

NAAME2017-XXXX

کاربرد سیستم های هایبرید در مدیریت مصرف انرژی ساختمان های اداری

بهرام سلمانی^{۱*}، نادر جوانی^۲

^۱ دانشجوی دکترای مهندسی مکانیک، تبدیل انرژی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بناب، بناب، ایران

bahram.salmani63@gmail.com

^۲ استادیار، گروه مهندسی مکانیک، تبدیل انرژی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بناب، بناب، ایران

چکیده

در این مقاله مصرف انرژی سالانه و هزینه های اولیه و جاری سیستم های تاسیسات مکانیکی و الکتریکی یک ساختمان ۵ طبقه اداری واقع در تهران مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش تامین گرمایش تاسیسات مکانیکی دو حالت استفاده از سیستم های راجع گرمایش با آب شامل دیگ آب گرم، با سیستم گرمایش هیبریدی کلکتورهای آب گرم خورشیدی و دیگ آب گرم، و در بخش توزیع حرارت، گرمایش از پای دیوار (قرنیزها) و رادیاتورهای بلوکی و در بخش کنترل عملکرد، استفاده از ترموستات مستغرق دیگ با سیستم اتوماسیون مصرف انرژی از طریق BMS مقایسه گردیده است. در بخش تاسیسات الکتریکی نیز تامین روشنایی ساختمان با استفاده از لامپ های فلوئورسنت راجع و لامپ های LED مقایسه گردیده است.

تحلیل های CFD حجم محدود (Finite Volume) انجام یافته در مورد فضاهای بحرانی ساختمان مذکور توسط نرم افزار FLUENT نشان داده است که با استفاده از سیستم گرمایش از پای دیوار به جای سیستم اولیه رادیاتورهای بلوکی می توان به جای استفاده از آب گرم با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد از آب گرم با دمای ۴۰ درجه سانتیگراد استفاده نمود و با استفاده همزمان از سیستم اتوماسیون و سیستم تامین گرمایش آب گرم مصرفی ساختمان از طریق کلکتورهای خورشیدی، به کاهش ۷۸/۳۰ درصدی در مصرف گاز دست یافت. زمان بازگشت سرمایه در سیستم پیشنهادی تامین گرمایش حداکثر ۲۹ ماه از زمان شروع به کار سیستم در ساختمان از محل صرفه جویی در مصرف گاز می باشد.

برآوردهای انجام یافته در خصوص سیستم تاسیسات الکتریکی نشان داده است در بخش تامین روشنایی مورد نیاز ساختمان با استفاده از لامپ های فلوئورسنت مصرف انرژی الکتریکی به ۴۲/۵ کیلو وات ساعت خواهد رسید. این در حالی است که با استفاده از سیستم اتوماسیون و استفاده از LED های کم مصرف در طول روز می توان با ۷۰/۸۰ درصد کاهش به مصرف انرژی الکتریکی ۱۱/۵ کیلو وات ساعت رسید. زمان بازگشت سرمایه در سیستم پیشنهادی تامین روشنایی نیز حداکثر ۳۰ ماه از زمان شروع به کار سیستم در ساختمان از محل صرفه جویی در مصرف برق برآورد گردیده است. همچنین استفاده از لوله های خورشیدی می تواند روشنایی روزانه را در بسیاری از بخش های ساختمان تامین نموده و از مصرف انرژی الکتریکی جهت روشنایی روزانه اجتناب گردد.

واژه های کلیدی: رادیاتور قرنیزی، اتوماسیون، مدیریت مصرف انرژی

امروزه با افزایش هزینه های تولید انرژی، جستجوی راهکارهایی برای صرفه جویی در مصرف آن امری ضروری است. صنعت ساختمان نیز به عنوان یکی از بخش های عمده مصرف انرژی از این قاعده مستثنی نیست. بنابراین، استفاده از سیستم هایی که بتواند با مدیریت صحیح، مصرف انرژی را در بخش ساختمان کاهش دهد، به عنوان یک راهکار عملی در کاهش مصرف انرژی مطرح است. سیستم مدیریت ساختمان سیستمی است که علاوه بر ایجاد راحتی برای ساکنین می تواند با یک برنامه ریزی صحیح مقدار انرژی مورد نیاز بخش های مختلف را تامین نموده و از هدر روی آن جلوگیری نماید. در این تحقیق علاوه بر بررسی امکان استفاده از انرژی های تجدید پذیر در تامین انرژی تاسیسات مکانیکی و الکتریکی و همچنین تجهیزات نوین با راندمان بالا جهت توزیع آن، میزان کاهش مصرف انرژی با هوشمندسازی کنترل عملکرد این تجهیزات از طریق BMS محاسبه گردیده است

