که مصرف انرژی ساختمان از $363/6$ کیلووات ساعت در هر مترمربع ($Kwh.m^2$) به $222/9$ کیلووات ساعت در هر مترمربع ($Kwh.m^2$) کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، به‌کارگیری تمامی راهکارها در ساختمان اداری مذکور رقم صورت حساب ریالی سالانه انرژی را به

✓ هزینه نهایی برای بهبود تجهیزات اداری: ۳۶۷۸۰۱۵۰۰ ریال
مورد ۱۰. بهینه‌سازی مدیریت انرژی ساختمان و افزایش کارایی سیستم BMS و هوشمندسازی در بخش‌های روشنایی، تجهیزات، بازشوها و سایه‌اندازی: افزایش کارایی سیستم BMS در یک ساختمان سه‌طبقه ۱۰۰ مترمربعی هزینه‌ای معادل ۱۵۰۰۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰۰۰ ریال به همراه دارد.

✓ هزینه نهایی برای بهینه‌سازی مدیریت انرژی ساختمان و افزایش کارایی سیستم BMS: ۸۲۵۰۰۰۰۰۰ ریال

✓ همان‌طور که گفته شد بیشترین انرژی مصرفی ساختمان به بخش روشنایی اختصاص می‌یابد. به همین دلیل در این بخش به منظور اندازه‌گیری روشنایی موضعی و عمومی در محیط کار با هدف تعیین میزان شدت روشنایی از دستگاه اندازه‌گیری روشنایی در فضاهای داخل (DT 1309) استفاده شد. شکل (۷) نمونه این دستگاه را نشان می‌دهد.

✓ آنالیز داده‌های اندازه‌گیری شده در بخش‌های مختلف ساختمان نشان می‌دهد که میزان شدت روشنایی موضعی (برحسب لوکس) در جبهه‌های جنوبی طبقات اول تا نهم به ترتیب ۴/۴، ۵۷، ۶۸/۶، ۵۳/۳، ۴۶، ۸۳/۳، ۶۱، ۵۷ و ۲۵ درصد در محدوده میانگین شدت روشنایی مورد نیازند؛ همچنین این مقادیر در جبهه‌های شمالی به ترتیب ۱۱، ۴۲، ۲۷، ۷۰، ۵۰، ۵۷، ۵۱/۴، ۴۳ و ۲۳ درصدند. پس می‌توان نتیجه گرفت که علی‌رغم اینکه مصرف انرژی در این بخش بسیار بالاست، شرایط استاندارد در بسیاری از فضاها فراهم نشده است؛ با این حال میزان روشنایی مورد نیاز در طبقات جبهه جنوبی ساختمان نسبت به طبقات جبهه شمالی در شرایط بهتری قرار دارد.

✓ بار حرارتی ساختمان مقدار انرژی گرمایی است که برای حفظ درجه حرارت فضا در محدوده قابل قبول نیاز است، علاوه بر بار گرمایی ساختمان مقداری گرما نیز صرف گرمایش آب استخر، آب گرم مصرفی و... می‌شود. شبیه‌سازی در محیط دیزاین بیلدر نشان داد که بیشترین بار گرمایشی ساختمان متعلق به گرمایش فضاهای داخلی به میزان ۵۶ درصد است، بار گرمایشی استخر ۲۱ درصد، تانک آب گرم ۱۹ درصد و ۴ درصد دیگر صرف بار گرمایشی جکوزی می‌شود. بار حرارتی کل ساختمان با توجه به داده‌های مندرج در قبوض انرژی و شبیه‌سازی‌های حرارتی، $3272768 \text{ Btu.hr}^{-1}$ تخمین زده می‌شود.

✓ بار سرمایشی ساختمان مقدار انرژی برودتی است که برای حفظ سرمایش و درجه حرارت فضا در محدوده قابل قبول نیاز است. با توجه به شبیه‌سازی دیزاین بیلدر، در ساختمان عرفان بار برودتی $2369620 \text{ Btu.hr}^{-1}$ تخمین زده شده است که مصرف $1 \text{ m}^3 \cdot \text{hr}^{-1}$ ۳۶/۸۹ گاز و ۳/۴ kw برق به همراه دارد.

