

پیشنهاد سیستم گرمایش، سرمایش و تولید توان یکپارچه خورشیدی بهینه و ارائه راهکارهای فنی مناسب برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان اداری با رویکرد دستیابی به ساختمان انرژی صفر

علیرضا انوری کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران، eng_anvari@yahoo.com
محسن فلاح* دانشیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران، mfallah@azaruniv.ac.ir
امیرحسین مصفا دانشیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران، mosaffa@azaruniv.edu
مرتضی رحمان پور استادیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران، ac.rahmanpour@azaruniv.ac.ir

چکیده

برای ساختمان‌های انرژی صفر، فناوری ساختمان باید متناسب با ویژگی‌های اقلیمی آن منطقه باشد تا با شرایط موجود سازگار گردد و با محیط زیست همخوانی داشته باشد. این مقاله تجزیه و تحلیل انرژی را برای ساختمان نزدیک به انرژی صفر (nZEB) و ساختمان بدون انتشار کربن برای ساختمان اداری دانشگاه شهیدمدنی آذربایجان، واقع در پردیس دانشگاه در آذرشهر (ایران) ارائه می‌دهد. دو طرح پیشنهادی یکپارچه با انرژی خورشیدی برای تامین نیازهای سرمایش، گرمایش و برق مصرفی ساختمان مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین تمهیدات فنی لازم برای استفاده صحیح تجهیزات و اجرای بهینه تاسیسات، برنامه‌ریزی زمان حضور ساکنین و الگوی مصرف بهینه در این بررسی مدنظر قرار گرفته شده است. نتایج تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که استفاده از سیستم‌های پیشنهادی کاهش چشمگیری در مصرف انرژی ساختمان به همراه دارد؛ اما، امکان دست یابی به مصرف انرژی الکتریکی صفر برای ساختمان اداری فقط در ایام گرم سال، و با رعایت کامل مبحث ۱۹، الگوهای رفتاری کارکنان و به‌کارگیری طرح پیشنهادی دوم قابل دسترس است. با استفاده از طرح گردآور خورشیدی بدون فوتولتایی و مواد تغییر فاز دهنده برای سقف موتورخانه، در حدود ۲۱/۴۲ درصد در مصرف سوخت صرفه‌جویی می‌شود. همچنین استفاده از طرح گردآور با مواد تغییر فاز دهنده و فوتولتایی برای سقف موتورخانه، باعث صرفه‌جویی حدود ۱۴/۲۶ درصد در مصرف سوخت می‌شود. بیشترین تخریب انرژی برای هر دو سیستم پیشنهادی به ژنراتور اختصاص دارد. بازده قانون اول و دوم ترمودینامیک برای سیستم‌های پیشنهادی اول و دوم به ترتیب به میزان ۵۷ و ۳۷ درصد و همچنین ۶۱ و ۴۱ درصد است.

واژه‌های کلیدی: مصرف انرژی، ساختمان اداری، انرژی صفر، تخریب انرژی، بازده انرژی، بازده انرژی، فوتولتایی.

Proposing optimal solar integrated heating, cooling, and power generation systems and providing suitable technical solutions to reduce energy consumption in office buildings with the approach of achieving a zero-energy building

A. R. Anvari
M. Fallah
A. H. Mosaffa
M. Rahmanpour

Mechanical Engineering Department, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran
 Mechanical Engineering Department, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran
 Mechanical Engineering Department, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran
 Mechanical Engineering Department, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

Abstract

For green buildings, the building technology needs to fit the climatic characteristics to adjust to the existing conditions and create a more livable environment. This paper develops an energy analysis for an existing near Zero Energy (nZEB) and Zero Carbon Emissions building called the office Building of Azarbaijan University, located at the university campus in AzarShahr (Iran). Two proposed plans integrated with solar energy to meet the needs of cooling, heating, and electricity consumption in the building have been investigated. Also, the necessary technical arrangements have been considered for the correct use of equipment and the optimal implementation of facilities. The results of the analysis show that the use of the proposed systems brings a significant reduction in the energy consumption of the building. However, the possibility of achieving zero electric energy consumption for the office building is available only in the hot days of the year, and by fully complying with topic 19, behavioral patterns of employees, and using the second proposed plan, by using a solar collector design without photovoltaics and phase change materials for the roof of the engine room, about 21.42% of fuel consumption is saved. Also, using the collector design with phase change materials and photovoltaics for the roof of the engine room saves about 14.26% in fuel consumption. The highest energy efficiency obtained for both proposed systems is assigned to the generator. The performance coefficients of the first and second laws for the first and second proposed systems are 57% and 37%, as well as 61% and 41%, respectively.

Keywords: Energy consumption, Zero Energy, Office Building, Exergy destruction, Energy efficiency, Exergy efficiency, photovoltaic.

۱- مقدمه

سوخت‌های فسیلی (نفت، ذغال سنگ و گاز طبیعی) قطع به یقین در سال‌های آتی محیط زیست جهانی را با خطر جدی مواجه خواهد کرد [۱]. بی‌شک صنعت ساختمان که بیش از ۳۰ درصد از انرژی

در عصر حاضر از جمله مهمترین مسائل مجامع علمی دنیا، مسائل مربوط به توسعه پایدار و همچنین کاهش هرچه بیشتر مصرف انرژی است. بی‌شک استفاده‌ی بیش از حد از منابع تجدیدنپذیر، مانند

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: mfallah@azaruniv.ac.ir

تاریخ دریافت: ۲۰/۰۶/۲۷

تاریخ پذیرش: ۳۱/۰۲/۲۴

مصرفی کل صنعت را به خود اختصاص داده است، مستلزم بازنگری اساسی است تا بتوان هرچه پیش‌تر مصرف انرژی در آن کاهش پیدا کند. با این روند آمیدی به حفظ این منابع تجدیدناپذیر برای سال‌های آینده نیست و همین امر باعث می‌گردد تا توجه بیشتری به مساله‌ی کاهش مصرف سوخت در ساختمان‌ها گردد و تلاش برای رسیدن به راه‌کارهایی اساسی برای به صفر رسانیدن مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر در ساختمان‌ها اتخاذ گردد [۲]. نظریه‌ی ساختمان‌هایی انرژی صفر و یا نزدیک به صفر در جهت تامین نیازهای نمودن انرژی بشر در قرن حاضر ارائه شده است و ایده‌ی اصلی آن در راستای کاهش نگرانی‌های مرتبط با مصرف انرژی در صنعت ساختمان است [۳-۱۷]. طراحی این نوع ساختمان‌ها بستگی به عواملی محیطی، مانند انرژی خورشیدی، وزش باد و ... دارد. با توجه به آمارهای بررسی شده، یک خانواده ایرانی سالانه بیش از سه برابر خانواده‌ها در سایر کشورهای جهان، انرژی مصرف می‌کند که مقدار زیادی از این انرژی، بیهوده تلف می‌شود [۸-۱۱]. از آنجائیکه همه‌ی فعالیت‌های انسان‌ها در ساختمان‌ها توسط طراحان انجام می‌پذیرد لذا تمام مزیت‌ها و عیب‌ها در این فضاها مستقیماً بر روی سلامت بشر و حفظ محیط زیست می‌گذارد؛ پس می‌توان نتیجه گرفت که مسئولیتی حساس بر دوش مهندسین این صنعت قرار دارد. طراحی ساختمان و تاسیسات آن به عنوان پر مصرف‌ترین بخش‌های انرژی در مقابل سایر بخش‌ها، می‌تواند با در پیش گرفتن با رویکرد مصرف صفر انرژی، بدون تردید قدمی مهم در راستای رسیدن به اهداف تقلیل بحران‌های انرژی موجود در جهان باشد [۱۲-۱۴].

تحقیقات نسبتاً زیادی در خصوص استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برای دستیابی به ساختمان با مصرف انرژی صفر صورت گرفته است. ماگربینی و همکاران [۱۵] به بررسی تبدیل ساختمان معمولی به ساختمان با مصرف انرژی نزدیک به صفر و ساختمان‌های انرژی مثبت (تولید مازاد انرژی) پرداختند. در کار آنها امکان سنجی استفاده همزمان از مواد PCM و VIP و ایروزل‌ها برای دستیابی به ساختمان‌های انرژی مثبت صورت پذیرفت. همچنین گریپ و همکاران [۱۶] به شرح ساختمان‌های با مصرف انرژی نزدیک به صفر در شهرهای آمستردام و هلسنبورگ و لیون پرداختند. در کار آنها به مقایسه ساختمان‌های با مصرف انرژی صفر با یک روش یکسان، در سه شهر با شرایط آب و هوایی متفاوت پرداختند. کار آنها بر اساس استانداردهای اروپایی تدوین گردیده بود.