مواد و روش ها

در بخش تامین گرمایش، از سیستم کلکتورهای خورشیدی برای تامین آب گرم بهداشتی ساختمان استفاده می گردد. بنابراین ابتدا باید موقعیت محل از نظر آفتاب گیری و نیز تغییرات دمایی سالانه به دقت بررسی گردد. با استفاده از این داده ها تعداد کلکتورهای خورشیدی که برای روز ۲۱ ژانویه که سردترین روز سال می باشد، محاسبه می گردد. آب گرم به صورت جداگانه همراه با ضدیخ در کلکتورها چرخش پیدا می کند و با استفاده از یک مخزن دو جداره آب گرم بهداشتی ساختمان را تامین می کند.

با استفاده از نرم افزار FLUENT 6.3 فضاهای بحرانی ساختمان از نظر گرمایشی مورد بررسی قرار می گیرد و با مدل سازی ۲ فضای بحرانی توسط نرم افزار پیش پردازنده و استفاده از مش بندی Tetra Hybrid T grid نرم افزار Gambit و صدور هندسه، مش و شرایط مرزی آن به نرم افزار پردازنده FLUENT و تحلیل CFD به مقایسه ای بین استفاده از رادیاتور بلوکی و استفاده از سیستم گرمایش از پای دیوار برای همان محیط، دمای بهینه برای تامین گرمایش پرداخته شده است. برای حل معادلات جریان و پیوستگی از الگوریتم SIMPLE استفاده شده است.

استفاده از سیستم اتوماسیون این امکان را می‌دهد تا پس از ساعات کاری اداره، سیستم گرمایش فقط در صورت احساس وجود حرکت از طریق سنسورهای حرکتی فعال خواهد گردید. در صورت عدم حضور افراد در آن محیط، شیر سیستم گرمایش فضا توسط سیستم اتوماسیون قطع شده و تا زمان حضور افراد در آن قسمت و یا ۲ ساعت قبل از شروع ساعات کاری روز بعد شیر مربوطه به حالت قطع باقی خواهد ماند. این عمل باعث می‌شود تا سیستم به جای کار ۲۴ ساعته، حداکثر ۱۰ ساعت در شبانه روز کار کند و از هدر روی انرژی جلوگیری شود.

در بخش تامین روشنایی ساختمان، در لامپ های فلوئورسنت رایج از مجموعه‌هایی شامل ۳ لامپ کم مصرف ۳۷ واتی (مجموعاً ۱۱۱ وات) استفاده می‌گردد. با توجه به مساحت ۲۳۹۲ متر مربعی زیر بنای ساختمان تعداد ۳۸۳ عدد از این مجموعه‌های ۳ لامپی بایستی مورد استفاده قرار گیرد. در سیستم پیشنهادی برای کاهش هزینه های اولیه و هزینه مصرف برق سالانه سیستم روشنایی از همان تعداد مجموعه شامل چراغ‌های LED با مصرف برق ۳۰ وات و با همان میزان شدت نور استفاده می‌گردد.

سیستم اتوماسیون روشنایی با فیدبک گیری از سنسورهای حرکتی هر یک از فضاها، در صورت حضور افراد در محیط در خارج از ساعات کاری ساختمان، چراغ های مربوط به آن قسمت را روشن نگه می‌دارد. در سیستم اولیه از یک دیگ با ظرفیت ۲۸۹۰۰۰ کیلوکالری بر ساعت با مشعلی با مصرف گاز ۳۲ متر مکعب بر ساعت استفاده شده است، تا این سیستم بتواند آب گرم با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد را برای رادیاتورهای بلوکی تامین نماید. در این ساختمان بار گرمایی مورد نیاز برای گرمایش آب گرم مصرفی برابر با ۲۵۵۹۳ کیلوکالری بر ساعت است. هزینه اولیه اجزای سیستم اولیه برابر با -/۲۳۴/۳۸۳/۰۰۰/ ریال و هزینه مصرف گاز در این سیستم برابر با -/۹۶/۷۶۸/۰۰۰/ ریال می‌باشد.

در سیستم پیشنهادی با توجه به شرایط آب و هوایی شهر تهران تعداد کلکتورهای خورشیدی محاسبه می‌گردد.