$$80 = 10 \times 8 = \text{تعداد}$$

$$80 \times 2365000 = 189200000 \text{ ریال}$$

✓ هزینه نهایی برای تعویض بازشوهای خارجی (سفارش مواد اولیه و اجرا): ۱۸۹۲۰۰۰۰۰ ریال

مورد ۴: استفاده از مواد سرد (با رنگ روشن و منعکس‌کننده تابش خورشیدی) در سطح خارجی بام: در این مورد از پوشش‌های سفید الاستومتری^۱ که به‌عنوان عایق رطوبتی نیز در پشت بام‌ها کاربرد دارند، استفاده می‌شود. به‌ازای هر مترمربع، ۱/۴ کیلوگرم بر لیتر (برای دو یا سه لایه) که هزینه‌ای معادل ۱۸۰۰۰۰ ریال دارد، استفاده می‌شود.

$$723,7 \times 180000 = 130266000 \text{ ریال}$$

✓ هزینه نهایی جهت تعویض پوشش بام (سفارش مواد اولیه و اجرا): ۱۳۵۲۷۰۰۰۰ ریال

مورد ۶. کاهش ۲۰ درصدی سطوح بازشوها نسبت به مساحت بدنه‌ها و کوچک کردن سایز پنجره‌ها: کاهش ۲۰ درصدی سطوح بازشوها در نماهای خارجی (شمالی و جنوبی) علاوه بر هزینه خرید بازشوهای جدید با فریم کوچک‌تر (۱۵۱۳۶۰۰۰۰ ریال) هزینه‌هایی جهت فراهم آوردن مصالح، اجرا و... (۸۰۰۰۰۰۰۰ ریال) را به دنبال دارد.

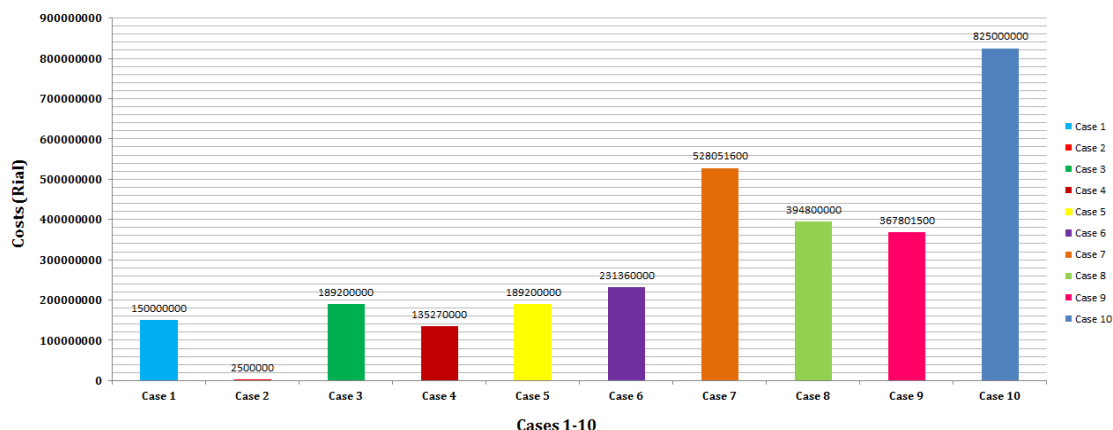
✓ هزینه نهایی برای کاهش سطوح بازشوها نسبت به مساحت بدنه‌ها و کاهش سایز بازشوهای خارجی: ۲۳۱۳۶۰۰۰۰ ریال

مورد ۷. استفاده از تمهیدات سایه‌اندازی در حفره میانی نمای دوپوسته به‌منظور کاهش بار سرمایشی و مشکلات بصری و افزایش جریان هوا: هزینه هر ۱/۵ مترمربع کرکره آلومینیومی ۲۵ میلی‌متری ۴۹۲۰۰۰ ریال است. $1012,3 \times 492000 = 498051600 \text{ ریال}$

✓ هزینه نهایی برای استفاده از تمهیدات سایه‌اندازی در حفره میانی نمای دوپوسته (سفارش مواد اولیه و اجرا): ۵۲۸۰۵۱۶۰۰ ریال
مورد ۸. استفاده از سیستم‌های روشنایی کارآمد؛ جایگزین کردن لامپ‌های ال ای دی به‌جای لامپ‌های رشته‌ای و مهتابی: به‌صورت تقریبی قیمت هر لامپ LED به‌منظور استفاده در فضاهای اداری (۲۰ تا ۱۰ وات) ۱۲۰۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰۰۰ ریال است.

