

میزان اثربخشی کلکتورهای آب گرم و سلول‌های خورشیدی بر گرمایش و کاهش مصرف انرژی در مدارس ابتدایی ارومیه، مورد مطالعاتی: مدرسه ابتدایی دخترانه در شهر ارومیه*

سعید عظمتی^۱ - شهرزاد حاجی رزاقی^{۲*} - سارا طاهرسیما^۳

۱. استادیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شرق، تهران، ایران.
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شرق، تهران، ایران (نویسنده مسئول).
۳. استادیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شرق، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۳۰ تاریخ اصلاحات: ۱۴۰۲/۰۳/۲۶ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۳/۲۹ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۱۴

چکیده

با افزایش بحران زیست‌محیطی، استفاده از انرژی خورشیدی اهمیت ویژه‌ای پیدا کرد که بتواند گامی موثر برای کاهش آلودگی ناشی از سوخت‌ها و مصرف انرژی باشد. لذا استفاده از تکنولوژی‌های نوین در معماری فضاهای آموزشی امری ضروری محسوب می‌شود. استفاده از سامانه سلول‌های خورشیدی (سیستم فتوولتائیک)^۱ و کلکتور^۲ آب گرم که تاثیر به‌سزایی در گرمایش دارند می‌تواند در این راستا مفید واقع شود. هدف از این پژوهش بررسی میزان اثربخشی این دو مولفه بر گرمایش و کاهش مصرف انرژی در بناهای آموزشی اقلیم سرد و کوهستانی می‌باشد. در پژوهش فوق، در گام نخست با بهره‌گیری از مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی به استخراج مولفه‌های موثر پرداخته شد. در مرحله دوم، ابتدا آبگرمکن خورشیدی با استفاده از نرم‌افزار تیسول^۳ به صورت دینامیک در اقلیم ارومیه مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است سپس یکی از مدارس موجود در ارومیه بررسی و آنالیز شد و با شبیه‌سازی ساختمان آموزشی طراحی‌شده‌ی پیشنهادی در دیزاین بیلدر و مدلسازی آبگرمکن‌های خورشیدی و سلول‌های فتوولتائیک بر روی بنا، میزان اثربخشی و عملکرد آن‌ها بر گرمایش، انرژی تولیدی و درصد تامین آب گرم مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج به‌دست آمده در آبگرمکن خورشیدی مقدار تامین آب گرم ۸۱.۳ درصد، راندمان این سیستم ۴۹.۹ درصد و گاز صرفه‌جویی‌شده معادل ۲۶۷۰ متر مکعب خواهد بود. انرژی تولیدی توسط سامانه سلول‌های خورشیدی در نیروگاه روی پشت بام ۴۷ درصد و در نیروگاه دیوارهای ضلع جنوب ۲۲.۳ درصد برق مصرفی ساختمان را در طول سال تامین می‌کند و در نتیجه‌ی مقایسه حالت موجود با حالت طراحی‌شده پیشنهادی، صرفه‌جویی کل ۸۰.۳ درصد بود؛ بنابراین کلکتورهای آب گرم و سلول‌های فتوولتائیک تاثیر چشمگیری در به حداقل رساندن انرژی‌های ساختمان‌های آموزشی دارد.

واژگان کلیدی: سامانه فعال خورشیدی، کلکتورهای آب گرم، سلول‌های فتوولتائیک، کاهش مصرف انرژی، فضاهای آموزشی.

* این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده دوم با عنوان «طراحی فضاهای آموزشی (مدارس ابتدایی دخترانه) در شهر ارومیه با بهره‌گیری از سامانه غیرفعال خورشیدی جهت کاهش مصرف انرژی گرمایشی» به راهنمایی نویسنده اول و مشاوره سارا طاهرسیما در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شرق می‌باشد.

** E-mail: shahrzad.razzaghi.arch@gmail.com

۱. مقدمه

می‌تواند مصرف انرژی را در فضاهای آموزشی کاهش دهد و کدام نوع آن موثرتر است؟ پژوهش حاضر پرسش‌محور بوده و به بررسی تاثیر کلکتورهای آب گرم و سلول‌های فتوولتائیک و یافتن بهترین مولفه برای کاهش مصرف انرژی در فضاهای آموزشی می‌پردازد. هدف از این پژوهش بررسی میزان اثربخشی کلکتورهای آب گرم و سلول‌های فتوولتائیک بر گرمایش و کاهش مصرف انرژی در فضاهای آموزشی شهر ارومیه می‌باشد.

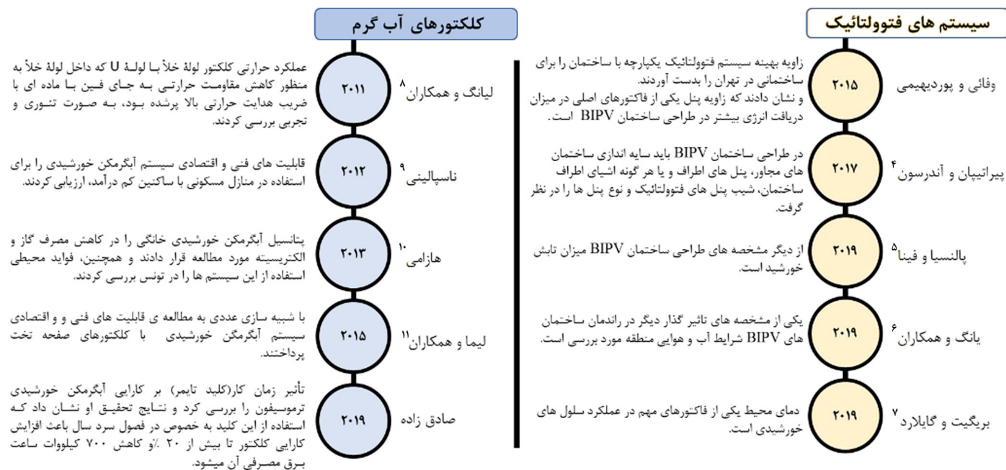
– فرآیند انجام تحقیق: در گام نخست با بررسی ادبیات تحقیق، سامانه‌های فعال خورشیدی و شیوه‌های طراحی سیستم‌ها و عملکرد شاخص‌ها بررسی و ارزیابی شد و چارچوب نظری استخراج گردید. در مرحله دوم، شبیه‌سازی و مدل‌سازی در نرم‌افزار تیسول و دیزاین بیلدر انجام شد که میزان اثربخشی و عملکرد آبگرمکن‌های خورشیدی و سلول‌های فتوولتائیک بر گرمایش و انرژی تولیدی و درصد تامین آب گرم بررسی شد و میزان کاهش مصرف انرژی به دست آمد.

۲. پیشینه پژوهش

با توجه به اهمیت بحث آموزش و با توجه به بحران انرژی که جامعه امروز شدیداً با آن مواجه است، مطالعاتی در زمینه‌های جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر، معماری پایدار و معماری بهینه از نظر انرژی صورت گرفته است (Abolhasani 2013). بر اساس تحقیقات صورت‌گرفته طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ در زمینه سیستم‌های فتوولتائیک، مطالعاتی در حوزه‌ی «شیوه‌های طراحی سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان و وجود هماهنگی بین اجزای سیستم‌های فتوولتائیک و سایر اجزای ساختمان که توسط سعیدزاده خانقاه بررسی شده، همچنین پورسیستانی به بررسی کاربرد سیستم‌های فتوولتائیک و عوامل تأثیرگذار بر عملکرد سیستم فتوولتائیک و به‌کارگیری صفحات فتوولتائیک در آتریوم، نادری و احمدی به بررسی نقش سیستم‌های فتوولتائیک در استفاده فعال از انرژی خورشیدی و ایجاد سایه با فتوولتائیک، و غیره پرداخته‌اند» و در زمینه آبگرمکن‌های خورشیدی در حوزه‌ی «استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی در ساختمان و تجزیه و تحلیل کلکتورها که توسط ترابی بررسی شده، فرهنگی به بررسی انواع سیستم‌ها و نحوه عملکرد آن‌ها و بخشی و موسوی به بررسی معیارهای طراحی آبگرمکن‌های خورشیدی و غیره پرداخته‌اند» انجام شده است.

منابع تامین کننده‌ی انرژی در جهان به سه دسته اصلی انرژی هسته‌ای، فسیلی و تجدیدپذیر تقسیم می‌شوند. با افزایش مصرف انرژی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، مخصوصاً انرژی خورشیدی اهمیت زیادی پیدا کرد که بهترین منبع بهره‌برداری از انرژی برای هر نوع فعالیت مصنوعی، طبیعی و فن‌آوری‌های مختلف است. در عصر حاضر به دلیل استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی، بحران زیست‌محیطی مانند آلودگی آب و هوا، گرم شدن کره زمین و غیره رخ داده است. لذا روی آوردن به استفاده از انرژی‌های طبیعی همانند خورشید بهترین راه حل می‌باشد. تکنولوژی ساده، آلوده نشدن هوا و محیط زیست و مهم‌تر از همه ذخیره شدن سوخت‌های فسیلی برای آیندگان، از دلایلی هستند که اهمیت استفاده از انرژی خورشیدی را برای کشور ما آشکار می‌سازد (Khan Mohammadi and Sobhan 2015). در بیش‌تر مناطق ایران امکان بهره‌برداری و استفاده از این انرژی تجدیدپذیر وجود دارد؛ که با فن‌آوری نوین، این انرژی را جذب و به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. روش‌های مختلفی برای استفاده از این انرژی لایزال وجود دارد، که گرم کردن آب با استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی، راحت‌ترین و کم هزینه‌ترین روش، و سامانه سلول‌های خورشیدی یکی دیگر از این روش‌ها در سیستم فعال خورشیدی است که باعث ارتقاء سطح کیفیت ساختمان‌های آموزشی و حفظ منابع برای آیندگان می‌شود. برای استفاده از انواع سیستم‌های خورشیدی، سیستم‌های فعال و غیرفعال متعددی با قابلیت‌های متفاوت وجود دارد که با طراحی اصولی در فضاها و عناصر معماری، بار حرارتی را کاهش می‌دهند. بدیهی است برای استفاده‌ی بهینه از این سیستم‌ها در معماری، باید بررسی و مطالعه لازم برای تعیین مناسب‌ترین گزینه صورت گیرد (Gilani and Mohammad Kari 2011). در حال حاضر میزان مصرف انرژی در ایران به نسبت استانداردهای جهانی، در حد بالایی قرار دارد. مطالعه پیش رو، سامانه‌های فعال خورشیدی را به عنوان متغیر مستقل پژوهش در نظر گرفته و کاهش مصرف انرژی را که متأثر از فاکتورهای مذکور است؛ به عنوان متغیر وابسته مورد واکاوی قرار می‌دهد. این اصول می‌تواند در طراحی فضاهای آموزشی اقلیم سرد و کوهستانی مفید واقع شود. بنابراین ضروری است تا بتوان به مفهوم روشنی از سامانه‌های فعال خورشیدی و بررسی انواع آن بپردازیم. سوال این پژوهش عبارت است از سامانه‌های فعال خورشیدی تا چه میزان

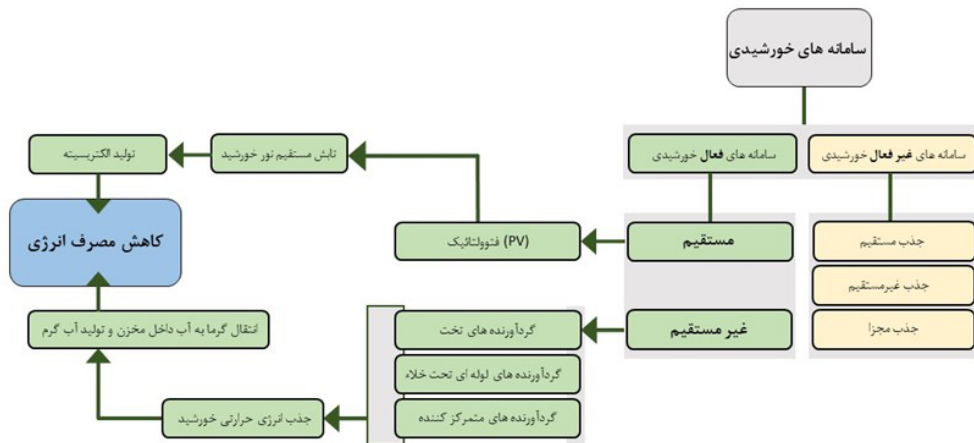
شکل ۱: پیشینه پژوهش سیستم‌های فتولتائیک و کلکتورهای آب گرم



پژوهش حائز اهمیت است بررسی عملکرد کلکتورهای آب گرم و سلول‌های فتولتائیک و مقایسه آن‌ها در فضاهای آموزشی اقلیم سرد و کوهستانی می‌باشد که در تحقیقات پیشین بدان اشاره نگردیده است.