مشخصات جغرافیایی تهران :

۵۱ درجه = طول جغرافیایی

۳۵ درجه = عرض جغرافیایی

زاویه پانل خورشیدی نسبت به افق:

$$\Sigma = \text{Latitude} + 15 = 35 + 15 = 50$$

زاویه انحراف خورشید :

N: ۲۱ ژانویه سرد ترین روز سال می باشد

$$N = 21$$

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360 (284+N)}{365}\right) = -20.1^\circ$$

زاویه فراز خورشید :

$$B_n = 90 - \text{LAT} + \delta = 90 - 35 + (-20.1) = 33.9^\circ$$

$$\cos \theta = \cos (\beta) \cdot \cos (\gamma) \cdot \sin (\Sigma) + \sin (\beta) \cdot \cos (\Sigma) = \cos (31.9) \cdot \cos (0) \cdot \sin (53) + \sin (31.9) \cdot \cos (53) = 0.994$$

$$\Theta = 8.8$$

$$A = 1230 \text{ w/m}^2$$

$$B = 0.142$$

$$C = 0.058$$

انرژی دریافتی مستقیم

$$I_{bn} = A e^{-\frac{B}{\sin \beta}} = 1230 e^{-\frac{0.142}{\sin 36.9}} = 970 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

انرژی دریافتی حاصل از بازتابش:

$$I_{d\theta} = C * I_{bn} * \frac{1+\cos \Sigma}{2} = 0.058 * 941 * \frac{1+\cos 53}{2} = 46.9 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

انرژی دریافتی کل

$$I_{t\theta} = I_{bn} \cos \theta + I_{d\theta} + I_r = 970 * 0.988 + 47 = 1005.3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$\tau = 0.87, \alpha = 0.96$$

انرژی دریافتی خالص به ازای هر متر مربع کلکتور خورشیدی (با احتساب تلفات حرارتی)

$$q_u = I_{t\theta} (\tau \times \alpha) - UL (t_p - t_{at}) = 1005.3 (0.87 * 0.96) - 3.5 (60 + 3) = 619 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

فاصله قرار گیری کلکتور های خورشیدی جهت جلوگیری از سایه اندازی بر روی یکدیگر:

$$X = L \cdot \sin \beta \cdot \tan(\varphi + 30) = 3.20 \text{ m}$$

مقدار کل انرژی دریافتی از هر کلکتور با مساحت ۲ متر مربع:

$$Q_u = 2 \text{ sq.m} \times 619 \text{ w/sq.m} = 1238 \text{ w}$$

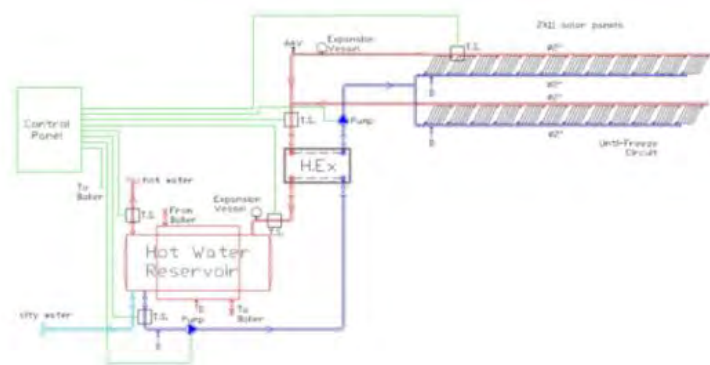
تعداد پانل های مورد نیاز جهت تولید آب گرم مصرفی بهداشتی ساختمان، با توجه به مقدار گرمای تولیدی هر به ازای هر پانل عبارتست از:

$$25593 \text{ kcal/hr} / 860 = 29.75 \text{ kw}$$

$$29750 \text{ w} / 1238 \text{ w} = 24$$

با در نظر گرفتن استفاده از کلکتورهای خورشیدی برای تامین آب گرم بهداشتی ساختمان، می توان ظرفیت دیگ را کاهش داد.