$$3290 \times 110000 = 394800000 \text{ ریال}$$

✓ هزینه نهایی برای تعویض لامپ‌های پرمصرف: ۳۹۴۸۰۰۰۰۰ ریال
مورد ۹. استفاده از تجهیزات اداری مرکزی، مناسب و کم‌مصرف: استفاده از تجهیزات مرکزی با بازده بالا از قبیل دستگاه‌های چاپ و تکثیر، کامپیوتر و... در تمامی طبقات فضاهای اداری و هوشمندسازی آن‌ها با استفاده از سیستم BMS به‌صورت تقریبی هزینه‌ای معادل ۳۴۰۰۰۰۰۰ تا ۳۸۰۰۰۰۰۰۰ ریال به همراه دارد.



شکل (۸): بررسی هزینه ریالی به کارگیری سناریوهای مختلف برای بهینه‌سازی

راهکارهای ممیزی انرژی بین ۴-۳/۵ سال باشد؛ بنابراین با ارائه تمامی راهکارهای بهینه‌سازی گفته‌شده در پژوهش حاضر، دوره بازگشت سرمایه نسبت به موارد اقتصادی تقریباً یک سال بیشتر خواهد بود.

۴. نتیجه‌گیری

موضوع انرژی و دستیابی هرچه بیشتر کشورهای پیشرفته صنعتی دنیا به منابع انرژی ارزان‌قیمت، چالش‌های فراوانی را ایجاد کرده و همین امر از مباحث بسیار مهم و متداول در جهان امروز است. در این میان بیشترین میزان مصرف از کل مصرف انرژی کشور ایران در بخش ساختمان متمرکز شده است. به گونه‌ای که بخش ساختمان با مصرف بیش از ۴۰ درصد انرژی، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده در این کشور است. از طرفی، مطالعات گوناگون در مناطق مختلف دنیا نشان می‌دهد که ساختمان‌های اداری در مقایسه با انواع دیگر کاربری‌ها بزرگ‌ترین مصرف‌کننده انرژی در بخش ساختمان‌اند. استفاده از استراتژی‌های ساده، عملی، در دسترس و مقرون‌به‌صرفه با هدف کاهش مصرف انرژی و استفاده از راهکارهای بهینه‌سازی برای کاهش تقاضای سیستم‌های مکانیکی و بهبود کیفیت آسایش حرارتی، راهی برای بالا بردن کارایی ساختمان‌های اداری از لحاظ مصرف انرژی است. با توجه به اینکه در آینده بیشتر ساختمان‌های اداری از نوع بلندمرتبه و مجهز به فناوری‌های مدیریت مصرف انرژی خواهند بود، این مقاله به بررسی امکان بهینه‌سازی مصرف انرژی در چنین ساختمان‌هایی پرداخته است. بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری بلندمرتبه مجهز به سیستم مدیریت هوشمند نظیر ساختمان مورد مطالعه در این پژوهش و ارائه راهکارهای مناسب صرفه‌جویی انرژی در بخش‌های مختلف نشان داد که در بخش روشنایی ۳۹ درصد، آب گرم مصرفی ۲۵/۵ درصد، گرمایش ۲۱/۹ درصد، سرمایش ۷۳/۲ درصد، تجهیزات ۵۰/۵ درصد و در بخش‌های دیگر ۱۲ درصد امکان کاهش مصرف انرژی و بهینه‌سازی ساختمان از این لحاظ وجود دارد. نتایج این مطالعه نشان داد که در ساختمان اداری مجهز به سیستم مدیریت انرژی در اقلیم آب‌وهوای

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که اثرگذارترین راهکارها با هدف بهینه‌سازی و کاهش مصرف انرژی در بخش‌های مختلف (روشنایی، گرمایشی، سرمایشی و...) مربوط به موارد ۱، ۴، ۸، ۹ و ۱۰ است. با این حال محدودیت بودجه و اعتبارات دستگاه‌ها برای اجرای راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی از یک سو و لزوم بررسی وجود توجیه اقتصادی کافی از سوی دیگر، لازمه تعیین اولویت‌ها و رده‌بندی هریک از راهکارها، متناسب با میزان هزینه و صرفه‌جویی حاصل است؛ از این رو یکی از فاکتورهای تعیین‌کننده برای توجیه‌پذیری اجرای راهکار و همچنین اولویت‌بندی آن‌ها، زمان بازگشت سرمایه خواهد بود.