هانگ و همکاران [۱۷] نیز به بررسی عملکرد سیستم انرژی هیبریدی بهینه سازی شده برای دستیابی ساختمان انرژی صفر یا نزدیک به صفر پرداختند. در کار آنها از سیستم انرژی هیبریدی برای فراهم آوردن دستیابی به ساختمان‌های انرژی صفر به کمک عایق کردن ساختمان و متصل کردن شبکه ساختمان‌ها به هم استفاده شده بود. روش شبیه سازی مونت کارلو برای بهینه سازی ترکیب روش‌های دستیابی به ساختمان انرژی صفر در نظر گرفته شده بود. ولز و همکاران [۱۸] به بازبینی ساختمان با مصرف انرژی نزدیک به صفر با بازتاب کننده‌ها در استرالیا پرداختند. در کار آنها به تولید انرژی برای مصارفی نیز روشیابی و گرمایش به همراه کاهش گازهای گلخانه‌ای پرداخته شده است. فواد و همکاران [۱۹] به مدل سازی و بررسی سیستم فوتوولتایی متصل شده به ساختمان و دستیابی به ساختمان با

مصرف انرژی صفر پرداختند. آنها با کاهش انرژی گرمایی مورد نیاز داخل ساختمان و تامین روشنیابی ساختمان، توانستند ساختمان با مصرف انرژی نزدیک به صفر را ایجاد کنند.

مطالعات میدانی در موتورخانه ساختمان اداری دانشگاه آذربایجان نشان می‌دهند که برای کاهش مصرف سوخت، استفاده از عایق‌های الاستومتری به جای عایق‌های پشم شیشه، دیگ‌های فولادی سه‌گذر و دو‌گذر به جای دیگ‌های فولادی تک‌گذر و چدنی، عایق کاری منابع کوبلی، بازرسی دوره‌ای مشعل‌ها و تعویض به موقع پرده دیافراگم مشعل‌ها، هوشمند سازی سیستم گرمایش موتورخانه و نصب حسگرها در ساختمان، استفاده از دیگ‌های چگالش‌ی، بازیابی اتلافات گرمایی تجهیزات، مدارشویی و اسیدشویی سیستم اصلی موتورخانه و سیستم توزیع فن کویل‌ها، اسیدشویی چیلر، انتخاب برج خنک کن مناسب برای چیلرها، و عایق کاری منابع انبساط پشت بام مواردی هستند که توصیه می‌شود برای بهبود مصرف انرژی و کاهش هدررفت گرمایی در نظر گرفته شوند.

استفاده از ساختمان‌های انرژی صفر و یا نزدیک به صفر می‌تواند علاوه بر کاهش قابل توجه مصرف انرژی، به حفظ محیط زیست نیز کمک شایانی بنماید. در این تحقیق سعی بر آن شده است تا یک ساختمان اداری با مصرف صفر انرژی، با توجه به شرایط آب و هوایی شهرستان آذرشهر امکان سنجی گردد. علاوه بر این مورد تحلیل ترمودینامیکی مد نظر جهت به دست آوردن راندمان‌ها و مقدار کاهش مصرف انرژی نیز محاسبه گردیده است. در صورت لزوم از شبیه سازی‌های دینامیک سیالات محاسباتی نیز استفاده شده است. در این مقاله نشان داده می‌شود که ساختمان‌های انرژی صفر با در نظر داشتن استفاده حداقلی از سوخت‌های فسیلی و حداکثری از انرژی‌های تجدیدپذیر، چگونه تعادل میان تولید و مصرف انرژی برقرار می‌کنند. مطالعه‌ی موردی این تحقیق ساختمان اداری دانشگاه شهید مدنی آذربایجان می‌باشد و هدف اصلی این تحقیق استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر مانند خورشید برای به حداقل رسانیدن مصرف سوخت در ساختمان است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- طرح‌های پیشنهادی برای دستیابی به ساختمان

انرژی نزدیک به صفر

با توجه به تغییرات دمایی گسترده در شهر آذرشهر و اینکه این شهر پتانسیل استفاده از انرژی زمین گرمایی را ندارد و یا بهره برداری استفاده از انرژی زمین گرمایی مستلزم هزینه‌های اولیه گزافی می‌باشد؛ پس در این طرح پیشنهادی برای کاهش هرچه بیشتر انرژی مصرفی در ساختمان اداری دانشگاه آذربایجان، از انرژی خورشیدی برای جایگزینی بخشی از گرمای مورد نیاز در ژنراتور شعله مستقیم چیلر جذبی و نیز تامین آب گرم مصرفی استفاده شده است. برای این کار دو سناریو برای استفاده از مصرف انرژی خورشیدی جهت بهره برداری در داخل ساختمان اداری دانشگاه آذربایجان استفاده شده است. در شکل ۱ (طرح اول)، گردآور گرمایی خورشیدی فقط صرفاً برای تبدیل انرژی خورشیدی به آب با دمای بالا استفاده شده است. آب گرم شده توسط گردآور گرمایی خورشیدی، به عنوان آب پیش گرم جهت کاهش انرژی

معادله پیوستگی و مومنوم نشان داده شده است. که دارای دو جمله اضافی بوزینسک و دارسی هست [۲۰].

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial (\rho u)}{\partial t} + (\nabla \cdot \rho u) u = \nabla \cdot (\mu (\nabla u)) - \nabla p + S_{Darcy} + S_{boussinesq} \quad (2)$$

$$S_{Darcy} = -\frac{C(1-f_1)^2}{f_1^3 + \varepsilon} u \quad (3)$$

$$S_{boussinesq} = \rho g \beta (T - T_m) \quad (4)$$

پارامتر C موجود در معادله (۳) بیانگر انتقال در بین جامد و مایع می‌باشد. که بالاترین مقدار ممکن در این تحقیق در نظر گرفته شده است. در معادله بالا f_1 فاز مایع می‌باشد. همچنین در این معادله ε مقدار ثابت می‌باشد. از طرفی در معادله (۴) نیز تقریب بوزینسک در نظر گرفته شده است. در معادله (۵) نیز، معادله انرژی برای در نظر گرفتن فرآیند ذوب ماده تغییر فاز دهنده نشان داده شده است [۲۱] و [۲۲].

$$\frac{\partial (\rho c_p T)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho c_p u T) = \nabla \cdot (k \nabla T) - \frac{\partial (\rho f_l h_{if})}{\partial t} \quad (5)$$

در معادله (۶) نیز معادله انرژی برای فاز جامد در نظر گرفته شده است [۲۲].

$$\frac{\partial (\rho c_p T)}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + P_{out}'' + Q_{out}'' \quad (6)$$

هم چنین در رابطه ۶، P_{out}'' و Q_{out}'' به ترتیب بیانگر توان تولیدی حجمی در سلول و منبع انرژی برای جذب تابش خورشیدی است که در ادامه فرمول‌های آنها نشان داده شده‌اند [۲۲].

$$P_{out}'' = \frac{\eta_{pv} \times (\alpha_{pv} \tau_{glass} I_{solar})}{t_{pv}} \quad (7)$$

$$Q_{out}'' = \frac{(1 - \eta_{pv}) \times (\alpha_{pv} \tau_{glass} I_{solar})}{t_{pv}} \quad (8)$$

در رابطه بالا η_{pv} راندمان تبدیل انرژی الکتریکی هست که وابسته به دمای سلول می‌باشد و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد [۲۲].

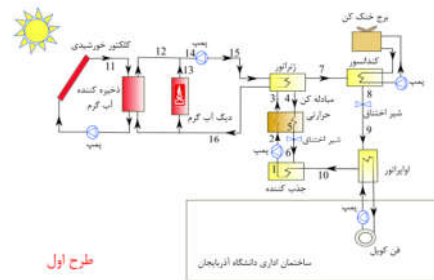
$$\eta_{pv} = \eta_{ref} \times (1 - \beta_{ref} (T_{pv} - T_{ref})) \quad (9)$$

فرمول بالا راندمان الکتریکی سلول را نشان می‌دهد، و مقدار پارامترهای ثابت موجود در آن $\beta_{ref} = 0.00382$ و $T_{ref} = 25^\circ C$ و $\eta_{ref} = 0.123$ در نظر گرفته شده است.