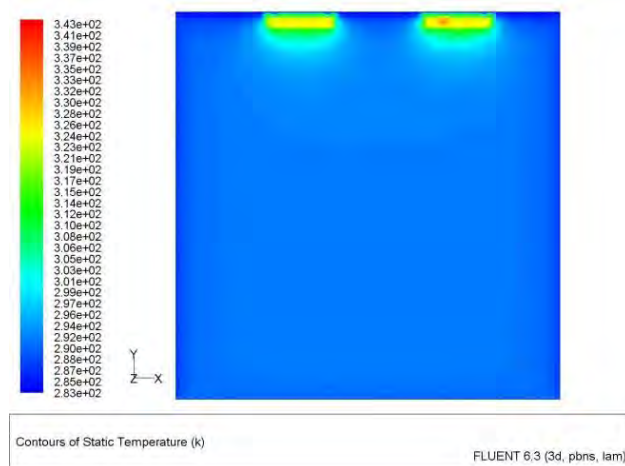
$$289000 - 25593 = 263407 \text{ kcal/hr}$$



شکل ۱: سیستم تلفیقی کلکتورهای خورشیدی و دیگ آب گرم

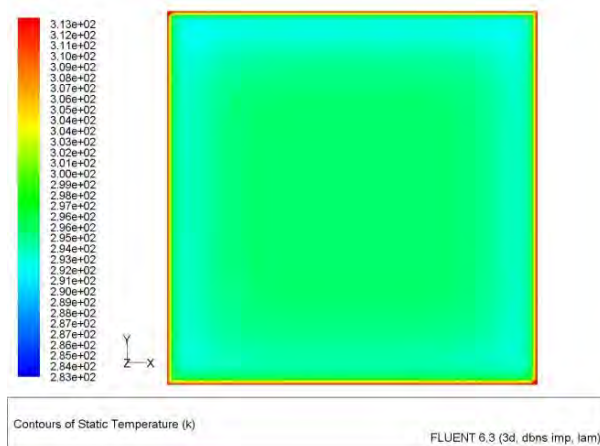
برای استفاده از سیستم گرمایش از پای دیوار در فضاهای مختلف ساختمان ۲ فضا به عنوان فضاهای بحرانی در دو حالت استفاده از رادیاتورهای بلوکی و استفاده از گرمایش از پای دیوار مورد بررسی قرار گرفته است. کانتور توزیع

دمای یکی از فضاها با استفاده از رادیاتورهای بلوکی و آب ورودی با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد در شکل ۲ قابل مشاهده است. با توجه به شکل ۲، توزیع دمای هوای فضا با استفاده از رادیاتورهای بلوکی به نحو بسیار نامطلوب است و جهت احساس دمای هوای مطلوب در حد ۲۱ درجه سانتیگراد در بخش های میانی، دمای آب ورودی رادیاتور بایستی در دماهای بالا تنظیم گردد.



شکل ۲: تغییرات دمایی فضای اتاق با گرمایش از طریق رادیاتور بلوکی

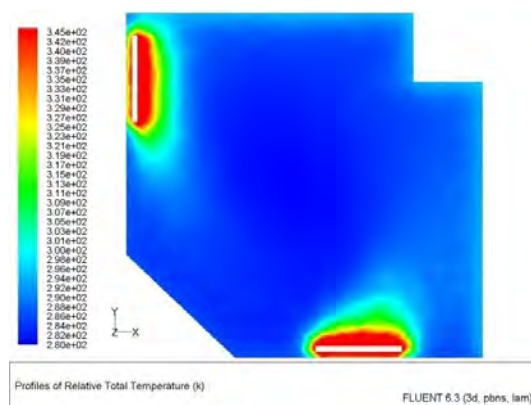
نتایج حاصل از تحلیل حجم محدود فضای مذکور در حالت استفاده از گرمایش از پای دیوار در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: تغییرات دمایی فضای اتاق در سیستم گرمایش از پای دیوار

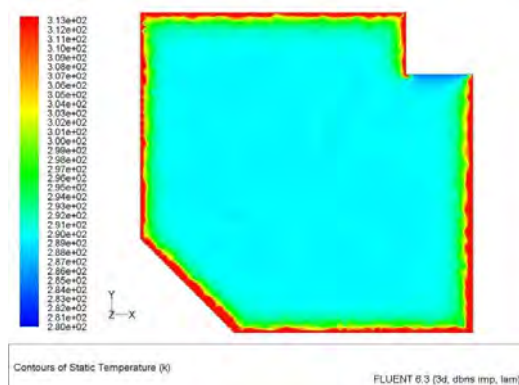
با توجه به کانتورهای توزیع دمای هوای فضای مذکور با دمای آب ورودی برابر با ۴۰ درجه سانتیگراد، دمای پایین پای دیوار از بین رفته و دمای هوا در قسمت میانی اتاق برابر با ۲۹ درجه سانتیگراد می باشد. تحلیل حجم محدود