همان‌طور که در شکل (۸) نشان داده شده است، بررسی‌ها نشان می‌دهد که موارد ۱۰، ۷ و ۸ به ترتیب نیازمند صرف بیشترین هزینه به منظور بهینه‌سازی انرژی مصرفی در ساختمان مذکور خواهند بود. بدیهی است در قدم اول اجرای اقدامات کم‌هزینه با زمان بازگشت کمتر از ۲ سال، از اولویت بالاتری برخوردارند؛ با این حال نمی‌توان تأثیر مهم کاهش بار مصرفی در بخش‌های سرمایش، گرمایش و روشنایی به وسیله موارد ۸ و ۱۰ را نادیده گرفت. مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که با انتخاب و اجرای راهکارهای کم‌هزینه‌تر، میزان انرژی مصرفی و به تبع آن کاهش هزینه‌های مربوط به قبوض برق و گاز تغییر چندانی نخواهد کرد.

بررسی‌های اقتصادی در موارد ۱، ۴، ۸، ۹ و ۱۰ نشان می‌دهد که با صرف هزینه‌ای معادل ۱۸۷۲۸۷۱۵۰۰ ریال، از یک سو درصد بسیاری از بار انرژی مصرفی ساختمان کاهش می‌یابد و از سوی دیگر دوره بازگشت سرمایه با توجه به رابطه زیر کمتر از ۳ سال خواهد بود.

$$\frac{۱۵۰۰۰۰۰۰ + ۱۳۵۲۷۰۰۰ + ۳۹۴۸۰۰۰۰ + ۳۶۷۸۰۱۵۰۰ + ۸۲۵۰۰۰۰۰}{۷۸۲۲۸۲۴۸۰} = ۲/۳۹$$

محاسبه دوره بازگشت سرمایه برای همه راهکارها:

$$\text{سال } ۳/۲۳ = \frac{۳۳۴۳۰۱۶۸۰۰}{۱۰۳۱۸۸۷۹۰۰}$$

با اعمال ضرایب بالاسری، دستمزدهای اجرایی و... می‌توان برآورد کرد که دوره بازگشت سرمایه در ساختمان اداری عرفان با اعمال

وزارت نفت مستقر در ساختمان عرفان و همچنین هم‌فکری اعضای هیئت‌تحریریه و داوران محترم مجله علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت انرژی کمال سپاسگزاری را دارند.

تهران، بیشترین صرفه‌جویی با افزایش تهویه طبیعی و تمهیدات سایه‌اندازی ساختمان در بخش سرمایه‌گذاری اتفاق می‌افتد. همچنین مجموع تکنیک‌ها می‌تواند باعث کاهش ۳۸٪ درصد کل انرژی مصرفی ساختمان شوند.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از همکاری صمیمانه پرسنل و مدیریت محترم