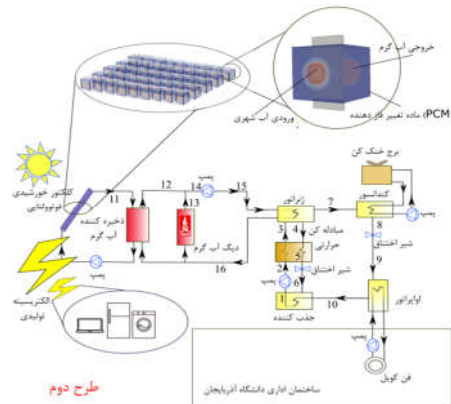
۲-۳- مواد تغییر فاز دهنده مورد استفاده

در شکل ۳ مکانیزم های انتقال گرمای غالب بر صفحه فوتولتایی نشان داده شده است. گردآورها با استفاده از این صفحات جاذب قدرتمند، عملکرد بسیار خوبی به‌ویژه در زمستان‌ها و شرایط ابری دارند. هر چند در این تحقیق هدف اصلی استفاده از انرژی خورشیدی برای تولید سرما به وسیله چیلر جذبی می‌باشد. لذا از این گردآورها برای این منظور استفاده خواهد شد. در این تحقیق از سه نوع ماده تغییر فاز دهنده موجود در جدول ۱ استفاده شده است: سیستم فوتولتایی و تغییر فاز دهنده در این مقاله از یک سلول فوتولتایی و یک محفظه آلومینیومی داخلی پر شده با مواد تغییر فاز دهنده تشکیل شده است. سه نوع ماده مختلف تغییر فاز دهنده در این مقاله به طور جامع بررسی شده‌اند. تحقیق در مورد اینکه چگونه ظرفیت گرمایی، دمای ذوب و ضخامت تغییر فاز دهنده بر عملکرد سیستم تأثیر می‌گذارد.

سوخت فسیلی مصرفی برای گرمایش اصلی آب استفاده می‌شود. با توجه به اینکه در این طرح از گرمای خورشید برای تولید سرمایش به وسیله چیلر جذبی استفاده شده است، هیچ گونه تولید الکتریسته در آن وجود ندارد. ولی در طرح دوم (شکل ۲) از صفحات فوتولتایی برای تولید الکتریسته استفاده شده است. مقدار تولید الکتریسته تولیدی با توجه به مصرف یک ساختمان اداری معمولی در دانشگاه آذربایجان، به قدری است تا برق مورد نیاز تجهیزاتی مانند، سیستم‌های کامپیوتری، یخچال در آبدارخانه و ... را تا حد قابل توجهی تأمین کند. همچنین با توجه به تلفات گرمایی بالای صفحات فوتولتایی تأثیر استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در این طرح مورد بررسی قرار گرفته است. که علاوه بر افزایش قابل توجه راندمان تولید توان، امکان ذخیره سازی و استفاده مجدد از گرمای هدررفت از انرژی خورشیدی را برای زمان‌هایی که نور خورشید در دسترس نیست نیز فراهم می‌نماید.



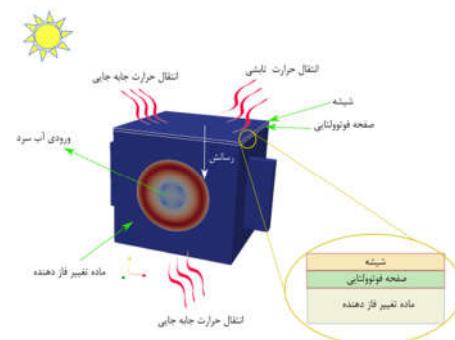
شکل ۱- طرح اول پیشنهادی بهینه‌سازی سیستم گرمایشی و سرمایشی برای دست یابی به ساختمان انرژی صفر دانشگاه آذربایجان



شکل ۲- طرح دوم پیشنهادی سیستم گرمایشی و سرمایشی و تولید توان برای دست یابی به ساختمان با مصرفی انرژی صفر دانشگاه آذربایجان

۲-۲- روابط دینامیک سیالات محاسباتی مربوط به مواد تغییر فاز دهنده

در این بخش از تحقیق به ارائه و بررسی معادلات حاکم بر یک سیستم متشکل از صفحات فوتولتایی و مواد تغییر فاز دهنده اشاره شده است. معادلات حاکم بر فاز سیال موجود در صفحات فوتولتایی، روش انتقال گرمای همرفتی و رسانشی، مدل ترموفیزیکی و نحوه تولید الکتریسته برای سیستم فوتولتایی دارای تغییر فاز دهنده مورد بحث و بررسی قرار گرفته شده است. در معادلات (۱) و (۲) به ترتیب



شکل ۳- سلول فوتولتایی مد نظر در این تحقیق برای دست یابی برای تولید برق و آب گرم

جدول ۱- انواع مواد تغییر فاز دهنده مورد استفاده در این تحقیق [۲۳]

پارامتر	PCM 1	PCM 2	PCM 3
خواص	RT35	RT42	RT35H
چگالی ($kg.m^{-3}$)	۸۶۰	۸۸۰	۸۸۰
لزجت ($kg.m^{-1}.s^{-1}$)	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
گرمای ویژه ($J.kg^{-1}.K^{-1}$)	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰
رسانایی گرمایی ($W.m^{-1}.K^{-1}$)	۰/۲	۰/۲	۰/۲
گرمای نهان ($kJ.kg^{-1}$)	۱۳۰	۱۳۵	۲۱۰

۲-۴- روابط ترمودینامیکی مربوط به چرخه تبرید جذبی آب آمونیاک

به منظور بررسی عملکرد هریک از اجزای چرخه و بررسی ناکارآمدی آن تحلیل ترمودینامیکی چرخه از دیدگاه قانون اول و دوم و نیز میزان برگشت پذیری هریک از اجزا به عنوان معیاری از ناکارآمدی جزء مورد بررسی قرار گرفت. قانون اول ترمودینامیک برای حالت پایا و بدون در نظر گرفتن انرژی جنبشی و پتانسیل به شکل زیر نوشته می-شود [۲۴].

$$\dot{Q}_{C.V} + \sum_{in} \dot{m}_i h_i = \dot{W}_{C.V} + \sum_{out} \dot{m}_e h_e \quad (10)$$

$$\dot{S}_{gen} = \sum_{in} \dot{m}_e s_e - \sum_{out} \dot{m}_i s_i - \sum \frac{\dot{Q}_i}{T_i} \quad (11)$$

$$I = \dot{m} T_0 \dot{S}_{gen} \quad (12)$$

در معادله‌ی بالا، \dot{m} و h به ترتیب نشان دهنده‌ی دبی جرمی و آنتالپی ویژه هستند و $\dot{W}_{C.V}$ و $\dot{Q}_{C.V}$ نیز نشانگر توان خروجی و نرخ گرمای ورودی به حجم کنترل مورد استفاده است. معادلات انرژی و انژیژی (قابلیت کاردهی) برای هریک از اجزای مورد استفاده در قسمت چیلر جذبی عبارت اند از [۲۴]:

پمپ:

$$\dot{W}_p = \dot{m}_2 (h_2 - h_1) \quad (13)$$

$$\eta_{isen,p} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad (14)$$

$$I_p = \dot{m} T_0 (s_2 - s_1) \quad (14)$$

مبادله‌کن گرمایی:

$$\dot{m}_2 (h_2 - h_3) = \dot{m}_4 (h_4 - h_5) \quad (15)$$

$$\eta_{Heat,exch} = \frac{h_4 - h_5}{h_4 - h_{5s}}$$

$$I_{HE} = T_0 (\dot{m}_3 s_3 + \dot{m}_5 s_5 - \dot{m}_2 s_2 - \dot{m}_4 s_4)$$

تبخیرکن:

$$Q_{evap} = \dot{m}_{10} (h_{10} - h_9) \quad (14)$$

چگالنده:

$$Q_{cond} = \dot{m}_7 (h_8 - h_7) \quad (15)$$

$$I_{cond} = \dot{m}_7 T_0 (s_8 - s_7) \quad (16)$$

ژنراتور:

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 + \dot{m}_7 \quad (17)$$

$$\dot{m}_3 x_3 = \dot{m}_4 x_4 + \dot{m}_7 x_7 \quad (18)$$

$$\dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_7 h_7 + Q_{gen} = 0 \quad (19)$$

جاذب:

$$\dot{m}_i = \dot{m}_{10} + \dot{m}_6 \quad (20)$$

$$\dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_{10} h_{10} - \dot{m}_6 h_6 - Q_{absorb} = 0 \quad (21)$$