نتیجه حاصل از بررسی فاکتورهای مختلف و موثر نشان می‌دهد که سیستم‌های فتولتائیک و کلکتورهای آب گرم در ساختمان الگوی مناسبی برای عملکرد بهتر، کاهش هزینه‌ها و کاهش مصرف انرژی می‌باشد. آن‌چه در این

شکل ۲: مدل مفهومی روابط بین مولفه‌های مستخرج از مطالعات



کیفیت محیطی همواره به عنوان دو هدف اصلی و حائز اهمیت مطرح شده‌اند (Iranmanesh 2015).

۳-۱- انرژی خورشیدی

یکی از دلایل استفاده از انرژی خورشیدی سازگاری با محیط زیست و عدم تولید گازهای گلخانه‌ای است. پاک‌ترین و مطمئن‌ترین انرژی‌ای است که می‌توان به آن دست یافت و همچنین هزینه‌ی استفاده از انرژی خورشیدی ثابت است (Sarookhani 2003). انواع سامانه‌های خورشیدی عبارت‌اند از:

الف- سامانه‌های خورشیدی فعال (پویا): باید در این روش گردآورنده‌های خورشیدی و یک منبع انرژی دیگر برای تهیه و انتقال سیال گرم‌شده به داخل بنا استفاده

۳. مبانی نظری

در طراحی مدارس اقلیم سرد و کوهستانی که بیش‌ترین ساعات درسی در سال تحصیلی در فصل زمستان و سرما می‌باشد، عمده‌ترین نیاز، گرمایش ساختمان‌ها است لذا می‌توان از سیستم‌هایی استفاده کرد که جذب انرژی خورشید را به حداکثر برساند (Fakhrjoo 2015). فضاهای آموزشی، دارای کاربری‌های مختلف هستند و اصولاً میزان نور هر کدام از آن‌ها با یکدیگر متفاوت است، بنابراین می‌توانیم با جانمایی عملکردها در طراحی معماری، به حداکثر استفاده از نور طبیعی دست یافت و بدین ترتیب علاوه بر تامین نور مناسب، در مصرف انرژی، صرفه‌جویی شود. فضاهای آموزشی از جمله فضاهایی هستند که در روند طراحی آن‌ها، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و ارتقای

بهترین زاویه اساساً تابع زمانی از سال است که بیشترین مقدار برق در آن مورد نیاز باشد. در مناطق سردسیر، نیاز به حداکثر الکتریسیته در زمستان در حالی که، اقلیم‌های گرمسیر بیشترین الکتریسیته را در طول تابستان و برای تهویه مطبوع و پمپ‌ها و پنکه‌های سامانه‌های روشنایی و گرمایش نیاز دارند. جهت‌گیری رو به جنوب، معمولاً مطلوب است با این حال تا ۲۰ درجه به سمت غرب یا شرق از جهت جنوب، افت بسیار ناچیزی در سامانه وجود دارد (Vafaei 2009).

۳-۱-۳- روش‌های طراحی سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان

الف- تعیین شیب و جهت بهینه پنل‌های فتوولتائیک: استفاده از کردارهای تابش از متداول‌ترین روش‌هاست که طبق داده‌های هواشناسی و با استفاده از برنامه‌های رایانه‌ای، میزان تابش خورشید بر کلیه سطوح عمودی و افقی در شیب‌ها و جهت‌های متفاوت به صورت ماهیانه یا سالیانه ترسیم می‌شود. پنل‌ها متناسب با زاویه هر یک از این شیب‌ها بر اساس میزان انرژی‌ای که از خورشید دریافت کرده‌اند، بازدهی متفاوتی خواهند داشت (Saeed Zadeh Khanghah 2015).

ب- اثر سایه‌اندازها بر پنل‌های فتوولتائیک: سایه بر میزان دسترسی به خورشید اثر می‌گذارد. سایه بناهای پیرامون، سایه خود بنا و سایه خود پنل‌ها روی هم‌دیگر و انعکاس زمین بر سیستم فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان تأثیر می‌گذارد (Ibid).

ج- هماهنگی میان سیستم‌های فتوولتائیک با سیستم‌های غیر فعال خورشیدی در بنا: پوشش ساختمان به گونه‌ای طراحی می‌شود که برای کاهش مصرف انرژی سرمایشی، میزان نزول تابش روی سطح بنا کم باشد (بازتابنده باشد)؛ البته با ترکیب درست سیستم فتوولتائیک در پوشش ساختمان، برق مورد نیاز برای سرمایش را تولید می‌کند و در عین حال جلوی نفوذ آفتاب را می‌گیرد. طراحان چنان سیستم‌های فتوولتائیک را با بنا یکپارچه می‌کنند که استفاده از نور طبیعی (مستقیم و غیرمستقیم)، دید به منظر خارج، امکان تهویه و غیره با هم فراهم شود. بنابراین کارایی بهتر زمانی حاصل می‌شود که سیستم‌های فعال و غیرفعال خورشیدی در یک بنا با یکدیگر هماهنگ و تطبیق داده شوند (Ibid).

شود (Asadi and Bamdad 2016). انواع سامانه‌های پویا بر اساس عملکرد به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱. مستقیم: پدیده فتوولتائیک در اثر تابش نور بدون استفاده از مکانیزم‌های محرک مکانیکی الکتریسیته تولید می‌کند. سامانه فتوولتایی انرژی نوری را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند.

۲. غیر مستقیم: در این روش به طور مثال کاربرد گردآورنده‌های تخت عبارتست از استفاده از آن‌ها در تهویه مطبوع، گرم کردن آب مصرفی و فضای منازل و تهیه آب گرم یا هوای مورد نیاز در فرآیندهای صنعتی (Izadi 2014).

ب- سامانه‌های خورشیدی غیرفعال (ایستا): به سیستمی گفته می‌شود که انرژی خورشیدی را بدون استفاده از پنکه، پمپ یا کنترل‌کننده‌های پیچیده جمع‌آوری کرده، ذخیره ساخته و دوباره توزیع می‌کند (Nerbert 2006).

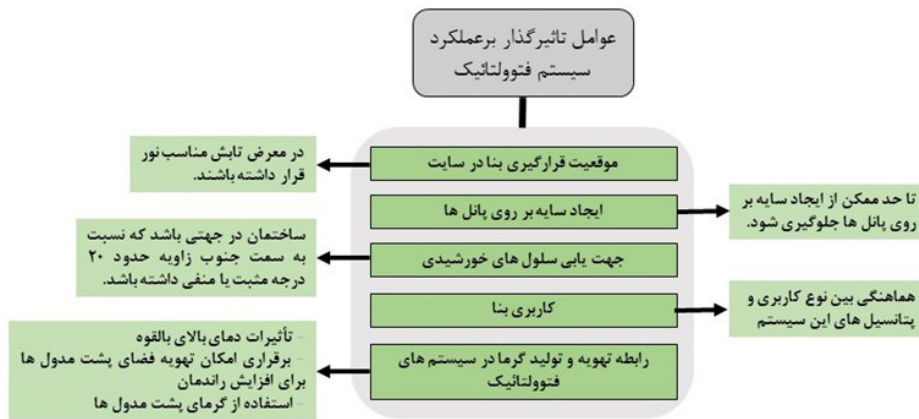
۳-۱-۱- سیستم فتوولتائیک و کاربرد آن در ساختمان

در این شیوه سلول‌های خورشیدی، بدون استفاده از مکانیزم‌های متحرک و شیمیایی از تابش نور خورشید، الکتریسیته تولید می‌کنند. سلول‌های خورشیدی نیمه‌رسانا هستند که از دومین عنصر فراوان پوسته زمین یعنی سیلیسیوم ساخته شده‌اند. نور خورشید وقتی به یک سلول فتوولتائیک بتابد، بین دو الکتروود مثبت و منفی اختلاف پتانسیل به وجود آمده و جریان بین آن‌ها جاری می‌شود (Poor Sištani et al. 2013). نور خورشید منبع تغذیه سلول‌های فتوولتائیک هست، لذا جداره‌هایی از ساختمان که زمینه مناسبی برای تابش مستقیم نور خورشید را دارا باشند محل قرارگیری سلول‌ها است. به همین دلیل غالباً نماهای بیرونی و سطوح خارجی بام ساختمان، محل استفاده از صفحات فتوولتائیک می‌باشد (Ibid). این سلول‌ها قابلیت دارند که ۹۰ درصد نور خورشید را از خود عبور دهند که سبب می‌شود هوای داخل خانه در تابستان در پنجره‌های مجهز به سلول‌های خورشیدی خنک بمانند و علاوه بر تامین انرژی الکتریسیته مورد نیاز، نمای ساختمان را زیبا می‌کند (Vafaei 2009).

۳-۱-۲- جهت‌گیری پنل‌های فتوولتائیک

حداکثر جمع‌آوری امواج تابشی خورشید وقتی کلکتور عمود بر پرتوهای تابش مستقیم باشد، اتفاق می‌افتد.

شکل ۳: عوامل موثر بر عملکرد سیستم فتوولتائیک



(quoting Poor Sistani 2013)

۴. روش پژوهش

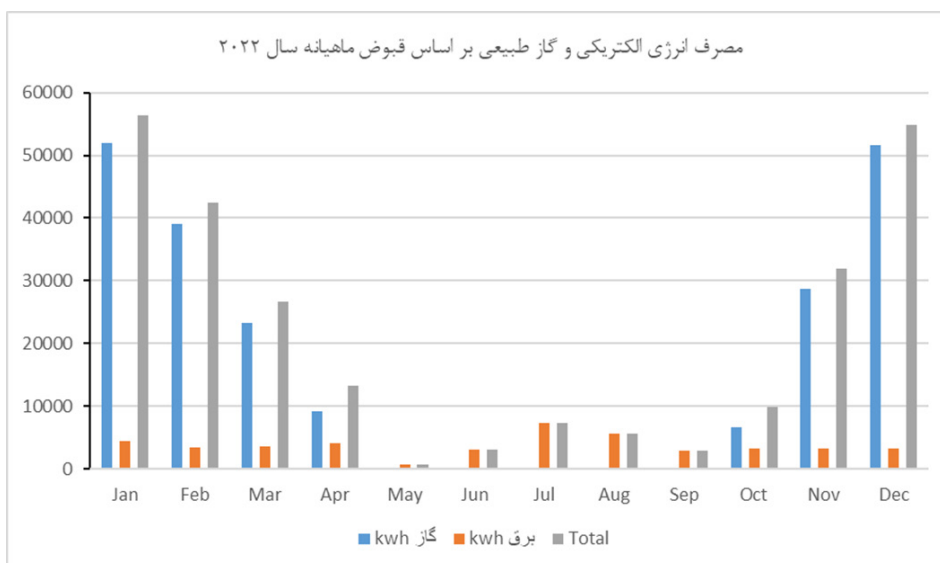
در این پژوهش از روش شبیه‌سازی استفاده شده است. پس از بررسی مولفه‌های سامانه‌های فعال خورشیدی و جمع‌آوری داده‌ها به وسیله مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای، متغیرهای موثر در تحقیق به دست آمد. در مرحله بعد، ابتدا یکی از مدارس موجود در ارومیه (نمونه موردی مدرسه گلشهر) بررسی و آنالیز شد و میزان مصرف و اتلاف انرژی به دست آمد، سپس در ادامه ساختمان آموزشی طراحی شده‌ی پیشنهادی ابتدا در حالت پایه شبیه‌سازی و مدل‌سازی شد و بعد عملکرد آبرگرمکن‌های خورشیدی و سلول‌های فتوولتائیک و میزان اثربخشی آن‌ها بر گرمایش، با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر نسخه ۷ در حالت‌های گوناگون مورد بررسی قرار گرفته و مقایسه شد. همه حالت‌ها در دو دوره شش ماه اول و دوم سال (زمستان و تابستان) و دمای شب و روز به صورت

جداگانه در شهر ارومیه از لحاظ میزان دریافت انرژی خورشیدی بررسی و طی نمودارهای مجزا ارائه شده‌اند. یافته‌های تحقیق به عنوان اصولی در جهت کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های آموزشی اقلیم سرد و کوهستانی با بهره‌گیری از سامانه فعال خورشیدی مورد شبیه‌سازی و آنالیز قرار گرفت.

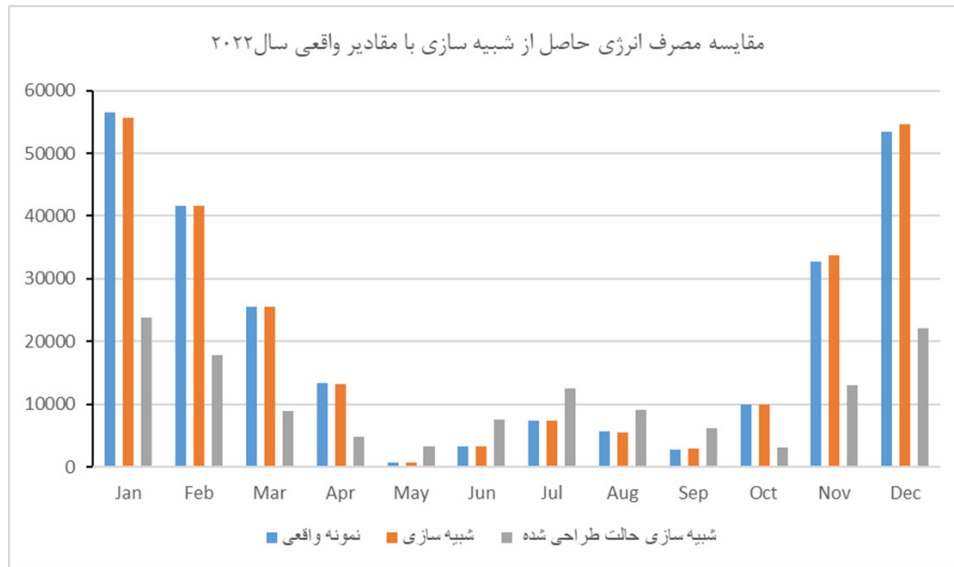
۴-۱- اعتبارسنجی

جهت اعتبارسنجی شبیه‌سازی با بررسی سوابق از روی قبوض برق و گاز، مصرف سالیانه ساختمان را تهیه و شروع به مدل کردن و شبیه‌سازی می‌کنیم، نتایج حاصل را با مقادیر واقعی مدرسه مقایسه کرده سپس راهکارهای متفاوتی در راستای کاهش مصرف انرژی ساختمان ارائه شده است. برای تبدیل هر متر مکعب گاز طبیعی به kWh، از ضریب ۱۰.۵ استفاده شده است.

شکل ۴: مصرف گاز طبیعی و انرژی الکتریکی بر اساس قبوض ماهیانه سال ۲۰۲۲



شکل ۵: مقایسه مصرف انرژی حاصل از شبیه‌سازی با مقادیر واقعی سال ۲۰۲۲



مورد نظر را با دقت مدل‌سازی بسیار بالا با شرایط اقلیمی ساعتی واقعی شبیه‌سازی کرد تا مشخص گردد که ساختمان مورد نظر در شرایط واقعی چگونه عمل می‌کند (Saebi Safa 2020).

۵-۱- مدل‌سازی حرارتی ساختمان - فرضیات شبیه‌سازی

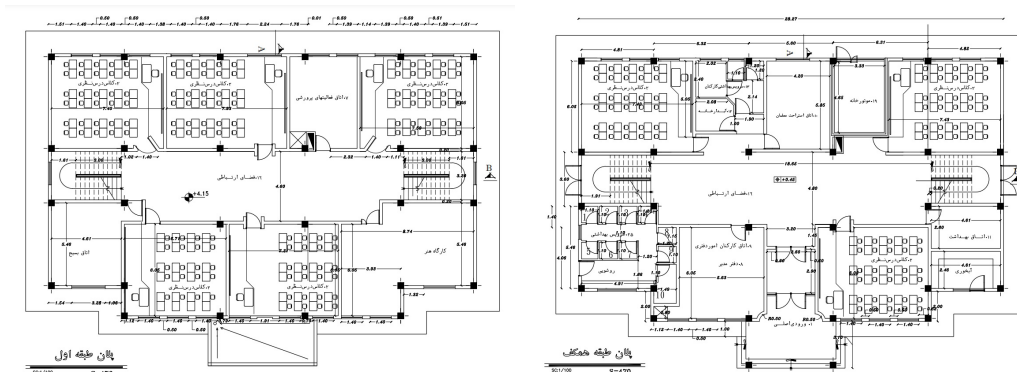
در این پژوهش ساختمان آموزشی در اقلیم ارومیه توسط دیزاین بیلدر شبیه‌سازی انرژی شده و مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. در حالت پایه با استفاده از اطلاعات فرض شده در مدل مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است. روشنایی، تعداد افراد، اطلاعات تجهیزات، مصالح و سیستم‌های تهویه با توجه به کاربری آموزشی بنا وارد نرم‌افزار و شبیه‌سازی شده است. شماتیک رسم‌شدهی ساختمان در نرم‌افزار مطابق شکل ۷ می‌باشد. ساختمان در حالت موجود دارای زیربنای حدوداً ۱۳۰۰ متر مربع می‌باشد. پلان طبقات مطابق شکل ۶ می‌باشد که طبقه اول و دوم تیب طبقات بوده و مساحت طبقات در پلان‌ها ذکر شده است.

مجموع مقادیر ماهیانه قبوض گاز و برق مصرفی بر مبنای کیلووات ساعت، کل مصرف انرژی ماهانه واقعی ساختمان را تشکیل می‌دهد (شکل ۴). به علت تاثیر برخی از پارامترهای نامعلوم، مقادیر حاصل از شبیه‌سازی در ماه‌های مختلف با مقادیر واقعی اختلاف جزئی دارد. اما روند مصرف انرژی شبیه‌سازی شده در طول سال مشابه با مقادیر واقعی می‌باشد. مقدار واقعی کل مصرف انرژی در طول یک سال ۳۰۹۱۹۱ (Kwh) و میزان شبیه‌سازی شده ۳۰۸۵۶۳ (Kwh) است که در کل دارای اختلاف کم‌تر از ۷ درصد می‌باشد که در محدوده قابل قبول است.

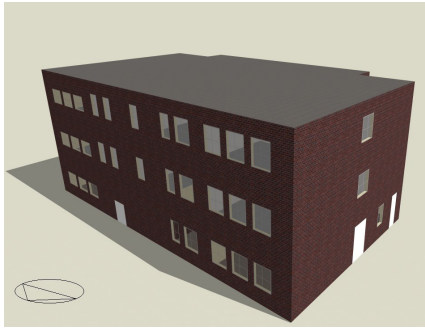
۵. یافته‌ها (آنالیز تحقیق و شبیه‌سازی)

برای انجام پروژه‌های پژوهشی در زمینه ساختمان و انرژی - ارزیابی ساختمان‌ها و سیستم‌های تاسیساتی آن‌ها از نقطه نظر انرژی - بهینه کردن معماری، مصالح و سیستم‌های تاسیساتی ساختمان‌ها، نرم‌افزار دیزاین بیلدر ابزاری مناسب می‌باشد همچنین می‌توان مدل ساختمان

شکل ۶: پلان طبقات مدرسه موجود (گلشهر)



شکل ۷: شماتیک رسم‌شده مدرسه موجود (گلشهر)، شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر



$\frac{W}{m^2.K}$ و برای سقف با هسته بتن ۲۰ سانتی‌متر $\frac{W}{m^2.K}$ ۲.۶ می‌باشد. جزئیات متریال پنجره‌ی تک‌جدار ۳ میلی‌متر جداره شفاف در ادامه قرار گرفته که دارای مقاومت حرارتی $\frac{W}{m^2.K}$ ۵.۸۹ و ضریب عبور حرارت (SHGC) ۰.۸۶ می‌باشد.

طبق الگوهای استاندارد دیزاین بیلدر و با توجه به کاربری، در شبیه‌سازی این بنا تعداد افراد و تجهیزات و سیستم‌های روشنایی و همچنین برنامه زمانی عملکرد آن‌ها انتخاب شده است. برای دیوار خارجی و سقف، مصالح در نظر گرفته شده طبق شکل ذیل می‌باشد. ضریب انتقال حرارت برای دیوار خارجی با هسته آجر ۲۰ سانتی‌متر ۲.۲۷

شکل ۸: مشخصات حرارتی شیشه

Calculated Values	
Total solar transmission (SHGC)	0.861
Direct solar transmission	0.837
Light transmission	0.898
U-value (ISO 10292/ EN 673) (W/m2-K)	5.829
U-Value (W/m2-K)	5.894

برای فصول سرد ۲۲ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است. سایر فرضیات مطابق جدول ۱ می‌باشد.

سیستم روشنایی این ساختمان از نوع LED می‌باشد. توان مصرفی سیستم روشنایی ۷.۵ وات در هر متر مربع می‌باشد. دمای آسایش حرارتی برای فصول گرم ۲۴ و

شکل ۹: دمای آسایش حرارتی

Environmental Control	
Heating Setpoint Temperatures	
Heating (°C)	22.0
Heating set back (°C)	13.0
Cooling Setpoint Temperatures	
Cooling (°C)	24.0
Cooling set back (°C)	32.0

جدول ۱: تنظیمات نرم‌افزارها در مدرسه موجود (گلشهر)

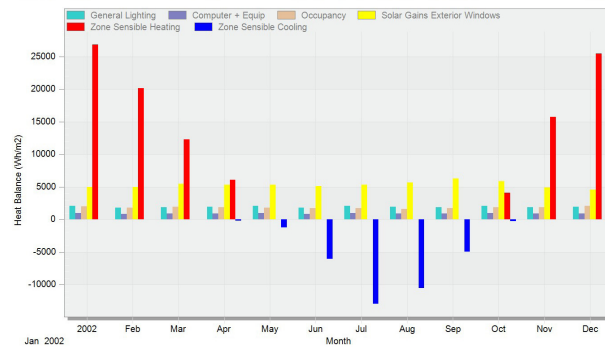
ردیف	عنوان	جزئیات
۱	تعداد افراد	۰.۱ نفر در هر متر مربع
۲	توان تجهیزات	۳ وات در هر متر مربع
۳	ساعات کاری	۷ تا ۶ عصر به جز پنجشنبه و جمعه
۴	منبع فایل آب و هوایی	climate.onebuilding.org
۵	نوع سیستم سرمایش و گرمایش	شوفاژ (سوخت گاز) و کولر گازی (سوخت برق)
۶	نفوذ ناخواسته هوا	ACH 0.7

۵-۱-۱- شبیه‌سازی حالت موجود

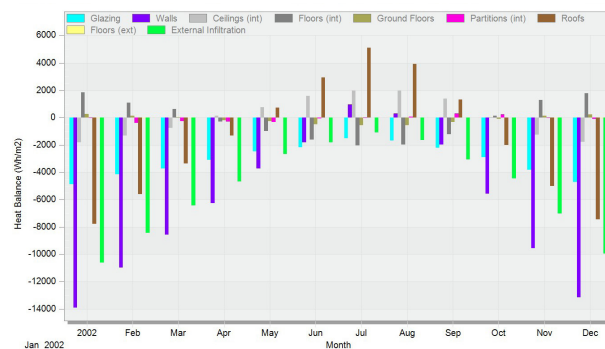
بود که در فصول سرد موجب کاهش بار گرمایش بنا و در فصول گرم موجب افزایش بار سرمایش بنا می‌شود. بیش‌ترین حرارت دریافتی مربوط به سیستم روشنایی و تابش ورودی از پنجره‌ها می‌باشد.

حرارت دریافتی از قسمت‌های مختلف ساختمان، با شبیه‌سازی مدل و استخراج نتایج، مطابق شکل ۱۰ می‌باشد. این حرارت به وسیله تجهیزات الکتریکی، سیستم روشنایی، حضور افراد و تابش ورودی از پنجره خواهد

شکل ۱۰: حرارت دریافتی توسط ساختمان (مدرسه موجود (گلشهر))



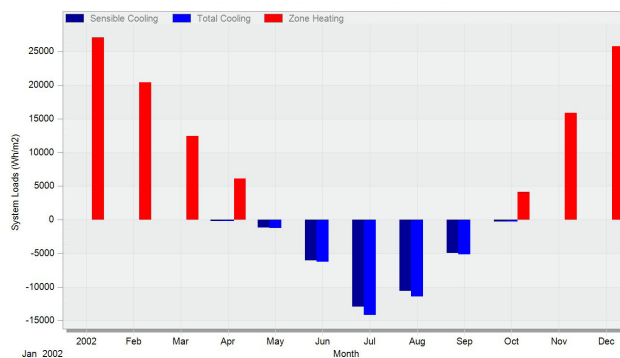
شکل ۱۱: انتقال حرارت جدارهای مختلف ساختمان (مدرسه موجود (گلشهر))



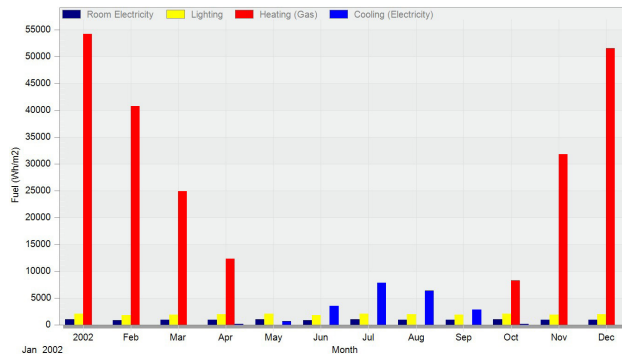
فضای ساختمان می‌شود و در فصل سرد از طریق نفوذ و دیوار از دست می‌دهد. اعداد منفی به معنی از دست دادن حرارت و اعداد مثبت به معنی دریافت حرارت توسط آن قسمت می‌باشد.

نحوه انتقال حرارت از جدارهای مختلف ساختمان در شکل ۱۱ مورد بررسی قرار گرفته است. در این تصویر انتقال حرارت از طریق دیوار خارجی، شیشه، سقف، کف مرتبط با زمین، دیوارهای داخلی و سقف نهایی قرار گرفته است. حرارت عمده‌ای در فصل گرم از طریق سقف وارد

شکل ۱۲: پروفیل بار سرمایش و گرمایش ساختمان (مدرسه موجود (گلشهر))

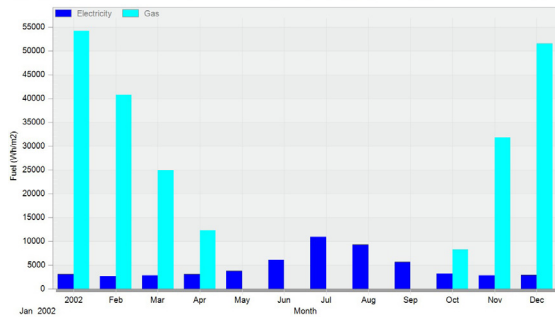


شکل ۱۳: تفکیک مصارف ساختمان (مدرسه موجود (گلشهر))



سال مطابق شکل ۱۴ خواهد بود.

شکل ۱۴: مجموع انرژی مصرفی برق و گاز ساختمان در طول سال (مدرسه موجود (گلشهر))



در این حالت انرژی سیستم سرمایش و گرمایش ساختمان مطابق جدول ۲ می‌باشد.

نهایتاً مطابق شکل ۱۲، دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد برای سیستم سرمایش و همچنین ۲۲ درجه سانتی‌گراد برای گرمایش تنظیم شده که نیاز حرارتی و برودتی ساختمان می‌باشد. اعداد منفی بار سرمایش فقط نشان‌دهنده جهت انتقال حرارت هست. یعنی جهت کاهش دمای بنا تا دمای آسایش حرارتی در فصول گرم، بایستی از فضای داخلی این میزان حرارت گرفته شود. با توجه به سطوح شیشه‌ای زیاد ساختمان، بار سرمایش بار غالب ساختمان می‌باشد. تفکیک مصارف گاز و برق بخش‌های مختلف به صورت ماهانه طبق شکل ۱۳ می‌باشد. بیش‌ترین برق مصرفی را سیستم سرمایش و بیش‌ترین گاز مصرفی را سیستم گرمایش به خود اختصاص داده‌اند. در این نرم‌افزار واحد مصرف گاز به کیلووات ساعت ارائه شده است. کیلووات ساعت را بر اساس ارزش حرارتی متوسط گاز می‌توان به متر مکعب تبدیل کرد. هر ۱ متر مکعب گاز در حدود ۱۰.۴ کیلووات ساعت ارزش حرارتی دارد. بر اساس نتایج شبیه‌سازی مجموع ماهانه گاز و برق مصرفی بنا در طول

جدول ۲: خلاصه نتایج شبیه‌سازی

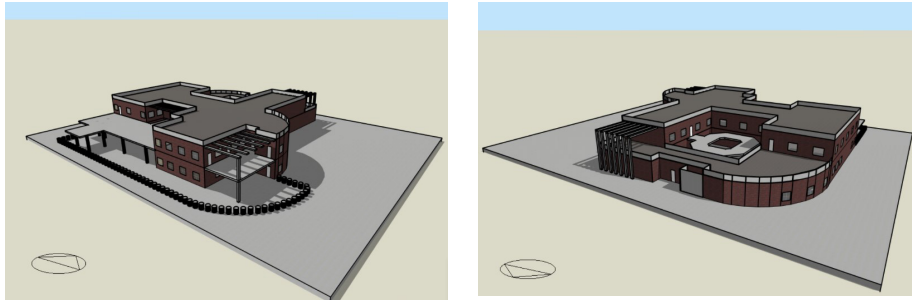
زمان (ماه)	انرژی سیستم گرمایش kWh	انرژی سیستم سرمایش kWh	مجموع انرژی سیستم سرمایش و گرمایش kWh
ژانویه	۶۸۲۷۳	۰	۶۸۲۷۳
فوریه	۵۱۳۶۸	۰	۵۱۳۶۸
مارس	۳۱۲۸۵	۰	۳۱۲۸۵
آوریل	۱۵۴۸۴	۱۴۰	۱۵۶۲۴
می	۰	۸۴۵	۸۴۵
ژوئن	۰	۴۳۴۷	۴۳۴۷
جولای	۰	۹۸۷۳	۹۸۷۳
اگوست	۰	۷۹۷۰	۷۹۷۰
سپتامبر	۰	۳۵۸۰	۳۵۸۰
اکتبر	۱۰۳۶۱	۱۷۶	۱۰۵۳۶
نوامبر	۳۹۹۸۶	۰	۳۹۹۸۶
دسامبر	۶۴۸۷۵	۰	۶۴۸۷۵
سالانه	۲۸۱۶۳۲	۲۶۹۳۱	۳۰۸۵۶۳

۲-۵- مدلسازی حرارتی ساختمان طراحی شدهی حالت پایه

در این پژوهش ساختمان آموزشی طراحی شده بدون اعمال سیستم‌ها در اقلیم ارومیه توسط دیزاین بیلدر شبیه‌سازی انرژی شده و مقایسه شده‌اند. در حالت پایه با استفاده از اطلاعات فرض شده در مدل مورد شبیه‌سازی

قرار گرفته است. روشنایی، اطلاعات تجهیزات، مصالح، سیستم‌های تهویه و تعداد افراد با توجه به کاربری آموزشی ساختمان وارد نرم‌افزار شده و شبیه‌سازی صورت گرفته است. شماتیک رسم شده ساختمان در نرم‌افزار مطابق شکل ۱۵ می‌باشد. ساختمان در حالت موجود دارای زیربنایی در حدود ۲۶۱۱ متر مربع می‌باشد.

شکل ۱۵: شماتیک رسم شده ساختمان



مطابق تصاویر زیر می‌باشند. ضریب انتقال حرارت برای دیوار خارجی $0.704 \frac{W}{m^2.K}$ و برای سقف $0.918 \frac{W}{m^2.K}$ می‌باشد.

مطابق الگوهای استاندارد دیزاین بیلدر و با در نظر گرفتن کاربری، در شبیه‌سازی این بنا تعداد تجهیزات و افراد، سیستم روشنایی و برنامه زمانی عملکرد آن‌ها انتخاب شد. برای دیوار خارجی و سقف مصالح در نظر گرفته شده

شکل ۱۶: مشخصات جدار سقف

Outermost layer	
Material	Asphalt 1
Thickness (m)	0.0100
Bridged?	<input type="checkbox"/>
Layer 2	
Material	Cast Concrete
Thickness (m)	0.1500
Bridged?	<input type="checkbox"/>
Layer 3	
Material	EPS Expanded Polystyrene (Standard)
Thickness (m)	0.0300
Bridged?	<input type="checkbox"/>
Innermost layer	
Material	Plasterboard
Thickness (m)	0.0130

شکل ۱۷: مشخصات جدار دیوار خارجی

Outermost layer	
Material	Brickwork Outer
Thickness (m)	0.1000
Bridged?	<input type="checkbox"/>
Layer 2	
Material	XPS Extruded Polystyrene - CO2 Blown
Thickness (m)	0.0300
Bridged?	<input type="checkbox"/>
Layer 3	
Material	Concrete Block (Medium)
Thickness (m)	0.1000
Bridged?	<input type="checkbox"/>
Innermost layer	
Material	Gypsum Plastering
Thickness (m)	0.0130

عبور حرارت (SHGC) 0.691 می‌باشد (شکل ۱۸). سیستم روشنایی این ساختمان از نوع LED می‌باشد.

جزئیات متریکال پنجره‌ی دو جداره‌ی شفاف در ادامه قرار گرفته که دارای مقاومت حرارتی $1.96 \frac{W}{m^2.K}$ و ضریب

توان مصرفی سیستم روشنایی ۷.۵ وات در هر متر مربع می‌باشد. دمای آسایش حرارتی برای فصول گرم ۲۴ و برای فصول سرد ۲۲ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است (شکل ۱۹).

شکل ۱۸: مشخصات حرارتی شیشه

Calculated Values	
Total solar transmission (SHGC)	0.691
Direct solar transmission	0.624
Light transmission	0.744
U-value (ISO 10292/ EN 673) (W/m ² -K)	1.924
U-Value (W/m²-K)	1.960

شکل ۱۹: دمای آسایش حرارتی

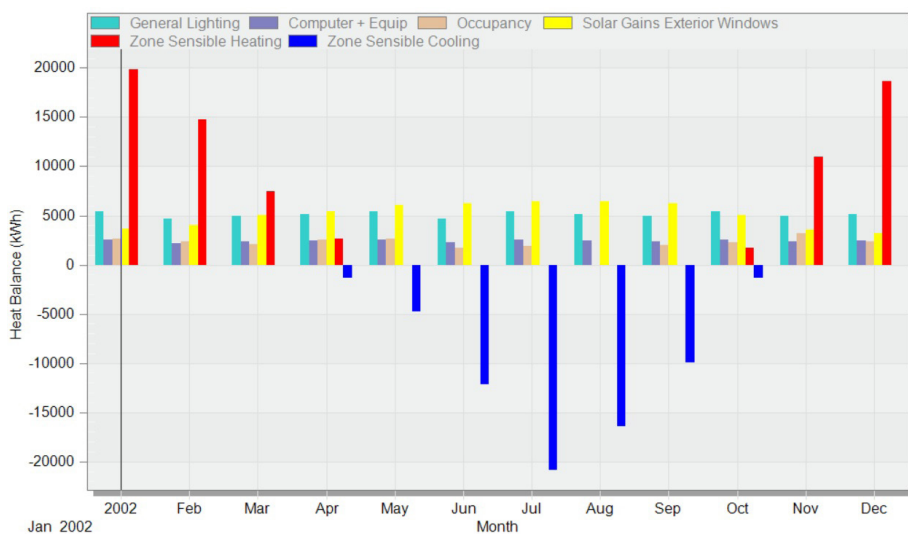
Environmental Control	
Heating Setpoint Temperatures	
Heating (°C)	22.0
Heating set back (°C)	13.0
Cooling Setpoint Temperatures	
Cooling (°C)	24.0
Cooling set back (°C)	32.0

انتقال حرارت از تمامی جداره‌های بنا بررسی شده است. در این نمودار انتقال حرارت از طریق دیوار خارجی، شیشه، سقف، کف مرتبط با زمین، دیوارهای داخلی و سقف نهایی قرار گرفته است. در فصل گرم حرارت زیادی به وسیله سقف وارد فضای ساختمان می‌شود و همچنین در فصل سرد حرارت زیادی به وسیله سقف و دیوار از دست می‌دهد. اعداد منفی به معنی از دست دادن حرارت و اعداد مثبت به معنی دریافت حرارت توسط آن قسمت می‌باشد.

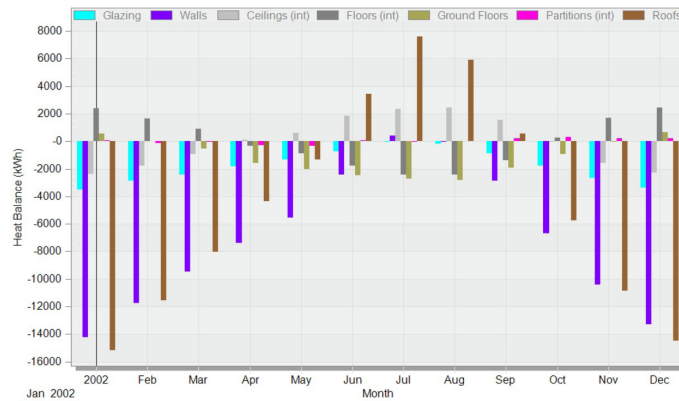
۵-۲-۱- شبیه‌سازی حالت طراحی شده پایه

بعد از شبیه‌سازی مدل و استخراج نتایج، حرارت دریافتی توسط بخش‌های مختلف بنا مشابه شکل ۲۰ می‌باشد. این حرارت به وسیله تجهیزات الکتریکی، سیستم روشنایی، حضور افراد و تابش ورودی از پنجره خواهد بود که در فصول سرد موجب کاهش بار گرمایش ساختمان و در فصول گرم موجب افزایش بار سرمایش بنا خواهد شد. بیش‌ترین حرارت دریافتی مربوط به سیستم روشنایی و تابش ورودی از پنجره‌ها می‌باشد. در شکل ۱۲ نحوه

شکل ۲۰: حرارت دریافتی توسط ساختمان



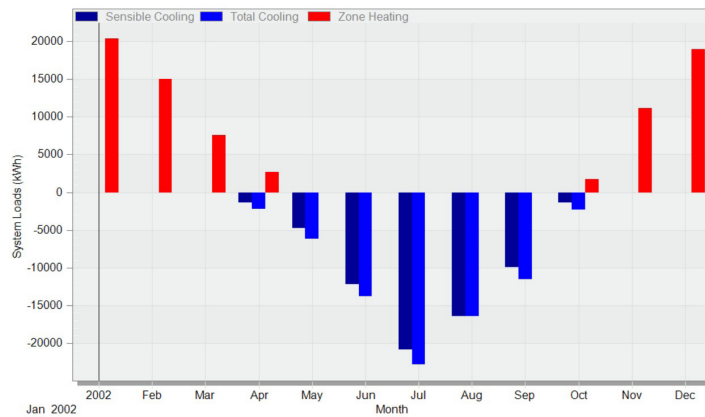
شکل ۲۱: انتقال حرارت جدارهای مختلف ساختمان



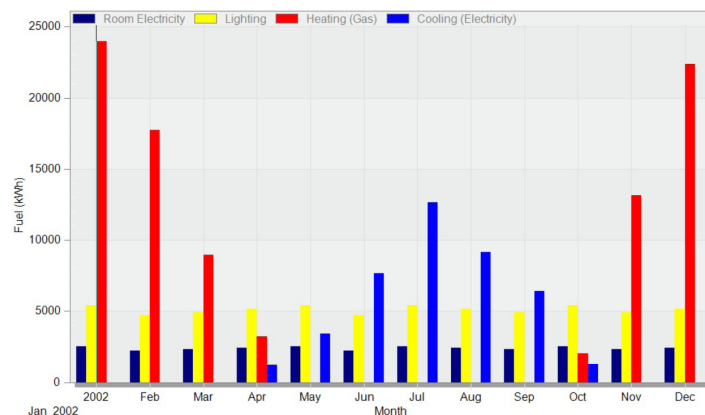
تفکیک مصارف گاز و برق بخش‌های مختلف به صورت ماهانه طبق شکل ۲۳ می‌باشد. بیش‌ترین برق مصرفی را سیستم سرمایش و بیش‌ترین گاز مصرفی را سیستم گرمایش به خود اختصاص داده‌اند. در این نرم‌افزار واحد مصرف گاز به کیلووات ساعت ارائه شده است. کیلووات ساعت را بر اساس ارزش حرارتی متوسط گاز می‌توان به متر مکعب تبدیل کرد. هر یک متر مکعب گاز در حدود ۱۰.۴ کیلووات ساعت ارزش حرارتی دارد.

نهایتاً مطابق شکل ۲۲، دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد برای سیستم سرمایش و ۲۲ درجه سانتی‌گراد برای گرمایش تنظیم شده که نیاز حرارتی و برودتی ساختمان می‌باشد. اعداد منفی بار سرمایش برای نشان دادن جهت انتقال حرارت هستند؛ یعنی برای کاهش دمای بنا تا دمای آسایش حرارتی در فصول گرم، از فضای داخلی باید این میزان حرارت گرفته شود. با توجه به سطوح شیشه‌ای زیاد ساختمان، بار سرمایش بار غالب ساختمان می‌باشد.

شکل ۲۲: پروفیل بار سرمایش و گرمایش

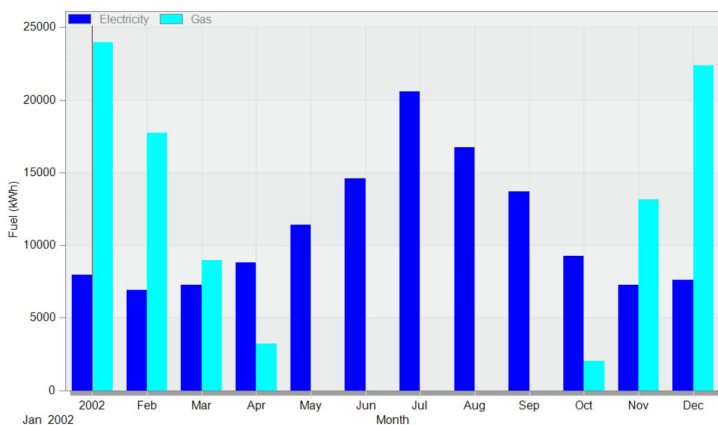


شکل ۲۳: تفکیک مصارف ساختمان



مجموع ماهانه گاز و برق مصرفی ساختمان در طول سال طبق نتایج شبیه‌سازی در شکل ۲۴ آمده است.

شکل ۲۴: مجموع انرژی مصرفی برق و گاز ساختمان در طول سال



در این حالت انرژی سیستم سرمایش و گرمایش ساختمان مطابق جدول ۳ می‌باشد.

جدول ۳: خلاصه نتایج شبیه‌سازی حالت طراحی شده پایه

زمان (ماه)	انرژی سیستم گرمایش kWh	انرژی سیستم سرمایش kWh	مجموع انرژی سیستم سرمایش و گرمایش kWh
ژانویه	۲۳۹۴۴	۰	۲۳۹۴۴
فوریه	۱۷۷۲۵	۰	۱۷۷۲۵
مارس	۸۹۴۶	۰	۸۹۴۶
آوریل	۳۲۰۱	۱۲۱۹	۴۴۲۰
می	۰	۳۴۳۹	۳۴۳۹
ژوئن	۰	۷۶۷۲	۷۶۷۲
جولای	۰	۱۲۶۶۱	۱۲۶۶۱
اگوست	۰	۹۱۴۰	۹۱۴۰
سپتامبر	۰	۶۴۱۰	۶۴۱۰
اکتبر	۲۰۳۶	۱۲۹۵	۳۳۳۱
نوامبر	۱۳۱۴۱	۰	۱۳۱۴۱
دسامبر	۲۲۳۸۱	۰	۲۲۳۸۱
سالانه	۹۱۳۷۴	۴۱۸۳۷	۱۳۳۲۱۱

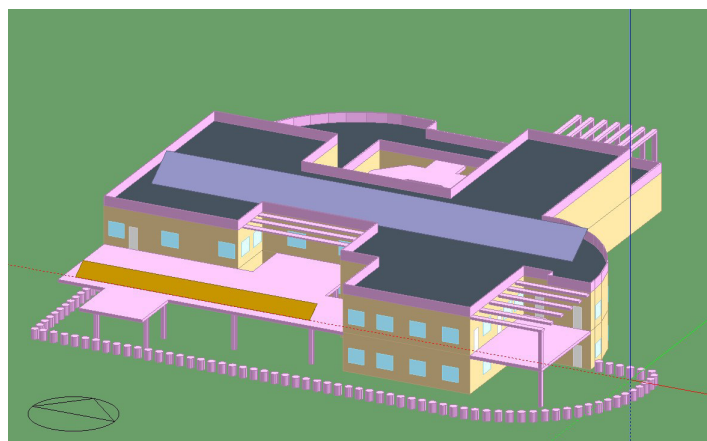
مصارف انرژی سالانه ساختمان در حوزه‌های مختلف با توجه به کاربری آن مطابق جدول ۴ می‌باشد.

جدول ۴: مصارف انرژی سالانه ساختمان در حوزه‌های مختلف

Month	Room Electricity (kWh)	Lighting (kWh)	Heating (Gas) (kWh)	Cooling (Electricity) (kWh)	DHW (Gas) (kWh)
ژانویه	۲۵۳۱	۵۴۰۶	۴۳۹۶۴	۰	۲۱۵۸
فوریه	۲۲۱۱	۴۷۰۱	۳۲۴۰۵	۰	۱۹۶۲
مارس	۲۳۳۸	۴۹۳۶	۱۸۴۴۷	۰	۲۱۵۸
آوریل	۲۴۲۴	۵۱۷۱	۷۵۹۲	۲۶۷	۲۱۵۸

DHW (Gas) (kWh)	Cooling (Electricity) (kWh)	Heating (Gas) (kWh)	Lighting (kWh)	Room Electricity (kWh)	Month
۲۰۶۰	۱۹۲۸	۰	۵۴۰۶	۲۵۳۱	می
۲۱۵۸	۷۰۰۱	۰	۴۷۰۱	۲۲۳۱	ژوئن
۲۲۵۶	۱۳۷۲۹	۰	۵۴۰۶	۲۵۳۱	جولای
۲۰۶۰	۱۰۰۳۴	۰	۵۱۷۱	۲۴۳۴	آگوست
۲۱۵۸	۵۵۰۵	۰	۴۹۳۶	۲۳۲۸	سپتامبر
۲۱۵۸	۳۵۰	۴۷۹۴	۵۴۰۶	۲۵۳۱	اکتبر
۲۰۶۰	۰	۲۴۷۷۴	۴۹۳۶	۲۳۲۸	نوامبر
۲۲۵۶	۰	۴۱۳۴۹	۵۱۷۱	۲۴۳۴	دسامبر
۲۴۶۹۸	۳۸۸۱۵	۱۷۳۳۲۵	۶۱۳۴۶	۲۸۸۵۱	مجموع

شکل ۲۵: شماتیک ساختمان با فتوولتائیک و آبگرمکن



شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار دیزاین بیلدر

می‌باشد و مزایای قابل توجهی دارد.

۵-۳-۱- مزایای کلکتورهای لوله خلاء

در شرایط سرد آب و هوایی به دلیل دو جداره بودن لوله‌ها و وجود خلاء بین دو جدار شیشه‌ای، میزان از دست دادن انرژی گرمایی جذب‌شده به حداقل می‌رسد. اگر کلکتور تخت آسیب ببیند، تمام کلکتور باید تعویض شود در حالی که در سیستم لوله‌ای با آسیب دیدن و شکسته شدن یکی از لوله‌ها سیستم توان ادامه دادن به کار خود را داشته و تعویض لوله‌ی آسیب‌دیده به راحتی امکان‌پذیر است. در اقلیم ایران با وجود زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم سیستم‌های لوله‌ای تحت خلاء پیشنهاد می‌گردد. سیستم پیشنهادی برای آبگرمکن خورشیدی با استفاده از یک منبع می‌باشد.

در این سیستم از هشت متر مربع کلکتور خورشیدی لوله خلاء استفاده شده است. این سیستم با دیگ سیستم گرمایش ساختمان کوپل می‌گردد.