یکی دیگر از فضاهای بحرانی با استفاده از رادیاتورهای بلوکی در شکل ۴ نشان داده شده است. این فضا در طبقه آخر قرار دارد و ۲ وجه آن دیوار بیرونی است. دمای آب ورودی رادیاتور ۷۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است. دمای دیوارهای بیرونی ۲۸۳ کلوین، دمای وجه های مشترک با فضای تهویه نشده ۲۸۷ کلوین، دمای درب ورودی اتاق ۲۸۳ کلوین و دمای پنجره مرتبط با هوای بیرون ساختمان ۲۸۰ کلوین در نظر گرفته شده است. با اعمال شرایط فوق الذکر به عنوان شرایط مرزی و حل معادلات جریان و معادلات انرژی به صورت ضمنی نتایج ذیل حاصل می گردد.



شکل ۴: تغییرات دمایی فضای اتاق با گرمایش از طریق رادیاتور بلوکی

نتایج حاصل از این تحلیل نشان می دهد که دمای قسمت میانی اتاق برابر با ۱۵ درجه سانتیگراد می باشد. نتایج تحلیل مشابه برای همان فضا با استفاده از گرمایش از پای دیوار در شکل ۵ نشان داده شده است. با بررسی کانتورهای دمای هوای اتاق می توان نتیجه گرفت که دمای هوای بخش های میانی اتاق برابر با ۲۵ درجه سانتیگراد می باشد.



شکل ۵: تغییرات دمایی فضای اتاق در سیستم گرمایش از پای دیوار

در این حالت حال درصد کاهش دمای آب ورودی به سیستم پیشنهادی نسبت به سیستم اولیه را محاسبه می کنیم:

$$\frac{70^{\circ} - 40^{\circ}}{70^{\circ}} = 42.85 \%$$

با توجه به کاهش ۴۲/۸۵ درصدی دمای آب ورودی به سیستم می توان ظرفیت دیگ را دوباره محاسبه نمود:

$$263407 - 0.4285 \times 263407 = 150537 \text{ kcal/hr}$$

با توجه به اینکه ساعات کاری قسمت اداری ساختمان از ساعت ۸ صبح تا ۴ بعد از ظهر می باشد لذا گرمایش پس از ساعت کاری تا شروع روز کاری بعد ضرورتی ندارد. برای ساده سازی محاسبات می توان از قطع و وصل ترموستات برای روشن و خاموش نمودن مشعل و مصرف گاز هم در سیستم رایج و هم در سیستم پیشنهادی صرف نظر نمود. با توجه به اینکه در سیستم رایج از یک مشعل با مصرف گاز ۳۲ متر مکعب بر ساعت استفاده شده است و با در نظر گرفتن ۱۰ ساعت مصرف آب گرم بهداشتی در شبانه روز و ۲۴ ساعت استفاده از سیستم گرمایش در سیستم رایج درصد استفاده از گرمایش برای تامین آب گرم بهداشتی به شرح ذیل به دست می آید:

$$25593 / 289000 = 8.8 \%$$

بقیه ظرفیت مشعل جهت تامین گرمایش ساختمان مورد استفاده قرار می گیرد:

$$263407 / 289000 = 91.2 \%$$

مصرف گاز سالانه در سیستم رایج به شرح ذیل قابل محاسبه است:

$$12\text{month} \times 30\text{day} \times 12\text{hr} \times 0.088 \times 32\text{cmphr} + 6\text{month} \times 30\text{day} \times 24\text{hr} \times 0.912 \times 32\text{cmphr} = 12165.12\text{cm} + 126074.88\text{cm} = 138240\text{cm}$$

در سیستم پیشنهادی برای ظرفیت دیگ بدست آمده از مشعلی با مصرف گاز ۱۸/۷ متر مکعب بر ساعت استفاده می‌گردد که مصرف گاز سالانه آن برابر است با:

$$6\text{month} \times 30\text{day} \times 10\text{hr} \times 18.7\text{cmphr} = 33660\text{cm}$$