مراجع

- [1] Zhou, L. and Haghghat, H., "Optimization of Ventilation System Design and Operation in Office Environment, Part I: Methodology", Building and Environment, Vol. 44, No. 4, pp. 651-656, 2005.
- [2] EIA, U.S. Energy Information Administration, Iran, March, Vol. 28, 2013, Full Report.
- [3] کاظمی، محمد وریح و کاظمی، رضا وریح، «ارائه راهکارهای عملیاتی به منظور بهبود مصرف و مدیریت انرژی در ساختمان‌های اداری و مسکونی ایران»، اولین همایش ملی ساختمان آینده، ۱۳۹۲.
- [4] BP Statistical Review of World Energy June 2012. Energy Academy and Centre for Economic Reform and Transformation, Heriot-Watt University, BP p.l.c. 2012. www.energy.hw.ac.uk
- [5] Lowe, R., "Defining and Meeting the Carbon Constraints of the 21st Century", Building Research & Information, Vol. 28, No. 3, pp. 159-175, 2000.
- [6] Hastings, S.R., "Breaking the 'Heating Barrier': Learning from the First Houses without Conventional Heating", Energy and Buildings, Vol. 36, No. 4, pp. 373-380, 2004.
- [7] Santamouris, M., "Energy in the Urban Built Environment: The Role of Natural Ventilation", In Cristian Ghiaus & Francis Allard (Eds), Natural Ventilation in the Urban Environment: Assessment and Design (pp. 1-19), London: Earthscan, 2005.
- [8] Ihm, P., Nemri, A., Krarti, M., "Estimation of Lighting Energy Savings from Daylighting", Building and Environment, Vol. 44, No. 3, pp. 509-514, 2009.
- [9] Lombard, L. P., Ortiz, J., Pout, C., "A Review on Buildings Energy Consumption Information", Energy and Buildings, Vol. 40, No. 3, pp. 394-398, 2008.
- [10] U.S. Green Building Council, New Construction Reference Guide, October 2007.
- [11] The Energy Conservation Center, Energy Conservation Handbook, 2008, <http://www.eccj.or.jp/databook/2008e/index.html>.
- [12] Zhou, L. and Haghghat, F., "Optimization of Ventilation System Design and Operation in Office Environment, Part I: Methodology", Building and Environment, Vol. 44, No. 4, pp. 651-656, 2005.
- [13] Chan, A.L.S., Chow, T.T., Fong, K.F. and Lin, Z., "Investigation on Energy Performance of Double Skin Façade in Hong Kong", Energy and Buildings, Vol. 41, No. 11, pp. 1135-1142, 2009.
- [14] Iran Energy Efficiency organization, www.saba.org
- [15] Hartkopf, V., Loftness, V., "Global Relevance of Total Building Performance", Automation in Construction, Vol. 8, No. 4, pp. 377-393, 1999.
- [16] Siewa, C.C., Che-Anib, A.I., Tawilb, N.M., Abdullahh, N.A.G., Mohd-Tahirb, M., "Classification of Natural Ventilation Strategies in Optimizing Energy Consumption in Malaysian Office Buildings", Procedia Engineering, Vol. 20, pp. 363-371, 2011.
- [17] Burton, S., Sala, M., "Energy Efficient Office Refurbishment", Earthscan, London, 2001.
- [18] Natural Resources Canada. Energy use data handbook tables (Canada): Tables 2 and 3, 2005. http://oe.nrcan.gc.ca/corporate/statistics/neud/dpa/handbook_totalsectors_ca.cfm?attr%40.
- [19] Juan, Y.K., Gao, P. and Wang, J., "A Hybrid Decision Support System for Sustainable Office Building Renovation and Energy Performance Improvement", Energy and Buildings, Vol. 42, No. 3, pp. 290-297, 2010.
- [20] EECAC (Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners), Project for the Directorate General Transportation-Energy of the Commission of the European Union: Final Report, April 2003.
- [21] Green Building Index (2011), GBI certified buildings. <http://www.greenbuildingindex.org/organisation-certifiedbuildings>.
- [22] Cardinale, N., Micucci, M. and Ruggiero, F.; "Analysis of Energy Saving Using Natural Ventilation in a Traditional Italian Building", Energy and Buildings; Vol. 35, No. 2, pp. 153-159, 2003.
- [23] Priyadarsini, R., Cheong, K.W. and Wong, N.H., "Enhancement of Natural Ventilation in High-Rise Residential Buildings Using Stack System", Energy and Buildings, Vol. 36, No. 1, pp. 61-71, 2004.
- [24] Mac Cracken, M.C., "Beyond Mitigation, Potential Options for Counter-Balancing the Climatic and Environmental Consequences of the Rising Concentrations of Greenhouse Gases", The World Bank Development Economics, Office of the Senior Vice President and Chief Economist, 2009.
- [25] Berdahl, P. and Bretz, S.; "Preliminary Survey of the Solar Reflectance of Cool Roofing Materials", Energy and Buildings, Special Issue on Urban Heat Islands and Cool Communities, Vol. 25, No. 2, pp. 149-158, 1997.
- [26] Akbari, H., Pomerantz, M., Taha, H., "Cool Surfaces and Shade Trees to Reduce Energy Use and Improve Air Quality in Urban Areas", Solar Energy, Vol. 70, No. 3, pp. 295-310, 2001.
- [27] Akbari, H. and Taha, H., "The Impact of Trees and White Surfaces on Residential Heating and Cooling Energy Use in Four Canadian Cities", Energy, the International Journal, Vol. 17, No. 2, pp. 141-149, 1992.