شیر خفانش:

$$\dot{m}_8 h_8 = \dot{m}_9 h_9 \quad (22)$$

$$\dot{m}_5 h_5 = \dot{m}_6 h_6 \quad (23)$$

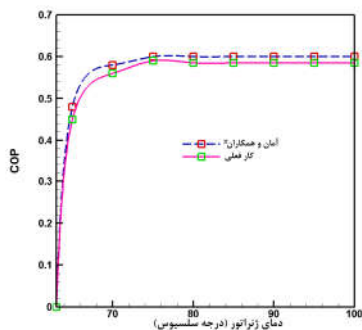
۲-۵- مشخصات سیستم

در این طرح برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان اداری دانشگاه آذربایجان، از انرژی خورشیدی در ایام گرم سال استفاده شده است. دو حالت برای استفاده از مصرف انرژی خورشیدی در داخل ساختمان اداری دانشگاه آذربایجان مورد بررسی قرار گرفته است. در حالت اول، از گردآور گرمایی خورشیدی برای تولید آب گرم برای گرمایش استفاده شده و در حالت دوم، از صفحات فوتولتایی برای تولید الکتریسیته و گرما استفاده شده است. همچنین در حالت دوم از مواد تغییر فاز دهنده برای ذخیره و استفاده مجدد از گرمای هدررفت از انرژی خورشیدی استفاده شده است. ظرفیت تبرید سیستم ۸۰ تن تبرید و در تمامی طرح‌ها ثابت در نظر گرفته شده است. سیستم پیاده شده در کار فعلی به این صورت است که دمای آب سرد بین ۲۰ تا ۳۰ درجه سلسیوس است و دمای آب گرم بین ۸۵ تا ۱۰۵ درجه سلسیوس است. جریان جرمی آب برای فرایند تبرید ۱۲ کیلوگرم در دقیقه و جریان جرمی آب برای گرمایش ۱۶ کیلوگرم در دقیقه و جریان جرمی آب برای فرایند تبخیر ۱۰ کیلوگرم در دقیقه است. ضریب جریان شیر تنظیم ۰/۰۰۴ و جریان جرمی محلول غلیظ ۰/۸ کیلوگرم در دقیقه و غلظت مولی اولیه مخلوط ۰/۳۸ (مول آمونیاک/مول مخلوط) است. همچنین گردآور شبیه‌سازی شده در بخش دینامیک سیالات محاسباتی دارای ابعاد ۱ در ۰/۷۵ متر می باشد. سیستم فوتولتایی با زاویه شیب ۱۰ درجه، ۷۲ سلول در هر ماژول، بیشترین توان ۳۲۵ وات، ولتاژ در بیشترین توان ۲/۳۷ ولت، ولتاژ مدار باز ۴۵/۶ ولت، و جریان در بیشترین توان ۸/۷۳ آمپر از جمله مشخصه های سیستم گردآور فوتولتایی است. دمای طرح داخل ۲۲ درجه سلسیوس منظور شده است.

۳- صحت سنجی

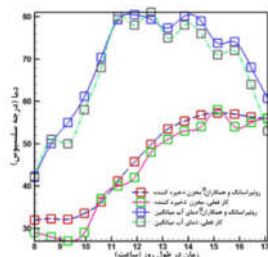
۳-۱- صحت سنجی چرخه تبرید جذبی آب آمونیاک

در این قسمت از تحقیق به صحت سنجی چرخه تبرید جذبی پرداخته شده است. برای این منظور از کار عددی آمان و همکاران [۲۷] استفاده شده است و هدف اصلی به دست آمدن توان مصرفی

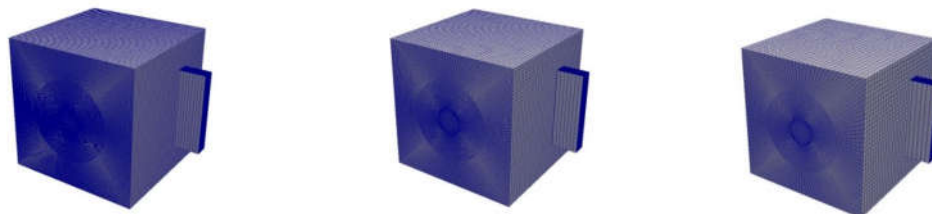


شکل ۴- تغییرات ضریب عملکرد بر حسب دمای ژنراتور برای مقایسه کار فعلی و کار آمان و همکاران [۲۷]

با توجه به اینکه در این تحقیق، علاوه بر تولید گرما، هدف دیگر تولید الکتریسیته می‌باشد، می‌توان با افزودن صفحاتی فوتولتایی به گردآورهای خورشیدی، از آنها برق نیز تولید نمود. با تولید برق از این صفحات می‌توان علاوه بر تولید الکتریسیته، گرما نیز تولید نمود. ولی نکته‌ای بسیار مهم در این مورد این است که صفحات فوتولتایی از موادی نیمه رسانا تشکیل می‌گردد. این مواد نیمه رسانا به عنوان عایق گرما عمل می‌کنند. عملکرد آنها به صورت عایق گرما باعث می‌شود تا دمای آب گرم خارج شده از سیستم ترکیبی کاهش چشم گیری پیدا نماید. لذا مناسب‌ترین و ایده‌آل‌ترین راه‌حل برای این منظور، استفاده از مواد تغییر فاز دهنده با ظرفیت گرمایی بالا در زیر صفحه فوتولتایی و ذخیره گرمای هدررفت آن و استفاده برای گرم نمودن آب می‌باشد. مواد تغییر فاز دهنده این قابلیت را در خورد دارند تا با ذخیره سازی گرمای هدررفت در خود آن را به لوله‌های زیرگردآور خورشیدی انتقال دهند تا همزمان بتوان برق تولید نمود و هم بتوان آب گرم را در اختیار داشت.



شکل ۵- صحت سنجی صفحات گردآور گرمایی خورشیدی



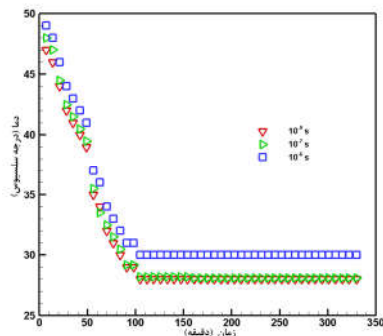
شکل ۸- بررسی انواع شبکه بندی های درشت، ریز و بسیار ریز برای سلول فوتولتایی

دیگ می‌باشد. در این تحقیق عددی از نرم افزار EES برای شبیه سازی و بررسی ترمودینامیکی چرخه تبرید جذبی آب آمونیاک استفاده شده است [۲۶]. با توجه به اینکه انرژی بالای گرمای خورشید به وسیله گردآور جذب می‌گردد و مقدار بالای آن به ژنراتور چرخه جذبی منتقل می‌گردد، محلول آب آمونیاک در ژنراتور دچار جوشش می‌شود و آب از آمونیاک جدا می‌گردد. آب در قالب ماده جاذب به جاذب و آمونیاک هم بعد از عمل چگالش در چگالنده به تبخیرکن بازگردانده می‌شود و با تداوم تکرار این چرخه، ظرفیت تبرید در داخل تبخیرکن قابل حاصل می‌شود. جوشاندن محلول در این چرخه ملزم به استفاده از گرمای بالایی هست و مقدار انرژی دریافت شده از چرخه جاذب خورشیدی در سقف ساختمان اداری دانشگاه آذربایجان پاسخگوی این مقدار بالای انرژی است. در شکل ۴، طرحواره‌ی مورد استفاده در تحقیق آمان و همکاران [۲۷] نشان داده شده است.

صحت سنجی گردآور گرمایی خورشیدی برای انجام این تحقیق و بررسی صحت نتایج به دست آمده در ابتدا یک صفحه گردآور خورشیدی برای افزایش دمای آب استفاده شده است، سپس این صفحه گردآور برای صحت سنجی در نرم افزار OpenFOAM شبیه سازی شده است. و دمای آب ذخیره شده و همچنین دمای آبی که برای استفاده در مصارف دیگر این تحقیق پیشنهاد شده است. مقایسه و بررسی گردیده‌اند. در شکل ۵ صحت سنجی کار فعلی با کار رونپراسانگ و همکاران [۲۵] نشان داده شده است. درصد خطای به دست آمده با استفاده از روش جذر میانگین مربعات برابر با مقدار ۵ درصد گزارش گردیده است.

جدول ۲- انواع شرایط مرزی

سرعت	فشار	دما	مرز
دبی ثابت	گرادیان صفر	مقدار ثابت	ورودی
گرادیان صفر	اتمسفر	محاسبه	خروجی
عدم لغزش	گرادیان صفر	محاسبه	دیواره



شکل ۵- تغییرات دمایی صفحه بر حسب زمان برای انواع گام های زمانی مورد استفاده

جایگزینی انبساط بسته از نظر گرمایی بهتر از منابع انبساط باز هستند، اما نیاز به پمپ اضافی دارند و نیاز به بازبینی‌های مکرر دارند. بنابراین، برای این سیستم استفاده از منابع انبساط بسته منظور گردید. عایق- کاری لوله‌های انتقال از موتورخانه به ساختمان جلوگیری از نشت آب و انتخاب مناسب پمپ‌ها نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. در نهایت با لحاظ کردن برنامه حضور ساکنین و تغییرات لازم در پنجره‌های ساختمان میزان مصرف گاز مشعل دیگ آب گرم بعد از تغییرات با استفاده از نرم‌افزار Carrier محاسبه و با مقدار مصرف قبل از تغییرات برای هر دو سیستم پیشنهادی مقایسه می‌شود.