در این پژوهش برای شبیه‌سازی آبگرمکن خورشیدی از نرم‌افزار TSOL و شبیه‌سازی فتوولتائیک و میزان آب گرم مصرفی از نرم‌افزار دیزاین بیلدر استفاده شده است. به منظور تأمین آب گرم مصرفی برای ساختمان، حجم آب گرم مصرفی بر اساس استاندارد به‌طور متوسط ۱۷۰۰ لیتر در روز و همچنین حجم منبع ذخیره حدود ۳۰۰۰ لیتر خواهد بود. کلکتورهای خورشیدی در این حالت از نوع لوله خلاء می‌باشد.

۵-۳- کلکتور لوله‌ای تحت خلاء

تعدادی لوله دو جداره شفاف موازی که داخل آن تیوبی با پوششی از ماده جاذب قرار دارد و هوا از فضای بین دو جداره خارج و خلا ایجاد شده باعث جلوگیری از اتلاف حرارت می‌شود. همچنین در مقابل یخ‌زدگی تا دمای 15° مقاومت می‌کند. راندمان این کلکتور نسبت به کلکتور صفحه‌ای بیش‌تر بوده و حداکثر توان گرمایشی آن در شرایط عالی 110° و نسبت به انواع کلکتورها ارزان‌تر

گرمایش آب گرم مصرفی توسط دیگ تقریباً ۲۴.۷ مگاوات ساعت خواهد بود که ۲۲.۳ مگاوات ساعت آن در طول سال توسط کلکتور خورشیدی لوله خلأ ترموسیفونی تأمین می‌شود.

در اقلیم ارومیه آبگرمکن خورشیدی با استفاده از نرم‌افزار TSOL به صورت دینامیک مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است. مساحت کلکتور خورشیدی لوله خلأ این سیستم ۲۰ متر مربع می‌باشد. در طول سال حرارت لازم جهت

جدول ۵: حرارت مورد نیاز و تأمین‌شده

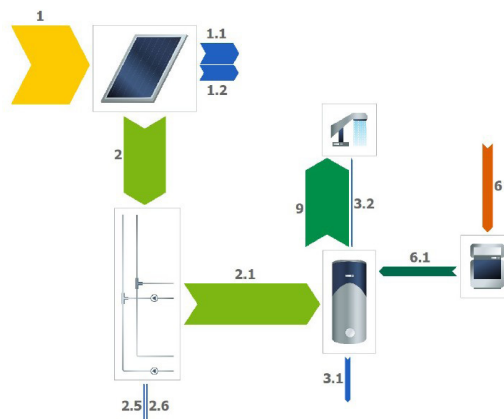
۲۴,۶۹۸.۴۲ kWh	DHW heating energy supply (گرمایش DHW)
۲۲,۲۹۶.۷۶ kWh	Solar energy contribution to DHW (در DHW سهم انرژی خورشیدی)
۵,۱۴۳.۱ kWh	Energy from auxiliary heating (انرژی حاصل از گرمایش کمکی)

نحوه اتلاف حرارت و همچنین جریان انرژی در سیستم ترموسیفونی پیشنهادی مطابق شکل ۲۶ می‌باشد. مطابق نتایج بیش‌ترین اتلاف حرارت مربوط به انتقال حرارت از سطح کلکتور خورشیدی، لوله‌کشی و منابع ذخیره می‌باشد. عددهای معرفی‌شده بر روی نمودار جریان انرژی، مطابق راهنمای (جدول ۶) می‌باشد.

جدول ۶: راهنمای نقشه جریان انرژی

		Legend
۴۴,۶۶۸ kWh	Irradiation on Collector surface (active): تابش روی سطح کلکتور (فعال)	۱
۱۱,۹۶۶ kWh	Optical collector losses: تلفات کلکتور نوری	۱.۱
۸,۶۲۳ kWh	Thermal collector losses: تلفات کلکتور حرارتی	۱.۲
۲۴,۰۷۹ kWh	Energy from collector array: انرژی از آرایه کلکتور	۲
۲۳,۲۱۱ kWh	Solar energy to storage tank: مخزن ذخیره انرژی خورشیدی	۲.۱
۵۷۳ kWh	Internal piping losses: تلفات لوله‌های داخلی	۲.۵
۲۹۶ kWh	External piping losses: تلفات لوله‌های خارجی	۲.۶
۳,۰۰۲ kWh	Tank losses: تلفات مخزن	۳.۱
۶۵۰ kWh	Circulation losses: تلفات جریان	۳.۲
۵,۷۷۸ kWh	Final energy: انرژی نهایی	۶
۵,۱۴۳ kWh	Supplementary energy to tank: انرژی تکمیلی مخزن	۶.۱
۲۴,۶۹۸ kWh	DHW energy from tank: از مخزن DHW انرژی	۹

شکل ۲۶: نمودار جریان انرژی



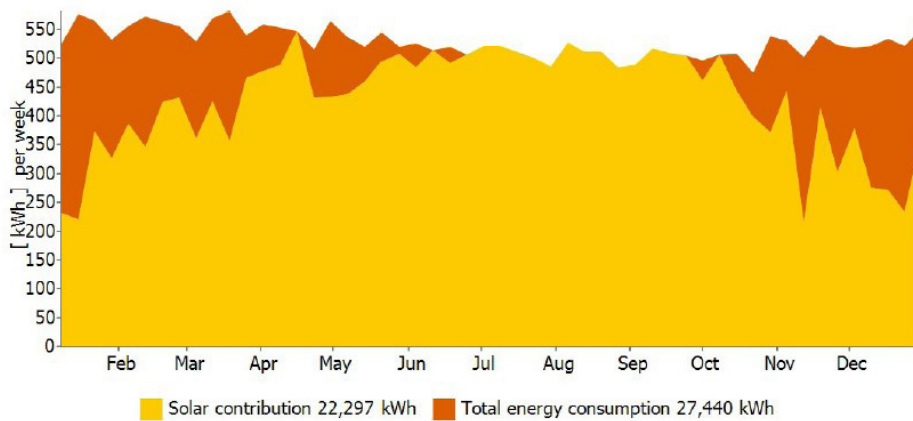
مطابق نتایج مقدار تأمین آب گرم از حرارت خورشیدی^{۱۳} راندمان این سیستم ۴۹.۹ درصد و همچنین گاز سیستم ۸۱.۳ درصد می‌باشد که نشان‌دهنده تأمین صرفه‌جویی‌شده معادل ۲۶۷۰ متر مکعب خواهد بود. حداکثری آب گرم توسط کلکتور خورشیدی می‌باشد.

جدول ۷: صرفه‌جویی حاصله

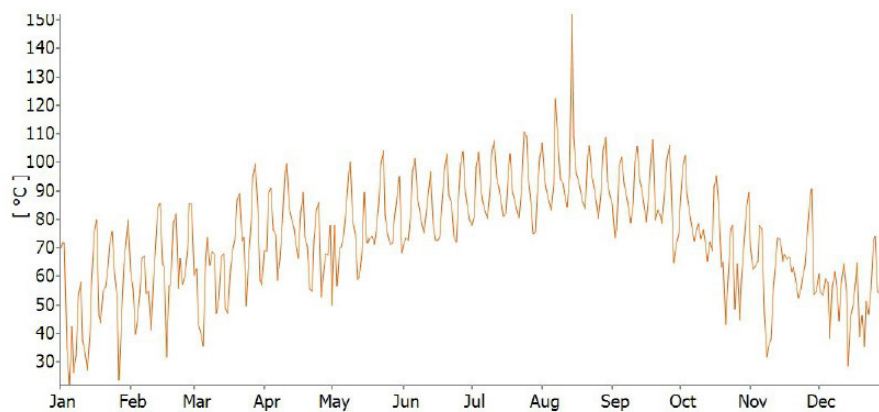
۲.۶۷۰.۶ m ³	Natural gas (H) savings: (H) (صرفه‌جویی در گاز طبیعی)
۵.۶۴۷.۴۴ kg	CO2 emissions avoided: (CO2 از انتشار جلوگیری)
۸۱.۳٪	DHW solar fraction: (کسر خورشیدی DHW)
۸۰.۸٪	Relative savings of supplementary energy (DIN EN 12977): (صرفه‌جویی نسبی انرژی تکمیلی)
۴۹.۹٪	System efficiency: (کارایی سیستم)

مطابق شکل ۲۷، نحوه تأمین آب گرم خورشیدی و استفاده از حرارت بویلر و انرژی مورد نیاز جهت تأمین آب گرم مصرفی بنا با شبیه‌سازی پروفیل مشخص شده است. نمودار نارنجی رنگ نشان‌دهنده کل حرارت مورد نیاز آب گرم در طول سال می‌باشد که مساحت زرد رنگ نشان‌دهنده میزان تأمین این حرارت توسط آبگرمکن خورشیدی می‌باشد. در شکل ۲۸ دمای آب خروجی کلکتور در ساعات مختلف سال قرار گرفته است.

شکل ۲۷: پروفیل انرژی مورد نیاز آب گرم مصرفی



شکل ۲۸: دمای آب خروجی کلکتور



جدول ۸: مشخصات فنی کلکتور و پنل‌ها بر اساس شرکت‌های تولیدی و نحوه تنظیمات آن‌ها

کلکتور خورشیدی لوله خلاء		پنل خورشیدی ۲۵۰ وات مونو کریستال ایزولا	
۶ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع	ظرفیت تحمل فشار	۲۵۰ وات	بیشینه توان WP (توان نامی)
۲۰-۷۰ درجه عمودی، ۵- درجه به مثبت ۵ درجه افقی	زاویه نصب بهینه	۳۶.۴ ولت	ولتاژ مدار باز (Voc)
پشم شیشه فشرده - K=۰.۰۴۱W/mK	عایق	۸.۹۳ آمپر	جریان باز (بدون مصرف) Ioc
آلومینیوم (درجه ۳A۲۱)	جنس بدنه منیفولد	۳۰.۳۲ ولت	ولتاژ کاری (Vmp)
آلیاژ آلومینیوم ۶۰۶۳ (۱.۸ میلی‌متر)	مواد قاب	۸.۲۴ آمپر	جریان کاری پنل (Imp)
لحیم‌کاری ۹۹.۹۳ درصد مس خالص و ۴۵ درصد نقره بدون سرب	مواد لوله هدر	مونو کریستال	نوع سلول
ضخامت: ۰.۶ میلی‌متر، کندانسور ۱۴ میلی‌متر، (کندانسور ۲۴ میلی‌متری اختیاری)	مشخصات لوله حرارتی	۱۸.۱٪، ۱۵.۶۷٪ سلول	راندمان
آلومینیوم دابل گرد ۱.۶۸ متر	باله‌های اطراف لوله حرارتی	۶۰ سلول * ۱۰	تعداد سلول
لاستیک سیلیکونی درجه HTV	مهر و موم و حلقه لاستیکی	A	کلاس گرید ساخت سلول
۸ نوار-psi ۱۶	حداکثر فشار عملیاتی	۵ باس بار	تعداد باس بار (خطوط انتقال انرژی سلول‌ها)
0.1L/min/tube - 0.026G/min/tube	نرخ جریان بهینه	۲۲ kg	وزن
Ensun Solar/Kesun New Energy OEM	برند سازنده	۱۶۴ × ۹۹.۲ × ۴ cm	ابعاد
-	-	isola	برند سازنده

۴-۵- شبیه‌سازی نیروگاه سامانه سلول‌های خورشیدی

دیوارها و بام‌های فتوولتائیک باید در جهتی قرار گیرند که نور خورشید را جمع‌آوری کرده و بزرگی آن بتواند بار الکتریکی ساختمان را پاسخگو باشد. بیش‌ترین بازدهی را جهت رو به جنوب دارد؛ بنابراین سطوح دریافت‌کننده انرژی خورشیدی باید به سمت جنوب قرار گیرند. در فصل زمستان، در عرض‌های جغرافیایی بالاتر، جهت‌هایی غیر از جنوب به طور قابل ملاحظه بازدهی را کاهش داده و در عرض‌های استوایی به دلیل این که خورشید بالا آسمان است، شیب صفحات خورشیدی تاثیر بیش‌تری نسبت به جهت آن‌ها دارد. مقدار انرژی تولیدی توسط صفحات فتوولتائیک به مقدار نوری که به این صفحات برخورد می‌کند، دمای محیطی بیرون و کارایی سلول‌های PV بستگی دارد. در آرایه‌های خورشیدی به تنهایی و مستقلاً برای تولید توان الکتریکی کافی نیستند. بلکه اجزاء دیگری نظیر سازه‌های برای نصب و قرارگیری پنل‌های خورشیدی

بر روی آن، سنسورهای مختلف جهت پایش وضعیت کلی سیستم فتوولتائیک، اجزاء الکترونیکی قدرت برای دریافت توان DC تولیدشده توسط سلول‌ها و شارژ باتری‌ها و آماده‌سازی توان الکتریکی برای تغذیه بار، سیستم ردیابی خودکار برای بیشینه کردن میزان دریافت انرژی تابشی و تنظیم بهینه‌ی زاویه و موقعیت پنل‌ها نیز وجود دارند که باید در غالب یک سیستم جمع‌شوند. نقشه تابش دریافتی شهر ارومیه و همچنین برآورد تابش دریافتی و برق تولیدی در این شهر مطابق شکل ۲۹ می‌باشد. در این شهر روزانه در هر متر مربع می‌توان ۴.۷۱۲ کیلووات ساعت و در سال حدود ۱۷۲۰ کیلووات ساعت برق تولید نمود. زاویه بهینه مطابق سایت زیر برای شهر ارومیه برابر ۳۳ درجه در راستای جنوب بوده که بیش‌ترین ظرفیت تولید برق فتوولتائیک ۴.۷۱۲ کیلووات ساعت در هر متر مربع در هر روز می‌باشد.

شکل ۲۹: اطلاعات تابش ارومیه^{۱۴}

Map data			Per year	Map data			Per day
Specific photovoltaic power output	PVOUT specific	1720.0	kWh/kWp	Specific photovoltaic power output	PVOUT specific	4.712	
Direct normal irradiation	DNI	1986.0	kWh/m ²	Direct normal irradiation	DNI	5.441	kWh/m ² per day
Global horizontal irradiation	GHI	1855.0	kWh/m ²	Global horizontal irradiation	GHI	5.082	kWh/m ² per day
Diffuse horizontal irradiation	DIF	646.3	kWh/m ²	Diffuse horizontal irradiation	DIF	1.771	kWh/m ² per day
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI _{opta}	2128.0	kWh/m ²	Global tilted irradiation at optimum angle	GTI _{opta}	5.830	kWh/m ² per day
Optimum tilt of PV modules	OPTA	33 / 180	°	Optimum tilt of PV modules	OPTA	33 / 180	°
Air temperature	TEMP	11.8	°C	Air temperature	TEMP	11.8	°C
Terrain elevation	ELE	1368	m	Terrain elevation	ELE	1368	m

۵-۴-۱- نیروگاه روی پشت بام

این نیروگاه شامل یک رشته‌ی ۹۰ تایی می‌باشد که جمعاً ۹۰ پنل فتوولتائیک خواهیم داشت. راندمان نامی پنل ۱۹ درصد است و از یک وارون‌گر^{۱۵} خورشیدی ۳۷ کیلووات استفاده می‌شود. کل برق مصرفی ساختمان ۱۲۹۰۱۲ کیلووات ساعت می‌باشد که با تولید ۶۰۶۲۰ کیلووات ساعت توسط نیروگاه خورشیدی، می‌توان ۴۷ درصد برق مصرفی ساختمان را در طول کل سال تامین نمود. ظرفیت این نیروگاه حدود ۳۶ کیلووات خواهد بود.

میزان سطح کلکتور خورشیدی یا پنل‌های فتوولتائیک با توجه به تابش خورشیدی یا درصد مورد نیاز تامین آب گرم و برق مصرفی تعیین می‌گردد. از آنجایی که آب گرم مصرفی در طول سال مصرف می‌گردد، تعداد کلکتور خورشیدی به مقدار تامین آب گرم مصرفی انتخاب گردیده است. به منظور شبیه‌سازی انرژی تولیدی توسط سیستم فتوولتائیک، دو مدل نیروگاه پیشنهاد شده است. یک نیروگاه روی پشت بام که دارای ۱۸۰ متر مربع پنل بوده و یک نیروگاه روی دیوارهای واقع در ضلع جنوب که دارای ۱۳۴ متر مربع پنل می‌باشد.

جدول ۹: برق تولیدی ساختمان

برق تولیدی PV کیلووات ساعت	ماه میلادی
۳۳۲۷	ژانویه
۳۷۴۹	فوریه
۴۷۴۱	مارس
۵۳۲۹	آوریل
۶۱۰۱	می
۶۴۷۸	ژوئن
۶۷۴۱	جولای
۶۷۱۵	اگوست
۶۲۰۹	سپتامبر
۴۸۸۳	اکتبر
۳۴۰۷	نوامبر
۲۹۴۰	دسامبر
۶۰۶۲۰	کل سال

۵-۴-۲- نیروگاه روی دیوار جنوب

در این حالت ۱۳۴ متر مربع پنل فتوولتاییک خواهیم داشت. راندمان نامی پنل ۱۹ درصد است و از یک اینورتر خورشیدی ۳۰ کیلووات استفاده می‌شود. کل برق مصرفی ساختمان ۱۲۹۰۱۲ کیلووات ساعت می‌باشد که با تولید

۲۸۷۷۹ کیلووات ساعت توسط نیروگاه خورشیدی، می‌توان ۲۲.۳ درصد برق مصرفی ساختمان را در طول کل سال تامین نمود. ظرفیت این نیروگاه حدود ۲۷ کیلووات خواهد بود.

جدول ۱۰: برق تولیدی ساختمان

ماه میلادی	برق تولیدی PV کیلووات ساعت
ژانویه	۲۴۴۴
فوریه	۲۴۷۵
مارس	۲۵۵۸
آوریل	۲۳۲۸
می	۲۰۱۶
ژوئن	۱۸۱۸
جولای	۲۰۰۱
آگوست	۲۴۸۳
سپتامبر	۳۰۷۵
اکتبر	۲۹۶۵
نوامبر	۲۴۰۵
دسامبر	۲۲۱۱
کل سال	۲۸۷۷۹

۵-۵- حالت طراحی شده

شده است. در این حالت انرژی سیستم سرمایش و گرمایش ساختمان مطابق جدول ۱۱ می‌باشد.

در حالت ساختمان مدرسه طراحی شده، از ترکیب سیستم فتوولتاییک و آبگرمکن خورشیدی در ساختمان استفاده

جدول ۱۱: خلاصه نتایج شبیه‌سازی سرمایش و گرمایش حالت طراحی شده

ماه میلادی	انرژی سیستم گرمایش kWh	انرژی سیستم سرمایش kWh	مجموع انرژی سیستم سرمایش و گرمایش kWh
ژانویه	۴۳۹۶۴	۰	۴۳۹۶۴
فوریه	۳۲۴۰۵	۰	۳۲۴۰۵
مارس	۱۸۴۴۷	۰	۱۸۴۴۷
آوریل	۷۵۹۲	۲۶۷	۷۸۵۹
می	۰	۱۹۲۸	۱۹۲۸
ژوئن	۰	۷۰۰۱	۷۰۰۱
جولای	۰	۱۳۷۲۹	۱۳۷۲۹
آگوست	۰	۱۰۰۳۴	۱۰۰۳۴
سپتامبر	۰	۵۵۰۵	۵۵۰۵
اکتبر	۴۷۹۴	۳۵۰	۵۱۴۴

ماه میلادی	انرژی سیستم گرمایش kWh	انرژی سیستم سرمایش kWh	مجموع انرژی سیستم سرمایش و گرمایش kWh
نوامبر	۲۴۷۷۴	۰	۲۴۷۷۴
دسامبر	۴۱۳۴۹	۰	۴۱۳۴۹
سالانه	۱۷۳۳۲۵	۳۸۸۱۴	۲۱۲۱۳۹

جدول ۱۲: تنظیمات نرم‌افزارها در حالت طراحی شده

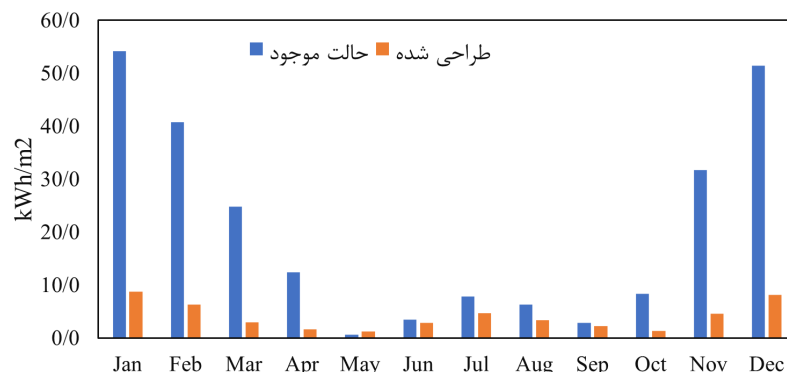
ردیف	عنوان	جزئیات
۱	تعداد افراد	۰.۱ نفر در هر متر مربع
۲	توان تجهیزات	۳ وات در هر متر مربع
۳	ساعات کاری	۷ تا ۶ عصر به جز پنجشنبه و جمعه
۴	منبع فایل آب و هوایی	climate.onebuilding.org
۵	نوع سیستم سرمایش و گرمایش	شوفاژ (سوخت گاز) و کولر گازی (سوخت برق)
۶	تهویه طبیعی	فعال به صورت کنترل شده در فضای فتوولتائیک و آبگرمکن
۷	ست پوینت سرمایش	۲۴ درجه سانتی‌گراد
۸	ست پوینت گرمایش	۲۲ درجه سانتی‌گراد
۹	توان روشنایی	۷.۵ وات در هر متر مربع

۵-۶- مقایسه حالت‌ها

در شکل زیر مقایسه‌ای بین مجموع انرژی سیستم سرمایش و گرمایش در حالت موجود و حالت طراحی شده انجام شده است. مطابق نتایج با حالت طراحی، انرژی سیستم سرمایش ۲۸.۳ درصد، انرژی سیستم گرمایش ۸۵.۳ درصد و مجموع انرژی سیستم سرمایش و گرمایش ۸۰.۳ درصد کمتر نسبت به حالت موجود می‌باشد.

ضریب انتقال حرارت برای دیوار خارجی با هسته بتن ۱۰ سانتی‌متر و ۳ سانتی‌متر عایق $0.714 \frac{W}{m^2.K}$ و برای سقف با هسته بتن ۱۵ سانتی‌متر $0.92 \frac{W}{m^2.K}$ می‌باشد. پنجره‌ی دو جدار ۳ میلی‌متر جداره شفاف در ادامه قرار گرفته که مقاومت حرارتی $1.96 \frac{W}{m^2.K}$ و ضریب عبور حرارت (SHGC) ۰.۶۹ دارد.

شکل ۳۰: مقایسه مجموع مصرف انرژی سیستم سرمایش و گرمایش



خلاصه نتایج این دو راهکار در جدول ۱۳ قرار گرفته است.

جدول ۱۳: خلاصه نتایج

انرژی سیستم گرمایش $\frac{W}{m^2.K}$	انرژی سیستم سرمایش $\frac{W}{m^2.K}$	مجموع انرژی سیستم سرمایش و گرمایش $\frac{W}{m^2.K}$	درصد صرفه‌جویی سیستم گرمایش	درصد صرفه‌جویی سیستم سرمایش	درصد صرفه‌جویی کل	حالت موجود
۲۲۳.۵	۲۱.۴	۲۴۴.۹	-	-	-	طراحی شده
۳۲.۸	۱۵.۳	۴۸.۲	۸۵.۳٪	۲۸.۳٪	۸۰.۳٪	

۶. بحث و نتیجه‌گیری

مدیریت و کاهش مصرف انرژی در فضاهای آموزشی و ارائه راهکارهایی برای به حداقل رساندن آن با وجود بحران‌های زیست‌محیطی امری ضروری است که در این پژوهش با بررسی سامانه‌های فعال خورشیدی و اجزا آن میزان اثربخشی هر یک از موارد در حالت‌های گوناگون ارزیابی شده است. با بررسی مصارف انرژی سالانه ساختمان در حوزه‌های مختلف با توجه به کاربری آن در ساختمان آموزشی شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار دیزاین بیلدر که دارای زیربنای ۲۶۱۱ متر مربع در اقلیم سرد و کوهستانی ارومیه است، می‌توان دریافت که با به‌کارگیری تکنولوژی‌های نوین همچون آبگرمکن خورشیدی و سلول‌های فتوولتائیک، در طراحی این فضاها تحولات چشمگیری در مصارف انرژی ایجاد کرد. بر اساس وضعیت موجود و شبیه‌سازی سلول‌های فتوولتائیک - که می‌تواند انرژی خورشیدی را جذب و مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل کند - در دو حالت، نیروگاه روی پشت بام با ۱۸۰ متر مربع پنل و نیروگاه روی دیوار جنوب با ۱۳۴ متر مربع پنل بررسی شد. با توجه به تابش دریافتی در زاویه بهینه پنل و برآورد تابش دریافتی و برق تولیدی، دریافتیم که روزانه در هر متر مربع می‌توان ۴.۷۱۲ کیلووات ساعت و در سال حدود ۱۷۲۰ کیلووات ساعت برق تولید نمود. نتایج حاصل از بررسی‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد که انرژی تولیدی توسط سیستم فتوولتائیک در نیروگاه روی پشت بام ۴۷ درصد و در نیروگاه دیوارهای ضلع

جنوب ۲۲.۳ درصد برق مصرفی ساختمان را در طول کل سال تأمین می‌کند. همچنین با بهره‌گیری از کلکتورهای آب گرم و شبیه‌سازی آن به‌صورت دینامیک در نرم‌افزار TSOL، میزان آب گرم مصرفی و درصد تأمین آب گرم بررسی شد. در این حالت از لوله خلاء به مساحت ۲۰ مترمربع و منبع ذخیره حدود ۳۰۰۰ لیتر استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده مقدار تأمین آب گرم از حرارت خورشیدی سیستم ۸۱.۳ درصد می‌باشد. راندمان این سیستم ۴۹.۹ درصد و همچنین گاز صرفه‌جویی شده معادل ۲۶۷۰ متر مکعب خواهد بود.

مقایسه‌ای بین مجموع انرژی سیستم سرمایش و گرمایش در حالت موجود (مدرسه گلشهر) و حالت طراحی شده پیشنهادی انجام شده (جدول ۱۳)، که مطابق نتایج با حالت طراحی، انرژی سیستم سرمایش ۲۸.۳ درصد، انرژی سیستم گرمایش ۸۵.۳ درصد و مجموع انرژی سیستم سرمایش و گرمایش ۸۰.۳ درصد کم‌تر نسبت به حالت موجود در ارومیه می‌باشد.

بر اساس آمار و ارقام به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که وجود کلکتورهای آب گرم و سلول‌های فتوولتائیک با قابلیت‌های خود در زمینه تولید و مصرف بهینه انرژی ساختمان‌های آموزشی تأثیر به‌سزایی خواهند داشت. در نهایت با بررسی مطالعات فوق سعی بر این بوده که با تلفیق این دو سیستم در بنای آموزشی مدنظر و کاربرد تکنولوژی در جهت صرفه‌جویی مصرف انرژی گامی برداشته شده و محیطی امن و راحت و اقتصادی فراهم گردد.

تشکر و قدردانی

این مقاله هیچ حامی مالی و معنوی نداشته است.

تعارض منافع

این مقاله فاقد هرگونه تعارض منافی است.

پی‌نوشت

1. Photovoltaics System
2. Collectors

3. TSOL
4. Piratheepan and Anderson
5. Palencia and Fina
6. Yang et al.
7. Ya Brigitte and Gaillard
8. Liang et al.
9. Napolini
10. Hazami
11. Lima et al.
12. Evacuated Tube Collector
13. Solar Fraction
14. globalsolaratlas.info
15. Inverter

- Abolhasani, Nooshin. 2013. Designing the facade of an office building using the features of the Trombe wall (in cold climates). Master thesis, Tehran Univ. [in Persian]
- Alnaqi, Abdulwahab A., Hossein Moayedi, Amin Shahsavari, and Truong Khang Nguyen. 2019. Prediction of energetic performance of a building integrated photovoltaic/thermal system through artificial neural network and hybrid particle swarm optimization models. *Energy Conversion and Management*. 183: 137-148. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.01.005>
- Asadi, Elham, and Ali Bamdad. 2016. "Application of solar systems in buildings to optimize energy in architecture." *The 5th International Conference on Research in Science and Technology, London, England*. <https://scholar.conference.ac/index.php/download/file/9857-The-use-of-solar-systems-in-buildings-to-optimize-energy-architecture> [in Persian]
- Bakhshi, Koorosh, Seyed Alireza Musavi Parhizi, and Pooya Abbasnia. 2016. "Solar water heaters." *The 4th National Conference and the 2nd International Conference on Applied Research in Electrical, Mechanical and Mechatronics Engineering, Tehran*. <https://civilica.com/doc/626385> [in Persian]
- Fakhrijoo, Sanaz, and Asadollah Shafi Zadeh. 2015. "Sustainable architecture in the design of educational spaces." *1st International conference on man, architecture, civil engineering and the city, Tabriz*. <https://civilica.com/doc/410137> [in Persian]
- Farhangi, Hadi, and Lachin Pahlevan Alamdari. 2016. "Maximum efficiency of solar energy and use of solar water heaters in the building." *The first competition of the comprehensive international conference of engineering sciences in Iran, Bandar Anzali*. <https://civilica.com/doc/545076> [in Persian]
- Fouad, M. M., Lamia A. Shihata, and A. H. Mohamed. 2019. Modeling and analysis of Building Attached Photovoltaic Integrated Shading Systems (BAPVIS) aiming for zero energy buildings in hot regions. *Journal of Building Engineering* 21: 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2018.09.017>
- Fina, Bernadette, Hans Auer, and Werner Friedl. 2019. Profitability of active retrofitting of multi-apartment buildings: Building attached/integrated photovoltaics with special consideration of different heating systems. *Energy and Buildings* 190(1): 86-102. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.02.034>
- Gilani, Sara, and Behrouz Mohammad Kari. 2011. Investigation of Greenhouse's Thermal Performance in Residential Buildings of Cold Climate Case Study: City of Ardebil. *Modares Mechanical Engineering* 11(2): 147-157. <https://mme.modares.ac.ir/article-15-1022-fa.html> [in Persian]
- Hazami, Majdi, Nabihah Naili, Issam Attar, and Abdelhamid Farhat. 2013. "Solar Water Heating Systems Feasibility for Domestic Requests in Tunisia: Thermal Potential and Economic Analysis," *Energy Conversion and Management* 76: 599- 608. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.07.079>
- Iranmanesh, Leili, and Mahdieh Ramesh Khar. 2015. "Designing educational spaces in a hot and dry climate with the attitude of energy consumption management." *The first specialized conference on architecture and urban planning in Iran*. <https://civilica.com/doc/411061> [in Persian]
- Izadi, Hamidreza. 2014. *Regulation of environmental conditions*. Iranian Architecture Center. <https://archijozve.ir/> [in Persian]
- Khan Mohammadi, Mohammadali, and Leila Nasim Sobhan. 2015. "Priorities of using active and passive solar systems in cold climate buildings." *The second international conference on modern researches in civil engineering, architecture and urban planning, Istanbul*. <https://civilica.com/doc/509511> [in Persian]
- Liang, Ruobing, Liangdong Ma, Jili Zhang, and Dan Zhao. 2011. "Theoretical and Experimental Investigation of the Filled-Type Evacuated Tube Solar Collector with U Tube". *Solar Energy* 85(9): 1735-1744. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.04.012>
- Lima, Thiago P., Jose Carlos C. Dutra, Ana Rosa M. Primo, Janardan Rohatgi, and Alvaro Antonio V. Ochoa. 2015. "Solar Water Heating for a Hospital Laundry: A Case Study," *Solar Energy* 122: 737-748. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.10.006>
- Naderi, Shahla, and Mohammad Azad Ahmadi. 2017. "Investigating the role of photovoltaic systems in the active use of solar energy." *The first annual international congress on civil engineering, architecture and urban studies, Shiraz*. <https://www.tpbin.com/article/67705> [in Persian]
- Napolini, Helena F., and Ricardo R  ther. 2012. "Assessing the Technical and Economic Viability of Low Cost Domestic Solar Hot Water Systems (DSHWS) in Low-Income Residential Dwellings in Brazil," *Renewable Energy* 48: 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.04.046>
- Nerbert, Leckner. 2006. *Heating, cooling, lighting: design approaches for architects*. Translated by Mohammad ali Keynezhad, and Rahman Azari. Islamic Art University of Tabriz. [in Persian]
- Palencia, P. Sánchez, N. Martín-Chivelet, and F. Chenlo. 2019. Modeling temperature and thermal transmittance of building integrated photovoltaic modules. *Solar Energy* 184: 153-161. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.03.096>

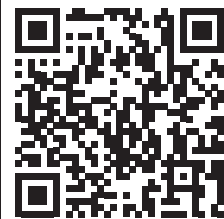
- Piratheepan, M., and T. N. Anderson. 2017. Performance of a building integrated photovoltaic/thermal concentrator for facade applications. *Solar Energy* 153: 562-573. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.06.006>
- Poor Sištani, Mohammadreza, Poopak Poor Sištani, and Pooneh Poor Sištani. 2013. "Investigating the use of photovoltaic systems in the use of renewable solar energy in buildings." *The third international conference on new approaches in energy conservation, Tehran*. <https://civilica.com/doc/305406> [in Persian]
- Sadeghzadeh, Mohammad Ali. 2019. "Promotion the Efficiency of Thermosyphon Solar-Electrical Water Heaters Using a Daily Scheduled Timer Key". *Energy: Engineering & Management* 9(3): 98-107. <https://energy.kashanu.ac.ir/?action=article&kw=304110&kw=Scheduled+Timer+Key&lang=en>
- Saebi Safa, Bahar, Fatemeh Heidari, and Negar Soleimanpoor. 2020. "Auditing the amount of energy loss through the external walls of the building and the effect of thermal insulation by simulation in Design Builder software (case example: office building in Tehran)." *The first international conference and the fifth conference on architecture and sustainable urban development*. <https://civilica.com/doc/1001583> [in Persian]
- Saeed Zadeh Khanghah, Elahe. 2015. "Application of solar energy and photovoltaic systems integrated with the building." *International Conference on New Researches in Civil Engineering, Architecture and Urban Planning, Tehran*. <https://civilica.com/doc/449531> [in Persian]
- Sarookhani, Ali. 2003. "Building heating with floor heating system and use of new energy." *The third conference on optimizing fuel consumption in buildings, Tehran*. <https://civilica.com/doc/2531> [in Persian]
- Torabi, Fatemeh. 2017. "Optimizing energy consumption in the building by using solar water heaters and floor heating system." *The 7th International Conference on Sustainable Development and Urban Development, Isfahan*. <https://civilica.com/doc/701649> [in Persian]
- Vafaei, Rahil. 2009. Photovoltaic systems in combination with architecture (buildings integrated with photovoltaics) BIPV. Master's thesis, Shahid Beheshti Univ. [in Persian]
- Vafaei, Rahil, and Shahram Pourdeihimi. 2015. Estimating Solar Radiation on Building-Integrated Photovoltaic Systems. *Soffeh Scientific-Research Journal* 25(2): 19-36. https://soffeh.sbu.ac.ir/article_100251.html [in Persian]
- Ya Brigitte, Assoa, Leon Gaillard, Christophe Ménézo, Nicolas Negri, and François Sauzedde. 2018. Dynamic prediction of a building integrated photovoltaic system thermal behaviour. *Applied Energy* 214: 73-82. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.01.078>
- Yang, Siliang, Alessandro Cannavale, Deo Prasad, Alistair Sproul, and Francesco Fiorito. 2019. Numerical simulation study of BIPV/T double-skin facade for various climate zones in Australia: Effects on indoor thermal comfort. *Building Simulation* 12(1): 51-67. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12273-018-0489-x>
- <http://m.af.ensuntec.com/solar-collector/vacuum-tube-solar-collector/vacuum-tube-solar-collecto.html>

نحوه ارجاع به این مقاله

عظمتی، سعید، شهرزاد حاجی رزاقی، و سارا طاهرسیما. ۱۴۰۲. میزان اثربخشی کلکتورهای آب گرم و سلول‌های خورشیدی بر گرمایش و کاهش مصرف انرژی در مدارس ابتدایی ارومیه، مورد مطالعاتی: مدرسه ابتدایی دخترانه در شهر ارومیه. نشریه معماری و شهرسازی آرمان شهر ۱۶ (۴۳): ۱۵۳-۱۷۶.

DOI: 10.22034/AAUD.2023.338109.2651

URL: https://www.armanshahrjournal.com/article_176144.html



COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Armanshahr Architecture & Urban Development Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License.

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