با توجه به استفاده حداقل شش ماهه از سیستم کلکتور آب گرم خورشیدی جهت تامین آب گرم بهداشتی در سیستم پیشنهادی و با استفاده از سیستم اتوماسیون، مصرف گاز فقط ۶ ماه از سال برای گرمایش کاربرد دارد. همچنین با توجه به زمان کاری ۸ ساعته در شبانه روز، برای پیش گرم کردن اتاق ها قبل از شروع ساعت کاری ساختمان، زمان کاری سیستم پیشنهادی از ساعت ۶ صبح تا ۴ بعد از ظهر یعنی ۱۰ ساعت در نظر گرفته می شود. با احتساب این موارد درصد کاهش مصرف گاز سالانه در سیستم پیشنهادی نسبت به سیستم اولیه برابر با ۷۸/۲۹ درصد می باشد. در سیستم رایج برای یک فضای ۱۰×۱۰ متر مربع از ۱۶ مجموعه ۳ لامپی با لامپ های کم مصرف ۳۷ وات (در مجموع ۱۱۱ وات ساعت) استفاده شده است که میزان لوکس مورد نیاز برای هر قسمت را تامین می نماید. با احتساب مساحت ۲۳۹۲ متر مربعی زیر بنای ساختمان تعداد ۳۸۳ عدد از این مجموعه های ۳ لامپی مورد نیاز می باشد که هزینه اولیه خرید آنها و مصرف برق سالانه آنها را برای کار ۱۰ ساعت در شبانه روز و بدون در نظر گیری اتمام عمر لامپ ها و هزینه تعویض آنها برابر است با:

مصرف برق روشنایی در سیستم اولیه:

$$383^{\text{Light}} \times 3^{\text{Lamp}} \times 37^{\text{w}} = 42.513^{\text{kw}}$$

هزینه اولیه خرید مجموعه های سه لامپی:

$$383^{\text{Light}} \times 3^{\text{Lamp}} \times 37^{\text{w}} \times 560000^{\text{Rial}} = 238072800^{\text{Rial}}$$

با فرض تساوی مصرف برق سیستم روشنایی در طبقات داریم:

$$42.513^{\text{kw}} / 5^{\text{Floor}} = 8.5026^{\text{kw/Floor}}$$

ساعات کاری قسمت های مختلف ساختمان برابر است با:

جدول ۱: ساعات کاری سیستم روشنایی ساختمان

ساعات کاری بر حسب کاربری محل	طبقات ساختمان
شبانه روز ۱۰ ساعت و ۶ روز هفته	طبقات سوم، دوم و اول
۴۰٪ فضا با کاربری روشنایی ۲۴ ساعته و ۷ روز هفته و ۶۰٪ فضا با کاربری روشنایی ۱۰ ساعت و ۶ روز هفته	طبقه همکف
شبانه روز ۲۴ ساعت و ۷ روز هفته	طبقه زیر زمین

با توجه به برابری مساحت طبقات، برای طبقات سوم، دوم، اول و ۶۰٪ از طبقه همکف که بصورت ۱۰ ساعته نیاز به روشنایی دارند، می توان نوشت:

$$42.513^{kw} / 2392^{sq.m} \times (3 \times 508 + 0.6 \times 508) \times 12^{month} \times 6^{day} \times 4^{week} \times 10^{hr} \times 750^{Rial/kwhr} = 70207020^{Rial/year}$$

برای ۴۰٪ طبقه همکف و طبقه زیرزمین نیز محاسبات ذیل قابل ارائه است:

$$42.513^{kw} / 2392^{sq.m} \times (508 + 0.4 \times 508) \times 12^{month} \times 7^{day} \times 4^{week} \times 10^{hr} \times 750^{Rial/kwhr} = 31853185^{Rial/year}$$

مصرف برق سالانه روشنایی ساختمان در سیستم اولیه برابر است با:

$$70207020^{Rial/year} + 31853185^{Rial/year} = 102060205^{Rial/year}$$

مجموع هزینه اولیه و مصرف سالانه برق برای سیستم روشنایی ساختمان برابر است با:

$$238072800^{Rial} + 102060205^{Rial/year} = 340133005^{Rial}$$

در سیستم پیشنهادی از همان تعداد چراغ استفاده می گردد. در این سیستم به جای لامپ های ۳۷ واتنی استفاده شده در سیستم فعلی از LED هایی که همان لوکس را برای محیط تامین می کنند و توان مصرفی آنها در مجموع ۳۰ وات می باشد استفاده می گردد.