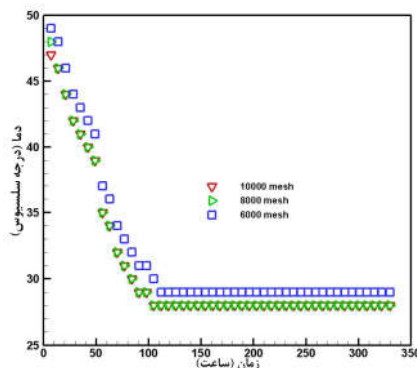
در ادامه امکان سنجی های لازم برای استفاده از آب گرم کن‌های خورشیدی و چیلرهای جذبی خورشیدی، که با استفاده مواد تغییر فاز دهنده با استفاده از نرم افزارهای دینامیک سیالات محاسباتی OpenFOAM صورت گرفته است. در این قسمت از تحقیق و با توجه به بررسی دو حالت تولید آب گرم از گردآورهای گرمایی خورشیدی، فقط برای مصارف تولید سرما در چیلر جذبی و ترکیب تولید آب گرم و الکتریسیته با استفاده از صفحات فوتوولتایی و ماده تغییر فاز دهنده، به مطالعه تاثیر افزودن ماده تغییر فاز دهنده بر روی دمای آب گرم خروجی از گردآور و تاثیر آن بر توان مصرفی دیگ آب گرم پرداخته شده است. برای بررسی این موضوع از گردآور بدون ماده تغییر فاز دهنده (فقط گرما) و گردآور با ماده تغییر فاز دهنده‌ی نوع سوم استفاده شده است. به هر میزان دمای آب گرم ورودی به داخل دیگ آب گرم کمتر باشد، به همان اندازه می‌توان دیگ آب گرم با ظرفیت گرمایی کمتری را در داخل موتورخانه ساختمان اداری دانشگاه آذربایجان به کار برد. در حال حاضر ظرفیت گرمایی دیگ آب گرم موجود در موتورخانه ساختمان اداری دانشگاه آذربایجان برابر با مقدار ۷۰۰۰۰۰ کیلوکالری بر ساعت می‌باشد. نحوه تنظیمات آن بدون پیش گرم کن و با تزریق آب شهری تامین می‌گردد. دمای آب خروجی از گردآور خورشیدی در حالت وجود ماده تغییر فاز دهنده در حدود ۴۵ درجه سلسیوس می‌باشد و در شرایط کاملاً مشابه این دما برای بدون ماده تغییر فاز دهنده در حدود ۶۰ درجه سلسیوس می‌باشد. دلیل کم

۲-۳- استقلال نتایج از شبکه و گام زمانی

در این بخش از تحقیق و بعد از بررسی صحت نتایج، به مطالعه استقلال نتایج از شبکه پرداخته شده است. برای این منظور سه نوع شبکه بندی درشت، ریز و بسیار ریز انتخاب و تغییرات زمانی دمای صفحه استخراج شده است. بعد از شبکه بندی ۸۰۰۰ به بعد تغییری در نتایج مشاهده نگردید، لذا شبکه بندی ۸۰۰۰ مناسب ترین شبکه بندی می‌باشد. همچنین استقلال نتایج از گام زمانی برای سه حالت در شکل ۷ نشان داده شده‌اند. همچنین نحوه شبکه بندی سازمان یافته برای صفحه فوتوولتایی در شکل ۸ نشان داده شده است. شرایط مرزی لازم برای شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی ماده تغییر فاز دهنده در جدول ۲ نشان داده شده است.

۴- نتایج و بحث

اگرچه دستیابی به یک ساختمان با مصرف انرژی صفر عملاً بدون تغییر در عایقکاری و مقاومت گرمایی جدارها امکان‌پذیر نیست اما با توجه به اینکه هدف از این پژوهش ارائه راهکارهای قابل انجام در دانشگاه برای کاهش مصرف انرژی می‌باشد، و عملاً امکان افزودن عایقکاری به لحاظ هزینه و محدودیت‌های اجرا در شرایط کنونی وجود نداشت، در این تحقیق تمرکز کار بر روی سناریوهای مختلف برای تامین انرژی، ارتقای سیستم‌های تاسیساتی، الزامات و امکانات فنی لازم، متمرکز شده است. برای این منظور ابتدا راهکارهای ممکن برای به حداقل رساندن تلفات گرمایی مجموعه و بهینه‌سازی های ممکن مورد بررسی قرار گرفت و سپس یکپارچه‌سازی سیستم موجود با سیستم خورشیدی تجزیه و تحلیل شد. مجموعه اقدامات صورت گرفته در بخش کاهش اتلافات برای کاهش مصرف سوخت در موتورخانه ساختمان اداری دانشگاه آذربایجان در ادامه آمده است. در دیگ آب گرم با توجه به فشار تنظیم شده دیگ، دمای بدنه دیگ بالا می‌باشد. دمای بدنه بالا، یکی از پارامترهای مهم در میزان اتلاف گرمایی به محیط می‌باشد. بدین خاطر عایق کاری دیگ آب گرم با عایق پشم سنگ با ضخامت ۱۰۰ میلی‌متر منظور شد.



شکل ۶- تغییرات دمایی صفحه بر حسب زمان برای انواع شبکه بندی‌های مورد استفاده

استفاده از ماده تغییر فاز دهنده در گردآور خورشیدی، می‌توان ۱۴/۲۶ درصد در مصرف سوخت دیگ صرفه‌جویی نمود.

جدول ۳- خلاصه صرفه‌جویی‌های انرژی گرمایی موتورخانه با طرح

طرح پیشنهادی	درصد صرفه‌جویی	ظرفیت دیگ
گردآور با ماده تغییر فاز دهنده	۱۴/۲۶٪	۶۳۰۰۰۰ کیلو کالری
گردآور بدون ماده تغییر فاز دهنده	۲۱/۴۲٪	۵۵۰۰۰۰ کیلو کالری

دلیل اینکه گردآور خورشیدی با ماده تغییر فاز دهنده دارای درصد صرفه‌جویی کمتری نسبت به گردآور خورشیدی است، این می‌باشد که در حالت اول ماده تغییر فاز دهنده بخشی از گرما را صرف ذخیره‌سازی و تبدیل الکتریسیته می‌کند (بنابر طرح پیشنهادی، شکل ۲) و در آن از صفحات فوتولتایی استفاده شده است. این الکتریسیته فوتولتایی قادر هستند تا الکتریسیته نیز تولید نمایند. این الکتریسیته قادر است در بخش‌های مختلف ساختمان اداری دانشگاه آذربایجان به کار گرفته شود. پس این طرح پیشنهادی برای حالت اول یعنی فقط تولید آب گرم برای دیگ، هیچگونه برقی تولید نمی‌نماید، ولی برای حالت دوم یعنی با گردآور خورشیدی و ماده تغییر فاز دهنده، علاوه بر آب گرم الکتریسیته نیز تولید می‌گردد. پس حالت دوم توازن انرژی مناسب‌تری را برای ساختمان اداری دانشگاه آذربایجان فراهم می‌کند و از هدررفت انرژی جلوگیری می‌نماید. جدول ۳ خلاصه‌ای از نتایج به وضوح نشان داده شده‌اند. در بخش‌های بعدی در خصوص مقدار صرفه‌جویی انرژی الکتریکی با حالت دوم از طرح پیشنهادی، صحبت به میان آمده است.

جدول ۴- خلاصه صرفه‌جویی‌های به دست آمده از ترکیب استفاده از انرژی خورشیدی

طرح پیشنهادی	درصد صرفه‌جویی از افزودن انرژی خورشیدی (EES)	درصد صرفه‌جویی از افزودن توصیه‌های عملی (carrier)	مجموع
گردآور با ماده تغییر فاز دهنده	۱۴/۲۶٪	۱۸/۱۶٪	۳۲/۴۲٪
گردآور بدون ماده تغییر فاز دهنده	۲۱/۴۲٪	۱۸/۱۶٪	۳۹/۵۸٪

بودن گرمای آب خروجی در گردآور دارای ماده تغییر فاز دهنده، وجود صفحه فوتولتایی می‌باشد. صفحه فوتولتایی باعث اتلاف زیاد انتقال گرما می‌گردد، یکی از دلایل افزودن ماده تغییر فاز دهنده این است که، از اتلافات گرمایی جلوگیری به عمل آید. ماده تغییر فاز دهنده با توجه به ظرفیت گرمایی که دارد، این اتلافات گرمایی را در خود ذخیره می‌نماید. با ذخیره این گرما و با گذشت زمان، این امکان فراهم می‌شود، تا وقتی به گرمای نهان خود می‌رسد، دچار عمل ذوب می‌گردد. با ذوب شدن ماده تغییر فاز دهنده، گرمای ذخیره شده در دمای ثابت آزاد می‌گردد. با این تفاسیر در صورتی که آب گرم ورودی به داخل دیگ آب گرم در حدود ۶۰ درجه سلسیوس باشد، می‌توان در داخل موتورخانه از دیگ آب گرم با ظرفیت گرمایی ۵۵۰۰۰۰ کیلوکالری بر ساعت استفاده نمود. به بیان دیگر تا حدود ۲۱/۴۲ درصد در مصرف سوخت دیگ آب گرم می‌توان صرفه‌جویی نمود. امکان سنجی‌های لازم نشان داد که انرژی خورشیدی مورد استفاده فقط برای تقلیل کاهش مصرف دیگ قابل کاربرد هست و این انرژی خورشیدی به تنهایی در منطقه‌ی آذرشهر امکان اینکه بتواند جایگزین کامل دیگ گردد را ندارد. با این تفاسیر در حدود ۲۱/۴۲ درصد در میزان مصرف سوخت در داخل دیگ ساختمان اداری دانشگاه آذربایجان صرفه‌جویی به عمل می‌آید. تمام این نتایج برای ثابت در نظر داشتن دمای داخل ساختمان اداری در دمای ۲۲ درجه سلسیوس در فصل تابستان می‌باشد. این در حالی است که در صورتی که از صفحات فوتولتایی با ماده تغییر فاز دهنده استفاده شود، دمای آبی که به عنوان پیش گرم کن وارد دیگ می‌گردد، در حدود ۴۵ درجه سلسیوس است. نتایج نشان می‌دهد که در صورت

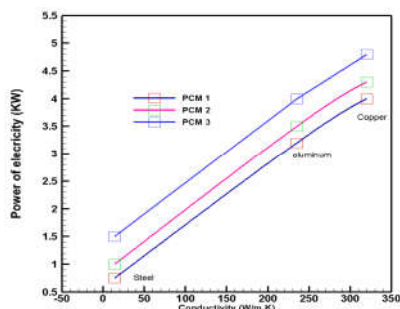
۴-۱- انتخاب جنس ماده تغییر فاز دهنده برای طرح

پیشنهادی دوم

- تاثیر جنس ماده تغییر فاز دهنده در کاهش مصرف انرژی الکتریکی (ساختمان اداری) بر اساس دو طرح پیشنهادی
- در این تحقیق از مواد تغییر فاز دهنده برای خنک کاری صفحه فوتولتایی و افزایش راندمان الکتریسیته آن استفاده شده است و با توجه به نیمه رسانا بودن صفحه فوتولتایی از مواد تغییر فاز دهنده برای ذخیره سازی انرژی گرمایی و تبدیل آن به آب گرم مصرفی در داخل ساختمان و کمک به کاهش مصرف دیگ آب گرم استفاده شده است. محفظه نگه دارنده ماده تغییر فاز دهنده نقش بسیار مهمی را در افزایش راندمان الکتریکی و تبدیل سریع تر انرژی خورشیدی به آب گرم ایفا می‌کند. در این قسمت از تحقیق به بررسی جنس فلز نگه دارنده ماده تغییر فاز دهنده که وظیفه‌ی متصل نمودن مستقیم بین

ماده تغییر فاز دهنده و صفحه فوتولتایی دارد، بحث و بررسی گردیده است. برای این منظور از سه نوع فلز با جنس‌های مس، آلومینیوم و فولاد استفاده گردیده است. رسانایی گرمایی فلز مس، آلومینیوم و فولاد به ترتیب ۳۱۹، ۲۳۵ و ۱۴ وات بر متر کلوین هستند و لزوماً فلزی که دارای رسانش بالاتر باشد، دارای مقدار مقاومت گرمایی کمتری نیز است. ولی می‌بایست علاوه بر رسانایی فلز، هزینه‌ی آن و مقرون به صرفه بودن آن نیز مورد تحلیل قرار بگیرد. با این تفاسیر فلز مس دارای مناسب‌ترین عملکرد مطابق با شکل ۹ می‌باشد. ولی فلز مس نسبت به فلز آلومینیوم گران تر می‌باشد و لذا استفاده از آن توصیه نمی‌شود. ولی فلز مس و قابل دسترس آلومینیوم برای ساخت محفظه‌ی ذخیره سازی مواد تغییر فاز دهنده مناسب و مقرون به صرفه است. در شکل ۹ تغییرات دمایی صفحه فوتولتایی با ماده تغییر فاز دهنده (حالت دوم از طرح پیشنهادی) بر حسب زمان برای محفظه با سه فلز مورد مطالعه نشان داده شده‌اند. از این شکل نیز می‌توان دریافت که فلز مس و

آلمینیوم تغییرات تقریباً یکسانی دارند. ولی در حالت مقابل فلز فولاد دارای عملکرد بسیار نامناسبی هم از نظر رسیدن به دمای کم از خود نشان می‌دهد. ماده تغییر فاز دهنده نوع ۳ در داخل محفظه‌های به جنس آلمینیوم قرار داده می‌شود و پره‌های در نظر گرفته شده در تحقیق باعث افزایش سطوح انتقال گرمای بین ماده تغییر فاز دهنده و صفحه فوتولتایی می‌شود. همچنین برای ساده‌سازی شبیه‌سازی‌های این طرح، تابش خورشیدی به صورت شار گرمایی ثابتی در مرز برخورد در نظر گرفته شده است که مستقیماً بر روی صفحه شیشه‌ای سیستم پیشنهادی در نظر گرفته می‌شود. انتقال گرما در یک سیستم فوتولتایی، شامل سه نوع انتقال گرمای همرفتی، تابش، و رسانایی است. شار گرمایی وارد بر هر صفحه فوتولتایی بخشی از گرمای خود را از طریق انعکاس خورشیدی از صفحه شیشه‌ای از دست می‌دهد (هرچند از صفحات شیشه‌ای به رنگ کدر استفاده می‌شود و این مقدار کم می‌باشد) و مقداری از آن نیز از طریق انتقال گرمای همرفتی دچار اتلاف می‌شود (ایده‌ی افزودن مواد تغییر فاز دهنده از این بخش استباط می‌گردد). مقدار باقی مانده و بخش اعظم از شار گرمایی از شیشه و از طریق رسانش عبور می‌نماید و به صفحه فوتولتایی می‌رسد. بعد از رسیدن به صفحه فوتولتایی، اختلاف پتانسیل فشار الکتریکی در نیمه رسانا بوجود می‌آید و الکتریسیته تولید می‌گردد. امروزه مؤثرترین و ارزاترین سلول‌های خورشیدی ماده‌ای به نام سیلیسیم می‌باشد که ماده‌ای نیمه‌رسانا است و در ادامه توضیحاتی در آن خصوص داده شده است. PCM3 توان الکتریسیته تولیدی در حدود ۳۳ درصد بیشتر نسبت به PCM1 تولید می‌نماید.



شکل ۹- تغییرات توان الکتریکی تولیدی بر حسب انواع مواد تغییر فاز دهنده و جنس فلز محفظه نگه دارنده ماده تغییر فاز دهنده

جنس محفظه فلزی تأثیری شگرفت در تولید توان الکتریکی و افزایش راندمان صفحه فوتولتایی دارد. دلیل آن نیز خنک کاری مناسب صفحه فوتولتایی می‌باشد. با افزایش خنک کاری صفحه فوتولتایی و کاهش دمای آن می‌توان تا حد قابل ملاحظه‌ای الکتریسیته تولیدی را افزایش داد و گرمای بیشتری را ذخیره نمود و آب گرم با دمای بالاتری تولید نمود. با در نظر گرفتن وضعیت تابش خورشید در شهر آذرشهر برای ماه‌های گرم سال (خرداد تا مهر) دمای

آب خروجی از سیستم فوتولتایی با مواد تغییر فاز دهنده در حدود ۴۵ درجه سلسیوس است (در صورت استفاده از ماده تغییر فاز دهنده نوع ۳). با در نظر گرفتن دمای ۴۵ درجه سلسیوس دمای آب خروجی از صفحه فوتولتایی و همچنین منبع گرمایی اصلی مد نظر در این تحقیق برای جوشاندن آب، و استفاده از آب جوش در داخل چیلر جذبی، می‌توان سرمایه‌ش مورد نیاز در فصول گرم سال را تا حد بسیار قابل توجهی کاهش داد. این مقدار کاهش برای چیلر با ظرفیت ۴۰ تن تبرید، مقدار ۳۵/۳ درصد می‌باشد. به بیان دیگر این مقدار صرفه‌جویی در میزان توان الکتریکی مصرفی مورد استفاده در موتورخانه می‌باشد. با ثابت نگه داشتن دمای ساختمان اداری بین ۲۰ الی ۲۲ درجه سلسیوس، می‌توان تمام سطح سقف ساختمان اداری دانشگاه آذربایجان را از صفحات فوتولتایی با مواد تغییر فاز دهنده پوشش داد. و تمام برق مصرفی تجهیزات داخل ساختمان اعم از سیستم‌های کامپیوتری و یخچال‌ها را تامین نمود و مازاد برق تولیدی را در چیلر جذبی و برای موتورخانه مصرف نمود. جدول زیر خلاصه صرفه‌جویی‌های الکتریسیته مصرفی در ساختمان اداری برای فصول گرم سال (خرداد تا مهر) نشان داده شده است. با توجه به اینکه مصرف الکتریسیته مقوله‌ای بسیار جدی در حوزه‌ی دست یابی به ساختمان اداری با مصرف محسوب می‌شود، لذا در صورتی که تمام سقف ساختمان اداری دانشگاه آذربایجان با سیستم فوتولتایی - ماده تغییر فاز دهنده پوشانیده شود (متراژی در حدود ۴۰۰ متر مربع)، علاوه بر تامین برق صد در صدی در ایام فصول گرم سال، قادر هست مازاد برق مصرفی را در موتورخانه مصرف نماید. این مقدار مازاد صرفه‌جویی حدوداً ۳۵/۳ درصدی را شامل می‌شود.

ذکر این نکته حائز اهمیت است که سقف موتورخانه که در فاصله‌ای نسبتاً دور از ساختمان اداری واقع شده است، فقط از گردآورهای تولید کننده آب گرم پوشانیده می‌شود و قادر به تولید الکتریسیته نیستند. تأثیر جنس ماده تغییر فاز دهنده در کاهش مصرف انرژی (موتورخانه و ساختمان اداری) بر اساس دو طرح پیشنهادی در این بخش از تحقیق به بررسی کانتور دمایی آب خروجی از صفحه فوتولتایی مورد مطالعه پرداخته شده است. همانطور که از شکل ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود، می‌توان دریافت که برای ماده تغییر فاز دهنده نوع ۳، میانگین دمای خروجی از آن به طور متوسط حدوداً ۲ برابر بیشتری می‌باشد. دلیل آن نیز این می‌باشد که با فرض ثابت در نظر گرفتن مقدار تابش خورشیدی به سطح صفحه فوتولتایی، و ثابت بودن دمای ورودی آب، با توجه به ظرفیت گرمایی بالای ماده تغییر فاز دهنده‌ی نوع ۳ نسبت به ماده تغییر فاز دهنده‌ی نوع ۲، گرمای بیشتری را به خود جذب می‌نماید و باعث بالا رفتن هرچه بیشتر دما در آن می‌باشد، این ماده همچنین مدت زمان طولانی نیاز دارد تا گرمایی که حمل می‌کند را از

جدول ۵- خلاصه صرفه‌جویی‌های به دست آمده از ترکیب استفاده از حالت دوم طرح پیشنهادی

مجموع	الکتریسیته‌ی موتورخانه (برق موتورخانه)	الکتریسیته‌ی ساختمان اداری (در ایام گرم سرد سال)	طرح پیشنهادی
٪ ۱۳۵/۳	٪ ۳۵/۳	٪ ۱۰۰	گردآور با ماده تغییر فاز دهنده
صفر	صفر	صفر	گردآور بدون ماده تغییر فاز دهنده

برابر با ۱۰۰ و ۳۵/۳ درصد می‌باشد. در صورتی که از طرح پیشنهادی اول برای آب گرم مصرفی استفاده شود و از آب گرم برای کاهش سوخت در بولر استفاده گردد، میزان صرفه‌جویی در مصرف گاز طبیعی ۲۱/۴۳ درصد می‌باشد، در صورتی که از طرح دوم پیشنهادی برای سقف موتورخانه استفاده شود، مقدار صرفه‌جویی در حدود ۱۴/۲۶ درصد می‌باشد.

۳-۴- نتایج تحلیل انرژی سیستم پیشنهادی

در این بخش از مقاله به بررسی تخریب انرژی دو سیستم پیشنهادی برای کاهش مصرف انرژی پرداخته شده است. همانطور که از جداول زیر مشخص است، بیشترین سهم از تخریب انرژی کل سیستم متعلق به ژنراتور است. مشخص شد که با افزایش دمای ژنراتور، درصد بیشتری از انرژی از طریق برگشت ناپذیری از دست می‌رود، زیرا در دمای بالاتر ژنراتور، تلفات گرمایی به محیط اطراف افزایش می‌یابد، اما همچنین بخار بیشتری در ژنراتور تولید می‌شود که باعث تغییر قابل توجهی در ژنراتور می‌شود. غلظت محلول، در نتیجه منجر به برگشت ناپذیری با منشاء شیمیایی می‌شود. شایان ذکر است که راندمان قانون اول (ضریب عملکرد) و دوم ترمودینامیک برای سیستم پیشنهادی اول به ترتیب برابر با ۵۷ و ۳۷ درصد به دست آمدند. این مقادیر برای سیستم پیشنهادی دوم برابر با ۶۱ و ۴۱ درصد بودند.

جدول ۶- تخریب انرژی اجزای سیستم پیشنهادی اول

اجزا	درصد
ژنراتور	۳۶/۵۵٪
مبادله‌کن گرمایی	۲۷/۲۰٪
جاذب	۵/۸٪
چگالنده	۷/۱٪
تبخیرکن	۷/۴٪
شیر خفانش	۰/۰۵٪
پمپ	۱/۳٪
دیگ آب گرم	۲/۲٪
گردآور گرمایی خورشیدی	۱۲/۴٪

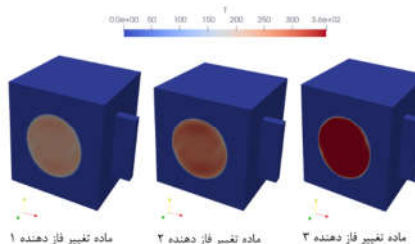
جدول ۷- تخریب انرژی اجزای سیستم پیشنهادی دوم

اجزا	درصد
ژنراتور	۲۷/۲۵٪
مبادله‌کن گرمایی	۲۵/۱۵٪
جاذب	۶/۷٪
چگالنده	۷/۴٪
تبخیرکن	۷/۸٪
شیر خفانش	۰/۱٪
پمپ	۲/۴٪
دیگ آب گرم	۲/۷٪
گردآور خورشیدی فوتولتایی	۱۰/۵٪

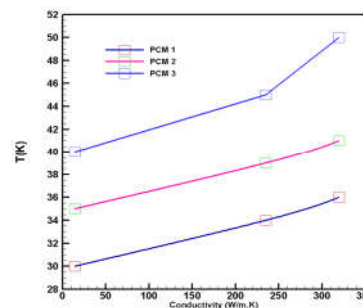
۵- نتیجه گیری

در این قسمت از تحقیق به ارائه خلاصه نتایج به دست آمده از این تحقیق پرداخته شده است.

دست بدهد و لذا برای استفاده در صفحات فوتولتایی پیشنهادی برای ساختمان اداری دانشگاه آذربایجان مناسب است. دمای آب خروجی از گردآور خورشیدی در حالت وجود ماده تغییر فاز دهنده نوع ۳ در حدود ۴۵ درجه سلسیوس می‌باشد و در شرایط کاملاً مشابه این دما برای ماده تغییر فاز دهنده نوع ۲ و ۱ به ترتیب در حدود ۴۳ و ۴۰ درجه سلسیوس می‌باشد.



شکل ۱۰- کانتور دمای آب گرم خروجی از صفحات فوتولتایی همراه با ماده تغییر فاز دهنده، برای هر سه ماده



شکل ۱۱- تغییرات دمای آب خروجی بر حسب انواع ضرایب رسانایی گرمایی لوله و محفظه نگه دارنده ماده تغییر فاز دهنده

۲-۴- بررسی تاثیر سیستم پیشنهادی بر روی کل انرژی مصرفی

در این تحقیق علاوه بر تولید سرما با استفاده از انرژی خورشیدی، با استفاده از صفحات فوتولتایی نیز الکتریسیته تولید می‌گردد. در طرح پیشنهادی تمام پشت بام ساختمان اداری به عنوان مزرعه نیروگاه خورشیدی در نظر گرفته شده است و تمام سقف موتورخانه با استفاده از گردآورهای تولید کننده گرما پوشانیده شده است. لذا سقف موتورخانه الکتریسیته‌ای تولید نمی‌نماید. ولی با اعمال سیستم فوتولتایی بر روی سقف ساختمان اداری دانشگاه آذربایجان که از مواد تغییر فاز دهنده نیز استفاده شده است، می‌توان تمام الکتریسیته ساختمان اداری را تامین نمود و حتی از برق مازاد نیز برای برق مورد نیاز موتورخانه استفاده کرد. ظرفیت گرمایی دیگ آب گرم موجود در موتورخانه ساختمان اداری دانشگاه آذربایجان برابر با مقدار ۷۰۰۰۰۰ کیلوکالری بر ساعت می‌باشد و همچنین ظرفیت چیلر این ساختمان نیز ۴۰ تن تبرید می‌باشد، با توجه به اینکه این دو مورد سهم بالای ۷۵ درصدی از مصرف گاز طبیعی و برق را شامل می‌شوند، حداقل امکان این دو مورد بحث و گفت و گو قرار گرفته شده است. میزان کاهش مصارف برق برای ساختمان اداری و موتورخانه، در صورتی که از طرح دوم پیشنهادی برای کل سقف ساختمان اداری استفاده شود، به ترتیب

- buildings: Design and operation. Food-Energy-Water Nexus Resilience and Sustainable Development. 2020 Jan; 267-290.
- [11] Castrillon-Mendoza R, Rey-Hernandez JM, Rey-Martinez, FJ. Industrial decarbonization by a new energy-baseline methodology. Case study. Sustainability. 2020; 12(5): 1960.
- [12] Torcellini P, Shanti P, Michael D, Drury C. Zero energy buildings: a critical look at the definition. No. NREL/CP-550-39833. National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States), 2006.
- [13] Li DHW, Liu Y, Joseph CL. Zero energy buildings and sustainable development implications—A review. Energy. 2013; 54: 1-10.
- [14] Torcellini PA, Drury BC. Understanding zero-energy buildings. ASHRAE. 2006; 48(9): 62-69.
- [15] Magrini A, Giorgia L, Sara C, Alberto B, and Ludovica M. From nearly zero energy buildings (NZEB) to positive energy buildings (PEB): The next challenge-The most recent European trends with some notes on the energy analysis of a forerunner PEB example. Developments in the Built Environment. 2020 Aug; 3: 100019.
- [16] van der Grijp, Nicolien, Frans van der Woerd, Bruno Gaiddon, Reto Hummelshøj, Mia Larsson, Olufolahan Osunmuyiwa, and Rudy Rooth. Demonstration projects of nearly zero energy buildings: Lessons from end-user experiences in Amsterdam, Helsingborg, and Lyon. Energy Research and Social Science. 2019; 49: 10-15.
- [17] Zhijia H, Lu Y, Wei M, and Liu J. Performance analysis of optimal designed hybrid energy systems for grid-connected nearly/net zero energy buildings. Energy. 2017 Dec; 141: 1795-1809.
- [18] Wells L, B Rismanchi, Aye L. A review of Net Zero Energy Buildings with reflections on the Australian context. Energy and buildings. 2018 Jan; 158: 616-628.
- [19] Fouad MM, Shihata LA, and Mohamed AH. Modeling and analysis of Building Attached Photovoltaic Integrated Shading Systems (BAPVIS) aiming for zero energy buildings in hot regions. Building Engineering; 2019 Jan; 21: 18-27.
- [20] Huang MJ, Eames PC, Norton B. The application of computational fluid dynamics to predict the performance of phase change materials for control of photovoltaic cell temperature in buildings. In World renewable energy congress VI. Pergamon 2000.
- [21] Elsheniti MB, Hemedah, MA, Sorour MM, El-Maghlany WM. Novel enhanced conduction model for predicting performance of a PV panel cooled by PCM. Energy Conversion and Management. 2020 Feb; 205: 112456.
- [22] Fornarelli F, Camporeale SM, Fortunato B, Torresi M, Oresta P, Magliocchetti L, Miliozzi A, Santo G. CFD analysis of melting process in a shell-and-tube latent heat storage for concentrated solar power plants. Applied Energy. 2016 Feb; 164: 711-722.
- [23] Al-Najjar HMT, Mahdi JM. Novel mathematical modeling, performance analysis, and design charts for the typical hybrid photovoltaic/phase-change material (PV/PCM) system. Applied Energy. 2022 June; 315: 119027.
- [24] Mehdikhani V, Mirzaee I, Khalilian M, Abdolalipouradl M. Thermodynamic and exergoeconomic assessment of a new combined power, natural gas, and hydrogen system based on two geothermal wells. Applied Thermal Engineering. 2022 Apr; 206: 118116.
- [25] Roonprasang N, Namprakai P, Pratinthong N. Experimental studies of a new solar water heater system using a solar water pump. Energy. 2008 Apr; 33(4): 639-646.
- [26] Figueredo GR, Bourouis M, Coronas A. Thermodynamic modelling of a two-stage absorption chiller driven at two-temperature levels. Applied Thermal Engineering. 2008 Feb; 28(2-3): 211-217.
- [27] Aman J, Ting D.S.-K, and Henshaw P. Residential solar air conditioning: Energy and exergy analyses of an ammonia-water absorption cooling system. Applied Thermal Engineering. 2014 Jan; 62(2): 424-432.
- ۱- امکان دست یابی به ساختمان اداری انرژی صفر مطابق با معیارهای اروپایی و آمریکایی برای ساختمان اداری دانشگاه آذربایجان وجود ندارد.
- ۲- امکان دست یابی به ساختمان انرژی صفر از نظر مصرف الکتریکی برای ساختمان اداری فقط در ایام گرم سال آن هم با رعایت کامل مبحث ۱۹ و الگوهای رفتاری کارکنان قابل دسترس هست.
- ۳- استفاده از طرح پیشنهادی اول برای سقف موتورخانه، در حدود ۲۱/۴۲ درصد در مصرف سوخت صرفه-جویی می‌شود.
- ۴- استفاده از طرح پیشنهادی دوم برای سقف موتورخانه، در حدود ۱۴/۲۶ درصد در مصرف سوخت صرفه-جویی می‌شود.
- ۵- بیشترین تخریب انرژی در دست آمده برای هردو سیستم پیشنهادی متعلق به ژنراتور است.
- ۶- ضریب عملکرد و بازده انرژی برای سیستم های پیشنهادی اول به ترتیب برابر با ۵۷ و ۳۷ درصد و برای سیستم پیشنهادی دوم ۶۱ و ۴۱ درصد است.
- ۶- تقدیر و تشکر**
 نویسندگان مراتب قدردانی خود را از امورفنی دانشگاه و شرکت طراح موتورخانه اعلام می‌دارند.
- ۷- مراجع**
- [1] Destek MA, and Avik S. Renewable, non-renewable energy consumption, economic growth, trade openness and ecological footprint: Evidence from organisation for economic Co-operation and development countries. Cleaner Production. 2020 Jan; 242: 118537.
- [2] Belussi L, Barozzi B, Bellazzi A, Danza L, Devitofrancesco A, Fanciulli C and et. al. A review of performance of zero energy buildings and energy efficiency solutions. Journal of building engineering. 2019 September; 25: 100772.
- [3] Rey-Hernández JM, Yousif C, Gatt D, Velasco-Gómez E, San José-Alonso J, Rey-Martínez FJ. Modelling the long-term effect of climate change on a zero energy and carbon dioxide building through energy efficiency and renewables. Energy and Buildings. 2018 September; 174: 85-96.
- [۴] مرادی، فرزاد، چهارطاقی، محمود، و حسین پور. (۲۰۲۰). تحلیل ترمودینامیکی تاثیر راندمان مبادله‌کن گرمایی میرد بر عملکرد سیستم تبرید جذبی آب-آمونیاک. مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز، ۵۰(۲)، ۲۰۷-۲۱۶.
- [5] Garcia JF, Kranzl L, Ambition levels of nearly Zero Energy Buildings (nZEB) definitions: An approach for cross-country comparison. Buildings. 2018 Oct; 8(10): 143.
- [6] D'Agostino D, Mele L, Minichiello F, Renno C. The use of ground source heat pump to achieve a net zero energy building. Energies. 2020 July; 13(13): 3450.
- [7] Rey-Hernández JM, Velasco-Gómez E, San José-Alonso JF, Tejero-González A, González-González SL, Rey-Martínez FJ. Monitoring data study of the performance of renewable energy systems in a near zero energy building in Spain: A case study. Energies. 2018 Nov; 11(11): 2979.
- [8] Sadeghian O, Moradzadeh A, Mohammadi-Ivatloo B, Abapour M, Anvari-Moghaddam A, Lim JS, Marquez FPG. A comprehensive review on energy saving options and saving potential in low voltage electricity distribution networks: Building and public lighting. Sustainable Cities and Society. 2012 Sep; 72: 103064.
- [9] Arumägi E, Kalamees T. Cost and energy reduction of a new nZEB wooden building. Energies. 2020 July; 13(14): 3570.
- [10] Asadi S, Nazari-Heris M, Nasab SR, Torabi, H, Sharifionizi M. An updated review on net-zero energy and water