مصرف برق روشنایی با استفاده از LED ها با توان ۳۰ وات:

$$383^{\text{Light}} \times 30^{\text{w}} = 11.50^{\text{kw}}$$

با فرض تساوی مصرف برق روشنایی در طبقات داریم:

$$11.50^{\text{kw}} / 5^{\text{Floor}} = 2.30^{\text{kw/Floor}}$$

هزینه اولیه خرید این چراغ ها برابر است با:

$$383^{\text{Light}} \times 900000^{\text{Rial}} = 344700000^{\text{Rial}}$$

استفاده از Sun Pipe برای تامین روشنایی روزانه در ساختمان:

جدول ۲: نحوه تامین روشنایی طبقات ساختمان

نحوه تامین روشنایی	مصرف برق روشنایی	طبقات ساختمان
100% Sun Pipe	0 ^{kw}	طبقه سوم
50% Sun Pipe	3.83 ^{kw}	طبقات دوم و اول
100% Lighting	3.83 ^{kw}	طبقه همکف
100% Lighting	3.83 ^{kw}	طبقه زیر زمین
11.50 ^{kw}		مجموع

طبقه سوم:

با توجه به تامین تمامی روشنایی مورد نیاز طبقه سوم از طریق Sun Pipe، میزان مصرف برق برای این طبقه صفر در نظر گرفته می شود. اما جهت اطمینان از تامین کامل روشنایی حتی در روز های ابری و بارانی که میزان دریافت نور از فضا کمتر می باشد، مقدار ۲/۳ کیلو وات برای این طبقه در سیستم تامین برق ساختمان در نظر گرفته خواهد شد. طبقه دوم و اول:

با توجه به تامین تمام روشنایی مورد نیاز طبقات دوم و اول از طریق Sun Pipe، میزان مصرف برق برای این طبقه ۲/۳ کیلووات برای هر طبقه در نظر گرفته می شود. اما جهت اطمینان از تامین کامل روشنایی حتی در روز های ابری و بارانی که میزان دریافت نور از فضا کمتر می باشد، مقدار ۲/۳ کیلووات برای هر یک از این طبقات در سیستم تامین برق ساختمان در نظر گرفته خواهد شد.

$$2.3^{\text{kw}} \times 12^{\text{month}} \times 6^{\text{day}} \times 4^{\text{week}} \times 8^{\text{hr}} \times 750^{\text{Rial/kwhr}} = 3'974'400^{\text{Rial/year}}$$

طبقه همکف:

با توجه به کاربری ۲۴ ساعته فضای مورد نیاز برای حضور بخش نگهبانی و نفرات دیگر، لذا مقدار ۴۰ درصد مصرف برق در این طبقه، به صورت ۲۴ ساعته در روز و ۶۰ درصد مصرف برق به صورت ۸ ساعته در نظر گرفته می شود.

$$0.6 \times 2.3^{\text{kw}} \times 12^{\text{month}} \times 6^{\text{day}} \times 4^{\text{week}} \times 8^{\text{hr}} \times 750^{\text{Rial/kwhr}} + 0.4 \times 2.33^{\text{kw}} \times 12^{\text{month}} \times 7^{\text{day}} \times 4^{\text{week}} \times 24^{\text{hr}} \times 750^{\text{Rial/kwhr}} = 2'384'640^{\text{Rial/year}} + 5'564'160^{\text{Rial/year}} = 7'948'800^{\text{Rial/year}}$$

زیرزمین:

با توجه به کاربری فضای زیر زمین، مصرف برق به صورت ۲۴ ساعته برای این طبقه در نظر گرفته می شود.

$$2.3^{\text{kw}} \times 12^{\text{month}} \times 7^{\text{day}} \times 4^{\text{week}} \times 24^{\text{hr}} \times 750^{\text{Rial/kwhr}} = 13910400^{\text{Rial/year}}$$

جدول ۳: هزینه سالانه مصرف برق روشنایی طبقات ساختمان

هزینه سالانه مصرف برق	مصرف برق روشنایی	طبقات ساختمان
0 ^{Rial/year}	0 ^{kw}	طبقه سوم
3'974'400 ^{Rial/year}	2.30 ^{kw}	طبقات دوم
3'974'400 ^{Rial/year}	2.30 ^{kw}	طبقه اول
7'948'800 ^{Rial/year}	2.30 ^{kw}	طبقه همکف
13910400 ^{Rial/year}	2.30 ^{kw}	طبقه زیر زمین
29808000 ^{Rial/year}	9.20 ^{kw}	مجموع

هزینه اولیه اجرای سیستم پیشنهادی برای روشنایی ساختمان برابر است با:

جدول ۴: هزینه اولیه اجرای سیستم پیشنهادی روشنایی ساختمان

ایتم	مشخصات	تعداد	بهای واحد	هزینه
چراغ	LED	۳۸۳	۹۰۰/۰۰۰/-	۳۴۴/۷۰۰/۰۰۰/-
Sun Pipe	40/500	۶۴	۱۲۰/۰۰۰/-	۷۶/۸۰۰/۰۰۰/-
سنسور حرکتی	برای هر ۴ چراغ	۱۸	۱۲۰/۰۰۰/-	۱۹/۲۰۰/۰۰۰/-
پانل کنترل	اتوماتیک	در قسمت گرمایش محاسبه شده است		
مجموع				۴۲۱/۵۰۰/۰۰۰/-

نتایج

با توجه به استفاده از سیستم های کنترل دقیق در سیستم پیشنهادی جهت جلوگیری از هدر رفت انرژی هم در بخش گرمایش و هم در بخش روشنایی در ساختمان، هزینه اجرای این سیستم ها نسبت به سیستم های اولیه بیشتر می باشد. اما از طرفی کاهش هزینه مصرف گاز و مصرف برق در طول سال باعث جبران این افزایش می گردد. زمان بازگشت سرمایه در هر دو بخش گرمایش و روشنایی بدین صورت محاسبه می گردد.

بازگشت سرمایه بخش گرمایش:

ما به التفاوت هزینه اولیه اجرای سیستم پیشنهادی و سیستم اولیه:

$$341'222'000 - 234'383'000 = 106839000^{\text{Rials}}$$

ما به التفاوت هزینه سالانه مصرف گاز در سیستم پیشنهادی و سیستم اولیه:

$$96768000^{\text{Rials/year}} - 23562000^{\text{Rials/year}} = 73206000^{\text{Rials/year}}$$

زمان بازگشت سرمایه سیستم گرمایشی:

$$106839000^{\text{Rials}} / 73206000^{\text{Rials/year}} = 1.45^{\text{year}} = 1^{\text{year}} + 165^{\text{days}}$$

با توجه به محاسبات فوق، اجرای سیستم پیشنهادی باعث می شود تا میزان مصرف گاز ۷۸/۳۰ درصد کاهش یابد، همچنین مقدار افزایش هزینه اولیه در سیستم پیشنهادی را می توان با گذشت ۱ سال و ۱۶۵ روز یا ۱۷ ماه از زمان شروع به کار سیستم از محل صرفه جویی هزینه مصرف گاز تامین نمود.

بازگشت سرمایه بخش روشنایی:

ما به التفاوت هزینه اولیه اجرای سیستم پیشنهادی و سیستم اولیه:

$$315'700'000 - 238'072'800 = 77627200^{\text{Rials}}$$

ما به التفاوت هزینه سالانه مصرف برق در سیستم پیشنهادی و سیستم اولیه:

$$102060205^{\text{Rial/year}} - 29120256^{\text{Rial/year}} = 72939949^{\text{Rials/year}}$$

زمان بازگشت سرمایه:

$$77627200^{\text{Rials}} / 72939949^{\text{Rials/year}} = 1.06^{\text{year}} = 1^{\text{year}} + 22^{\text{days}}$$

با توجه به محاسبات فوق، اجرای سیستم پیشنهادی باعث می شود تا میزان مصرف برق ۷۸/۳۰ درصد کاهش یابد، همچنین مقدار افزایش هزینه اولیه در سیستم پیشنهادی را می توان با گذشت ۱ سال و ۲۲ روز یا حداکثر ۱۳ ماه از زمان شروع به کار سیستم از محل صرفه جویی هزینه مصرف برق روشنایی تامین نمود.

مراجع

- [1] Dynamic and real-time simulation of BMS and air-conditioning system as a 'living' environment for learning/training Original Research Article Automation in Construction, Volume 10, Issue 4, May 2001, Pages 487-505 Shengwei Wang, Ling Zheng
- [2] A discussion on potentials of saving energy use for commercial buildings in Hong Kong Original Research Article Energy, Volume 32, Issue 2, February 2007, Pages 83-94 Philip C.H. Yu, W.K. Chow
- [3] Application of an energy management system in combination with FMCS to high energy consuming IT industries of Taiwan Original Research Article Energy Conversion and Management, Volume 52, Issues 8-9, August 2011, Pages 3060-3070 Shin-Ku Lee, Min-Cheng Teng, Kuo-Shun Fan, Kuan-Hsiung Yang, Richard S. Horng
- [4] Fluent Tutorials & Helps

[۵] محاسبات تاسیسات ساختمان، طباطبایی، ۱۳۸۷.

[۶] مقررات ملی ساختمان، مبحث ۱۳، ۱۳۸۷.

[۷] محاسبات انرژی خورشیدی، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران