

بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان های مسکونی با استفاده از پنل های خورشیدی در اقلیم شهر تهران

محمد عبادتی

گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.

علیرضا لورک^۱

گروه مهندسی عمران، واحد صفادشت، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

محمد هادی علیزاده الیزئی

گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.

چکیده

در سال های اخیر فناوری های انرژی خورشیدی به صورت گسترده مورد مطالعه و توسعه قرار گرفته اند، اما با این وجود هنوز پذیرش استفاده از پنل های خورشیدی در مقیاس بزرگ محقق نشده است. ما در این تحقیق با کمک نرم افزار انرژی پلاس در تلاش بوده ایم تا کارایی پنل های خورشیدی را با توجه به شرایط آب و هوایی ایران و بالاخص اقلیم شهر تهران با شبیه سازی یک نمونه ساختمان ۵ طبقه فرضی با رعایت تمامی استانداردهای ساخت رایج در ایران مورد بررسی قرار بدهیم و سرانجام به آنالیز اقتصادی آن پرداخته ایم که یکی از مانع های اصلی بکارگیری پنل های خورشیدی در ایران و دغدغه اکثر کارفرمایان و سفارش دهندگان می باشد. نتایج شبیه سازی نشان دهنده کاهش چشمگیر ۴۰ درصدی مصرف انرژی در ساختمان مدل بوده است. با توجه به آنالیز اقتصادی صورت گرفته، استفاده از نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک توجیح اقتصادی برای کارفرمایان، سازندگان و بهره برداران حتی بدون در نظر گرفتن هزینه های مرتبط به بازسازی ندارد. از دلایل غیر اقتصادی بودن نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک می توان به افزایش شدید قیمت دلار که ارتباط مستقیمی با احداث آن دارد و نیز تعرفه پایین برق و یارانه های اختصاص یافته از سوی دولت در ایران اشاره کرد.

کلیدواژگان: بهینه سازی، انرژی، ساختمان های مسکونی، پنل خورشیدی، تهران

مقدمه

افزایش گازهای گلخانه‌ای و محدودیت منابع فسیلی جهت تامین انرژی یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن اخیر است. لذا، رویکرد استفاده از منابع تجدیدپذیر با شتاب بیشتری در حال پیشرفت و توسعه است (نیکنام و همکاران، ۱۳۹۴: ۱). کمبود منابع انرژی فسیلی برای استفاده در نیروگاه‌ها و انواع انرژی‌ها، نیاز به صرفه‌جویی و رویکرد به انرژی‌های نو را دوچندان می‌کند. برای ایجاد تحول در زمینه استفاده بهینه از انرژی به خصوص انرژی الکتریکی توجه به چند مورد لازم است که از آن جمله می‌توان به مواردی همچون صرفه‌جویی در انرژی، استفاده از ذخیره‌کننده‌های انرژی، مدیریت صحیح مصرف و توجه وافر به انرژی‌های نو اشاره کرد که هر یک قابل بحث است. چالش انرژی در آینده اجتناب‌ناپذیر می‌باشد و از دلایل مهم آن می‌توان به مواردی مانند افزایش رشد جمعیت، افزایش شاخص‌ها و استانداردهای زندگی، افزایش حمل و نقل و ارتباطات و موارد دیگر اشاره نمود (عبادتی و احیایی، ۲۰۱۸: ۶۸). بنابراین بلید به دنبال راهکاری‌هایی برای گسترش استفاده از تکنولوژی‌های جدید با هدف کاهش مصرف و تقاضای انرژی، افزایش تولید انرژی خصوصاً انرژی‌های تجدیدپذیر، استفاده بهینه و مؤثر از منابع انرژی، افزایش راندمان تجهیزات مصرف‌کننده انرژی بود. کاربرد منابع انرژی متعارف روز به روز در حال افزایش است تا کیفیت زندگی ما را افزایش دهد. علاوه بر این، قیمت سوخت‌های فسیلی نیز به تدریج در حال افزایش است. طبق تحقیقات، در دسترس بودن آن در ۱۰۰ سال آینده به پایان می‌رسد. بنابراین محققان در سراسر جهان در تلاشند تا منبع انرژی تازه، سازگار با محیط زیست و قابل استفاده مجدد را بیابند (سن^۱ و همکاران، ۲۰۱۹: ۴۳). در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر، تعداد کمی از فناوری‌های نوظهور پتانسیل زیادی در بهره‌برداری از انرژی خورشیدی نشان داده‌اند. در میان تمام منابع انرژی تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی، که عموماً از سلول فتوولتائیک برای تبدیل نور خورشید به الکتریسیته استفاده می‌کند، ممکن است یکی از منابع جایگزین در اینجا باشد، اما دما در مورد آرایه‌های فتوولتائیک نگرانی مهمی است (چابان^۲ و همکاران، ۲۰۱۹: ۱۲۹۷؛ مارتینز^۳ و همکاران، ۲۰۱۹: ۱۶۳).

استفاده از انرژی‌های جایگزین برای پاسخگویی به تقاضای برق و گرمایش در سراسر جهان، به ویژه در کشورهایی که این منابع وجود دارند، در حال افزایش است. این امر در نتیجه تأثیر منفی گازهای گلخانه‌ای بر محیط زیست به دلیل استفاده مداوم از سوخت‌های فسیلی برای برآوردن تقاضای انرژی در سطح جهانی ضروری تر شده است (آگیکوم و همکاران، ۲۰۲۱: ۳۴۲۶؛ آدبایو و همکاران^۴، ۲۰۲۱: ۶۹۷۵). در دهه‌های اخیر، فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر به شدت مورد مطالعه و توسعه قرار گرفته‌اند. فناوری‌هایی مانند توربین‌های بادی (پورته آگل^۵ و همکاران، ۲۰۲۰: ۶). فتوولتائیک (پنل‌های خورشیدی) (خرازی و همکاران، ۲۰۲۰). انواع عایق‌های حرارتی (عبادتی و همکاران، ۲۰۲۱: ۳۹). انرژی زمین گرمایی (عبادتی، ۲۰۲۲: ۳۷). و نیز استفاده صحیح از نمای ساختمان‌ها برای بهره‌گیری حداکثری از نور خورشید و تهویه طبیعی (عبادتی، ۲۰۲۲: ۳۷). به دلایل بسیاری پنل‌های خورشیدی بهترین گزینه برای ساخت برنامه‌های کاربردی در نظر گرفته شده است. پنل‌های خورشیدی اکثراً ساکن

¹ Sen

² Chaabane

³ Martinez

⁴ Adebayo

⁵ Kharrazi

هستند و هیچ صدایی تولید نمی کنند، در مقایسه با توربین های بادی هزینه کمتری دارند و هر ساله نیز ارزان تر می شوند، در مقایسه با توربین های بادی و انرژی زمین گرمایی به هزینه تعمیر و نگهداری کمتری نیاز دارد (هابرلین^۱، ۲۰۱۲: ۱۲۳). با توجه به میزان فراوان انرژی که خورشید در اختیار ما قرار می دهد و با افزایش آگاهی و پیشرفت علم و تکنولوژی، پنل های خورشیدی به عنوان یک فناوری و تکنولوژی مناسب می تواند برای تولید انرژی مورد نیاز در ساختمان ها مورد استفاده قرار بگیرد. استفاده از انرژی ساطع شده از خورشید در کشورهایی مانند ایران که میزان تابش پرتوهای سالانه آن بالا است، یکی از بهترین روش ها است. قیمت پنل بسته به نوع آن بسیار متفاوت می باشد. بسیاری از عوامل الکتریکی، مکانیکی و فروش، مانند توان خروجی بر حسب وات (۲۰۰ وات، ۴۰۰ وات)، اندازه ماژول و اینورتر، کارایی سلول و ماژول (فو و همکاران^۲، ۲۰۱۸: ۱۹). فناوری (سلول های تک کریستالی، پلی کریستالی) (بوکسول^۳، ۲۰۱۹: ۴۹). تاثیر گذار می باشند. کاهش نرخ قبض برق و کاهش آلودگی می تواند جذابیت لازم را برای نصب پنل های خورشیدی بر روی پشت بام ها یا نماها بوجود بیاورد (بوردیک، اشمیت^۴، ۲۰۱۷: ۱۲۹). از این رو، برای کارفرمایان یا صاحبان خانه بسیار مهم است که بهترین پنل خورشیدی را انتخاب کنند که نیازهای آنها را برآورده کند. برای انجام این کار تحقیقات گسترده ای در مورد ادغام سیستم های فتوولتائیک در ساختمان ها انجام شده است و می تواند برای انتخاب مناسب کمک بسزایی کند (رملی^۵ و همکاران، ۲۰۱۵: ۴۹۱). تحقیقات زیادی در سطح جهانی برای استفاده از پنل های خورشیدی انجام شده است: باقری و ابراهیمی در مقاله ای به بهینه سازی انرژی در طراحی نمای ساختمان با تأکید بر رویکرد مهندسی ارزش (مطالعه موردی: مجموعه تجاری- اقامتی امید مشهد)، پرداخته اند (باقری، ابراهیمی؛ ۱۳۹۷: ۲۰۷). پورسیستانی و همکاران نیز به ارزیابی عملکرد حرارتی یک دودکش خورشیدی با دو حالت مستقل و تزریق هوا از کف - نمونه موردی: ساختمان اداری در شهر کرمان، پرداخته و دنبال راهکار کاهش مصرف انرژی ساختمان می باشند (پورسیستانی و همکاران، ۱۴۰۰: ۷۲۱). تواضع و همکاران نیز در مقاله ای به ارزیابی تأثیر تهویه طبیعی بر آسایش حرارتی نمازگزاران در مساجد منطقه گرم و خشک ایران پرداخته اند (تواضع و همکاران: ۱۴۰۱: ۹۲۵).

بررسی ها نشان می دهد که کشور ایران هم پتانسیل بسیار زیادی برای استفاده از انرژی خورشید دارد به گونه ای که با داشتن حدود ۳۰۰ روز آفتابی و میزان ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلو وات ساعت بر متر مربع در سال جزو کشورهای دنیا با پتانسیل بالای انرژی خورشید می باشد. با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران و پراکندگی شهرها و روستاها در کشور، استفاده از انرژی خورشیدی یکی از مهم ترین عواملی است که باید مورد توجه قرار گیرد. استفاده از انرژی خورشیدی یکی از بهترین روشهای تولید و انتقال انرژی در مقایسه با دیگر مدل های انتقال انرژی به نقاط دورافتاده در کشور از نظر هزینه، حمل و نقل، نگهداری و عوام مشابه میباشد که در تغییر الگوی مصرف و بهینه سازی آن هم می تواند نقش بسیار مهمی داشته باشد (انجمن انرژی های تجدید پذیر ایران، ۱۴۰۲). از آنجایی که مساحت کشور ایران تقریباً یک میلیون و ششصد هزار کیلومتر مربع است که با احتساب این $10^{12} * 5/5 * 1/5$ کیلووات ساعت می

¹ Haberlin

² Fu et al

³ Boxwell

⁴ Burdick, Schmidt

⁵ Ramli

باشد، لذا میزان کل تابش در طول روز در ایران تقریباً ۹ میلیارد مگاوات ساعت خواهد بود که اگر تنها از یک درصد مساحت کشور ایران با استفاده از سیستمی با راندمان ۱۰ درصد، انرژی خورشیدی جذب شود، امکان جذب ۹ میلیون مگاوات ساعت انرژی به صورت روزانه وجود خواهد داشت (گرجیان و قبادیان، ۲۰۱۵: ۵۳۴).

با توجه به این امکانات و پتانسیل مهم جهت تامین برق مورد نیاز کشور، گزارشات پایگاه اطلاع رسانی وزارت نیرو (پاون) نشان می‌دهد که به استناد اطلاعات شرکت مدیریت شبکه برق کشور، نیروگاه‌های تجدیدپذیر در ۸ روز پایانی سال ۱۴۰۱ بین ۸.۹ درصد تا ۱۳.۳ درصد از توان مورد نیاز در اوج مصرف برق را تأمین کرده‌اند (سایت وزارت نیرو، ۱۴۰۲) و لذا استفاده از روشهای نوین و خصوصاً پاک برای تامین نیروی برق برای کلان شهرهایی نظیر تهران که آمار بالایی در مصرف برق دارند، شدیداً احساس می‌شود. در ایران، بخش ساختمان حدود ۴۰ درصد از کل مصرف انرژی را به خود اختصاص می‌دهد و لذا یکی از پرمصرف‌ترین بخش‌های تقاضای انرژی بخش مسکونی است (عباس زاده و همکاران، ۱۴۰۱: ۴۳۰). لذا کنترل میزان مصرف و بهینه سازی تولید و مصرف و همچنین افزایش میزان بازدهی و بهره وری آن میتواند سهم عمده ای در کاهش مصرف سرانه انرژی و جلوگیری از مصرف سوخت های فسیلی که خود در برگیرنده بسیاری از معضلات ناشی از مصرف بی رویه هستند، داشته باشد.

طبیعیست که هرگونه برنامه ریزی برای کلان شهری نظیر تهران مستلزم انجام مطالعه و برنامه ریزیهای مشخص با رویکرد استفاده بهینه از منابع بسیار محدود مالی، تولید و اقتصادی است. از اینرو بهینه سازی مصرف برق و استفاده از روشهای نوین جهت تولید انرژی از جمله اقداماتی است که می‌تواند برای حل بسیاری از مشکلات موجود بسیار راه گشا باشد. از اینرو تحقیق حاضر به این سوال پاسخ داده است که با بکارگیری نرم افزار انرژی پلاس و انجام شبیه سازی و ایجاد یک ساختمان ۵ طبقه فرضی که انرژی آن با استفاده از پنل های خورشیدی تامین می‌گردد تا چه میزان کارایی داشته و دغدغه سفارش دهندگان و تولیدکنندگان پنل های خورشیدی را پاسخ می‌دهد، یا نه؟

مبانی نظری

روند تکامل تبدیل مستقیم نور خورشید به الکتریسته

Becquerel برای اولین بار در سال ۱۸۳۹ میلادی وقتی که اثر فتوولتائیک را مشاهده نمود، کشف کرد که نورخورشید می‌تواند مستقیماً به الکتریسته تبدیل شود. سپس در سال ۱۸۷۶، آدامز و دی کشف کردند که سلینوم خواص فتوولتائیک دارد. هنگامی که پالنگ در سال ۱۹۰۶ طبیعت کوانتومی نور را فرض کرد راه برای بقیه دانشمندان برای ساخت تئوری فوق هموار گشت. این بود که در سال ۱۹۳۰ ویلسن تئوری کوانتوم جامدات را ارائه کرد و رابطه ای تئوریک بین فوتون و خواص جامدات را فراهم آورد. ده سال بعد مات و شاتکی تئوری دیود حالت جامد را توسعه دادند و در سال ۱۹۴۹ باردین، براتین و شاکلی ترانزیستور با پیوالر را اختراع کردند. این اختراع انقلابی در دیوایسهای حالت جامد بوجود آورد. اولین سلول سوآلر توسط چاپین، فولر و پیرسون در سال ۱۵۵۴ ارائه شد. که دارای بازدهی ۶٪ بود. تنها چهارسال بعد از سلولهای سوآلر به عنوان منبع تغذیه سیستم رادیویی روی ماهواره ونگارد استفاده شد (کیانی، عابدی؛ ۱۳۹۵: ۲۳۰).

کاربرد و مزایای انرژی خورشیدی

با توجه به تهدید فزاینده تغییرات آب و هوایی بر اثر نشر بیش از اندازه کربن، بسیاری از کشورها به دنبال

جایگزینهای انرژی تمیز برای سوختهای فسیلی سنتی خود هستند (لی^۱، ۲۰۱۰: ۹۸). از میان تمام جایگزینهای انرژی، انرژی خورشیدی بیشترین کارایی و البته بعضا هزینه را نیز دارد. در مطالعه‌ای باکر^۲ (۲۰۱۳) به جنبه‌های اقتصادی انرژی خورشیدی پرداختند و انرژی خورشیدی را جایگزینی مناسب برای سوختهای فسیلی و سایر انرژی‌های آلاینده از جمله برق - آبی معرفی نمودند. در مطالعه دیگری در ایران برآوردها نشان می‌دهد که با تولید انبوه، هزینه کلی سیستم، کاهش می‌یابد و در سال ۲۰۲۰، حتی برای مصارف کم، استفاده از انرژی خورشیدی مقرون به صرفه بوده است (باکر و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۱). با این حال، با در نظر گرفتن مزایا و معایب و کاهش ۴۴ درصدی قیمت پنل‌های خورشیدی در پنج سال گذشته، انرژی خورشیدی آینده درخشانی خواهد داشت که در ادامه بدانها هم اشاره خواهد شد.

الف- پایداری:

از نظر کارشناسان، انرژی خورشیدی جایگزین پایداری برای سوختهای فسیلی به شمار می‌رود. سوختهای فسیلی تاریخ انقضا دارند، اما انرژی خورشیدی همیشه در دسترس خواهد بود. علاوه بر این، هر روز ۷۳ هزار تراوات انرژی خورشیدی به سطح زمین میرسد که ده هزار برابر بیشتر از مصرف روزانه مجموع انرژی در کل جهان است. برای استفاده از این منبع انرژی عظیم تنها لازم است که فناوری مورد نیاز آن اجرا شود (آرنت و زوبل^۳، ۲۰۱۱: ۸۹).

ب- خطرات کم محیط زیستی

اصولا خطرات و تأثیرات منفی انرژی خورشیدی بر محیط زیست در مقایسه با سوختهای فسیلی بسیار کمتر است. این انرژی گاز گلخانه‌ای منتشر نمی‌نماید؛ چرا که فناوری مربوط به این انرژی نیاز به احتراق سوخت ندارد. اگرچه نیروگاههای گرمایی خورشیدی به دلیل مصرف آب و براساس نوع فناوری به کاررفته، به نسبت غیربهبود هستند، ولی استفاده از فناوری مناسب میتواند بازدهی آنها را افزایش دهد (سانچز^۴ و همکاران، ۲۰۱۴: ۹۳).

پ- استقلال انرژی

از آنجا که نور خورشید در بیشتر کشورهای دنیا فراوان است، از اینرو میتواند که هر کشوری را به تولیدکننده انرژی بالقوه تبدیل نماید. این نوع از انرژی می‌تواند که وابستگی کشورها به انرژی را تا حدود فراوانی کاهش دهد و از طرفی بر امنیت آنها نیز بیفزاید. لازم به ذکر است که انرژی خورشیدی تنها در سطح ملی امنیت و استقلال را افزایش نمیدهد، بلکه در مقیاسهای کوچکتر نیز این مزیت را خواهد داشت. برای مثال با نصب پنل‌های خورشیدی بر روی بام خانه‌ها هم میتوان به راحتی نیروی برق موردنیاز هر خانوار را تأمین نمود (کالوگیرو^۵، ۲۰۰۴: ۲۳۵).

سیستم فتوولتاییک، اجزا و کارکرد آن:

سیستم فتوولتاییک یکی از به روزترین ابزارها برای تبدیل انرژی خورشیدی به جریان برق است. سیستم‌های فتوولتاییک از تعدادی صفحه خورشیدی تشکیل شده‌اند که از ترکیب علوم برق و مکانیک برای طراحی عملکرد آن استفاده شده است. زمانی از این سیستم بهره می‌گیرند که قصد تولید برق از طریق انرژی خورشیدی را داشته باشیم. این سیستم یکی از مناسبترین گزینه‌ها برای صرفه جویی در برق خصوصا برای مکان‌های گسترده به حساب می‌آید.

¹ Lee

² Baker et al

³ Arnette & Zobel

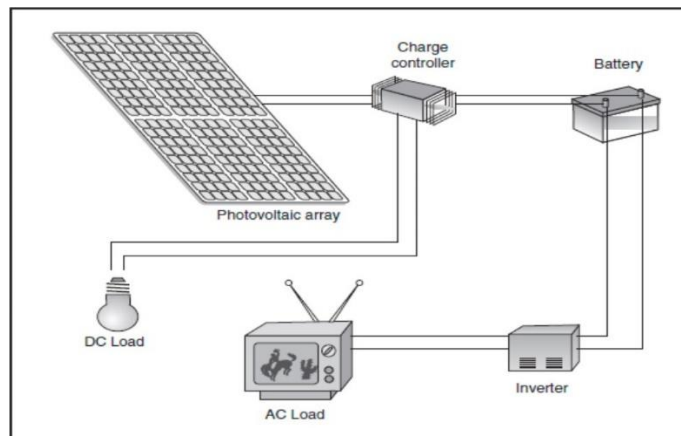
⁴ Sanchez

⁵ Kalogirou

آید.

در این روش با به‌کارگیری سلول‌های خورشیدی، تولید مستقیم الکتروسیته از تابش خورشید امکان‌پذیر می‌شود. سلول‌های خورشیدی از نوع نیم‌رسانا می‌باشند که از سیلیسیوم یعنی دومین عنصر فراوان پوسته زمین ساخته می‌شوند. وقتی نور خورشید به یک سلول فتولتایی می‌تابد، بین دو الکتروود منفی و مثبت اختلاف پتانسیل بروز کرده و این امر موجب جاری شدن جریان بین آن‌ها می‌گردد. می‌توان فتولتائیک را در دسته فناوری‌های انرژی‌های تجدید پذیر (نوشو) قرار داد.

یک سامانه‌های فتولتائیک (pv) از اجزایی کلی تشکیل شده است که به ترتیب عبارت از: صفحه‌ها (پانل‌های) خورشیدی، باتری‌های ذخیره، مبدل برق مستقیم به متناوب، دستگاه کنترل‌کننده، سازه فلزی یا ساختمانی، کابل‌های ارتباط می‌باشند. از مزیت‌های این سیستم این است که مشکلات مربوط به سوخت رسانی را کاهش می‌دهد، در هر نقطه از زمین امکان نصب و راه اندازی دارد، به تعمیر و نگهداری مداوم نیاز ندارد، به شبکه سراسری و سیستم انتقال شبکه نیازی نیست، عموماً گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد و راهکار بسیار مناسبی جهت حفاظت از منابع نادر انرژی می‌باشد. سامانه مورد نظر بدین شکل کار می‌کند که آرایه فتولتائیک با قرار گرفتن در معرض نور خورشید، برق DC تولید می‌نماید و این برق تولید شده از طریق شارژ کنترلر به باتری می‌رسد شارژ کنترلر رژیم شارژ متفاوت را برای هر باتری تنظیم می‌کنند و از حرکت جریان به سوی آرایه فتولتائیک در شب جلوگیری می‌کند. چون تولید برق در سیستم فتولتائیک مستقل به ندرت هم فاز با نیازهای توان مصرف‌کنندگان است در باتری ذخیره می‌شود، به منظور تولید برق AC از اینورتر استفاده می‌گردد که برق DC باتری را به برق قابل مصرف مصرف‌کننده‌های AC تبدیل کند. (Kelly, 1993: 62). اجزای یک سیستم PV معمولی خارج از شبکه را می‌توان در شکل ۱ نشان داد.



شکل ۱. اجزای یک سیستم PV معمولی خارج از شبکه

عوامل موثر بر هزینه‌های تولید برق با سیستم‌های فتولتائیک

بطور کلی هزینه تولید برق با سیستم‌های فتولتائیک به چند عامل مهم بستگی دارد که به ترتیب عبارتند از (فیاضی، موسوی، ۱۳۹۲: ۴):

الف) میزان تابش خورشید در منطقه: این عامل مشخص می‌نماید که تا چه میزان امکان تولید برق خورشیدی وجود دارد، که از این جهت قابل مقایسه با مقدار سوخت مورد نیاز برای نیروگاه‌های دیزلی است.

ب) بازدهی ماژول: پژوهش های بانک جهانی حاکی از آن است که کارایی سیستمهای فتوولتائیک و به ویژه ماژولهای خورشیدی طی دهه های اخیر افزایش یافته و بیشتر این سیستمها دارای کارایی برابر ۷۰ تا ۸۰ درصد است که نقش مهمی در کاهش هزینه برق خورشیدی دارد.

پ) هزینه ماژول: این فاکتور بستگی مستقیم به مواد سازنده آن، روش ساخت و اندازه آن دارد.

ت) هزینه سیستم: این مورد شامل تجهیزات جانبی سیستم فتوولتائیک از قبیل پایه نگهدارنده، مبدل انرژی DC به AC، ابزار کنترل و... است. هزینه این سیستم بطور میانگین ۴۰ تا ۶۰ درصد هزینه های سرمایه گذاری سیستم را در برمی گیرد.

ج) طول عمر سیستم: طبق آخرین برآورد سازمان انرژی آمریکا طول عمر سیستم فتوولتائیک طی سالهای ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ حدود ۳۰ سال در نظر گرفته می شود. اکثر مراجع طول عمر سیستم را ۳۰ سال تخمین زده اند.

ج) نرخ بهره بدلیل اینکه هزینه سرمایه گذاریهای سیستم های فتوولتائیک گران است، بنابراین عامل نرخ بهره نقش مهمی را در توجیه اقتصادی پروژه ها ایفا می نماید.

در رابطه با هزینه های راه اندازی و بکارگیری این سیستم، مطالعات متعددی انجام یافته است. خوش اخلاق و همکاران در پژوهشی به ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی در مقایسه با نیروگاه دیزلی پرداخته و با ارائه روابط مناسب، محاسبات را برای روستاهای کویر مرکزی انجام دادند. نتایج این مطالعه نشان می دهد که نیروگاه فتوولتائیک با وجود هزینه های بالای سرمایه گذاری اولیه، به دلیل عدم نیاز به هزینه های جاری مانند سوخت و... در طول دوره استفاده، هزینه واحد کمتری نسبت به هزینه های مولد دیزلی و گسترش شبکه برق دارد (خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۸۲: ۱۹۲). در یک بررسی دیگر (کلسوم^۱، ۱۹۹۴: ۲۰۲). هزینه های استفاده از انرژی های تجدیدپذیر را مورد بررسی قرار داده است، که نتایج آن حاکی از آن است که هزینه های تکنولوژی فتوولتائیک رشد نزولی داشته و این روند ادامه خواهد یافت.

برنامه ریزهای توسعه ای و مصرف انرژی

دسترسی به انرژی یکی از عوامل مهم توسعه اقتصادی کشورها به حساب می آید. از طرف دیگر مصرف انرژی سبب انتشار گازهای گلخانه ای شده و تغییرات آب و هوایی را تشدید می کند. از زمان مطرح شدن موضوع انرژی در برنامه ریزی شهری، راهکارهای بسیاری، در قالب سیاست های برنامه ریزی برای کاهش مصرف و افزایش بهره وری مصرف انرژی ارائه شده است. از جمله تاثیرگذارترین این راهکارها می توان رویکردهای شهرهای فشرده، توسعه حمل و نقل محور و رشد هوشمند و نهایتاً تغییر الگوی مصرف را نام برد (دیوسالار و همکاران، ۱۳۹۱: ۱). با توجه به نقش حیاتی انرژی در پایداری توسعه بصورت ملی و منطقه ای، رشد اقتصادی و تغییرات آب و هوایی جهان، اهمیت پرداختن به سیاست های بهینه سازی مصرف انرژی روز به روز افزایش می یابد. شهرها مصرف کننده عمده (حدود دو سوم) انرژی در جهان هستند (بوز^۲، ۲۰۱۰: ۱). و رشد روز افزون شهرنشینی به افزایش قابل توجه در مصرف انرژی می انجامد. این درحالی است که روند فعلی مهاجرت به شهرها و الگوهای مصرف گرایی، منجر به تراکم جمعیت و مصرف بالای انرژی و سطوح بالای انتشار آلاینده ها، آلودگی صوتی و آلودگی هوا را موجب می

¹ Kulsum

² Bose

گردد. بنابر این برنامه‌ریزی در جهت ایجاد شهرهایی که از نظر مصرف انرژی بهینه باشند یکی از مهمترین اهداف برنامه‌ریزی شهری به شمار می‌آید.

کشور ایران از مهمترین کشورهای دارای منابع انرژی دنیا به شمار می‌آید. آخرین آمارهای بین‌المللی نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۰ ایران با برخورداری از ۵/۲ درصد از تولید نفت خام و ۴/۳ درصد از تولید گاز در جهان یکی از بازیگران اصلی انرژی در دنیا است. با این حال تراز عرضه و تقاضای انرژی در کشور و همچنین شاخص شدت انرژی ایران نشان دهنده این است که حامل‌های انرژی در کشور به صورتی کارآ استفاده نمی‌شود. با توجه به قیمت حامل‌های انرژی در داخل کشور، یارانه پرداختی دولت، محدودیت منابع فسیلی، رشد بالای مصرف سالانه انواع حامل‌های انرژی در ایران، عدم کارایی فنی و اقتصادی مصرف انرژی، امکان صادرات فرآورده‌های نفتی در صورت صرفه‌جویی و مشکلات مرتبط با محیط زیست ناشی از مصرف غیر منطقی و ناکارآیی سوخت، بهینه‌سازی مصرف انرژی در کشور تبدیل به یک ضرورت شده است (امیرمعینی، ۱۳۸۸: ۵۲). بنابر این ادغام ملاحظات مربوط به بهینه‌سازی مصرف انرژی در کلیه وجوه برنامه‌ریزی کشور، از جمله برنامه‌ریزی جهت تولید برق در ساختمان‌های مسکونی، اداری و حتی تولیدی و تجاری، ضروری می‌باشد.

در کشور ما در خانه و مکان‌های تجاری، سالانه حدود ۲۰۰ میلیون بشکه نفت خام برای تولید حرارت و سرما مصرف می‌شود. در صورتیکه اگر با روش‌های صرفه‌جویی فقط ۱۰ درصد در طول سال در مصرف انرژی صرفه‌جویی شود، حدود ۲۰ میلیون بشکه نفت خام صرفه‌جویی می‌شود که می‌تواند صرف سایر امور عمرانی کشور شود. علاوه بر بار اقتصادی، عوامل دیگری نیز وجود دارد که ضرورت بهینه‌سازی مصرف انرژی و تولید آن از طریق روش‌های کارآمدتر را توجیه می‌نماید که به ترتیب عبارتند از (رضایی و همکاران، ۱۳۹۸: ۷۴): بالا بودن رشد جمعیت و نیاز به تقاضای بیشتر انرژی؛ محدودیت منابع انرژی به دلیل تجدیدناپذیر بودن آن؛ رشد بالای مصرف انرژی به دلیل الگوی ناصحیح مصرف انرژی؛ عدم وجود سیستم بازیافت انرژی؛ وجود کارخانجات و صنایع فرسوده؛ متکی بودن اقتصاد کشور به درآمدهای نفتی؛ افزایش آلودگی محیط زیست، گازهای گلخانه‌ای و باران‌های اسیدی.

روش پژوهش

عملکرد حرارتی پنل‌های خورشیدی (مدلسازی ریاضی)

بازده دمایی یک کلکتور (سیستم پنل خورشیدی) به عنوان نسبت گرمای مفید سیال کلکتور به کل تابش برخوردی خورشیدی بر سطح ناخالص جمع‌کننده تعریف می‌شود (اشرای^۱، ۱۹۹۱: ۴۷).

$$\eta = \frac{(q/A)}{I_{solar}} \quad (1)$$

q = افزایش گرمای مفید

A = سطح ناخالص جمع‌کننده

I_{solar} = مجموع تابش برخوردی خورشیدی

توجه داشته باشید که بازده η فقط برای $I_{solar} > 0$ تعریف می‌شود.

¹ Ashrae

یک تعادل انرژی روی یک کلکتور خورشیدی با شیشه دوجداره، روابط بین ویژگی‌های شیشه لعابدار، ویژگی‌های صفحه جذب و شرایط محیطی را نشان می‌دهد (اشرای، ۱۹۹۱: ۴۷).

$$\frac{q}{A} = I_{Solar} \tau_{g1} \tau_{g2} \alpha_{abs} - \frac{T_{abs}^4 - T_{g2}^4}{R_{rad}} - \frac{T_{abs} - T_{g2}}{R_{conv}} - \frac{T_{abs} - T_{air}}{R_{cond}} \quad (2)$$

τ_{g1} = ضریب عبور اولین لایه شیشه لعابی

τ_{g2} = ضریب عبور لایه دوم شیشه لعابی

α_{abs} = جذب صفحه جذب

R_{rad} = مقاومت تابشی از جذب به داخل شیشه لعابی

R_{conv} = مقاومت انتقالی از جذب به داخل شیشه لعابی

R_{cond} = مقاومت رسانایی از جذب به هوای بیرون از طریق عایق

T_{abs} = دمای صفحه جذب

T_{g2} = دمای شیشه لعابی داخلی

T_{air} = دمای هوای بیرون

معادله فوق را می‌توان به صورت تقریبی با یک فرمول ساده‌تر زیر نوشت:

$$\frac{q}{A} = F_R [I_{Solar} (\tau\alpha) - U_L (T_{in} - T_{air})] \quad (3)$$

F_R = یک ضریب تصحیح تجربی تعیین شده

$(\tau\alpha)$ = حاصلضرب تمام شرایط انتقال و جذب

U_L = ضریب تلفات دمایی کلی که ترکیبی از تابش، همرفت و رسانش است

T_{in} = دمای ورودی سیال کار

با جایگزینی آن در معادله (۱)،

$$\eta = F_R (\tau\alpha) - F_R U_L \frac{(T_{in} - T_{air})}{I_{Solar}} \quad (4)$$

یک همبستگی خطی با در نظر گرفتن $F_R (\tau\alpha)$ و $-F_R U_L$ به عنوان ثابت ویژگی کلکتور خورشیدی می‌تواند ایجاد شود:

$$\eta = c_0 + c_1 \frac{(T_{in} - T_{air})}{I_{Solar}} \quad (5)$$

به طور مشابه، یک همبستگی درجه دوم می‌تواند با استفاده از فرمول زیر ساخته شود:

$$\eta = c_0 + c_1 \frac{(T_{in} - T_{air})}{I_{Solar}} + c_2 \frac{(T_{in} - T_{air})^2}{I_{Solar}} \quad (6)$$

هر دو ضرایب معادله بازده مرتبه اول و دوم در فهرست راهنمای $SRCC^1$ تایید شده‌ی رتبه‌بندی کلکتور خورشیدی، فهرست شده‌اند (SRCC, 2004:34).

تعدیل‌کننده‌های زاویه برخورد

¹ Solar Rating & Certification Corporation

همانند پنجره‌های معمولی، ضریب عبور شیشه لعابی جمع‌کننده با زاویه برخورد تابشی، متفاوت است. معمولاً زمانی که برخورد تابشی به سطح شیشه لعابی عادی باشد، ضریب انتقال بالاترین مقدار است. شرایط تست، ضرایب کارایی را برای برخورد عادی تعیین می‌کند. برای زوایای غیرعادی، ضریب عبور شیشه لعابی توسط یک ضریب تعدیل‌کننده زاویه برخورد بهبود می‌یابد (SRCC, 2004:35).

$K_{\tau\alpha} = \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}$	(۷)
--	-----

تست بیشتر، تعدیل‌کننده زاویه برخورد را به عنوان تابعی از زاویه برخورد θ تعیین می‌کند. این رابطه می‌تواند برای یک همبستگی خطی مرتبه اول مناسب باشد:

$$K_{\tau\alpha} = 1 + b_0 \left(\frac{1}{\cos\theta} - 1 \right) \quad (۸)$$

یا یک همبستگی درجه دوم، مرتبه دوم:

$$K_{\tau\alpha} = 1 + b_0 \left(\frac{1}{\cos\theta} - 1 \right) + b_1 \left(\frac{1}{\cos\theta} - 1 \right)^2 \quad (۹)$$

ضرایب تعدیل‌کننده زاویه برخورد b_0 و b_1 معمولاً منفی هستند، اگرچه برخی از کلکتورها مقدار b_0 مثبت دارند. هر دو ضرایب معادله تعدیل‌کننده زاویه برخورد مرتبه اول و دوم در فهرست راهنمای SRCC تایید شده رتبه‌بندی‌های کلکتور خورشیدی فهرست شده‌اند. ضرایب معادله تعدیل‌کننده زاویه برخورد SRCC فقط برای زوایای برخورد ۶۰ درجه یا کمتر معتبر هستند. از آنجایی که این منحنی‌ها می‌توانند معتبر باشند و در عین حال برای زوایای بزرگ‌تر از ۶۰ درجه ضعیف عمل کنند، مدل انرژی مضاعف (EnergyPlus) بهره‌های جمع‌کننده را برای زوایای برخورد بزرگ‌تر از ۶۰ درجه قطع می‌کند (SRCC, 2004:38). برای کلکتورهای صفحه تخت، تعدیل‌کننده زاویه برخورد بطور کلی متقارن است. باین‌حال، برای کلکتورهای لوله‌ای، تعدیل‌کننده زاویه برخورد بسته به اینکه آیا زاویه برخورد موازی یا عمود بر لوله‌ها است، متفاوت است. این‌ها تعدیل‌کننده‌های دو محوری نامیده می‌شوند. برخی از کلکتورهای صفحه تخت خاص نیز ممکن است این عدم تقارن را نشان دهند. مدل فعلی هنوز نمی‌تواند دو مجموعه از تعدیل‌کننده‌های زاویه برخورد را مدیریت کند. در ضمن، توصیه می‌شود که کلکتورهای لوله‌ای با توجه به استفاده از همبستگی موازی یا عمودی، تقریبی باشند. تعدیل‌کننده‌های زاویه برخورد به طور جداگانه برای تابش خورشید، آسمان و زمین محاسبه می‌شوند. تعدیل‌کننده خالص زاویه تابش برای تمام تابش‌های برخوردی با وزن کردن هر جزء توسط تعدیل‌کننده مربوطه محاسبه می‌شود (SRCC, 2004:36).

$$K_{\tau\alpha.net} = \frac{I_{beam}K_{\tau\alpha.beam} + I_{sky}K_{\tau\alpha.sky} + I_{gnd}K_{\tau\alpha.sky}}{I_{beam} + I_{sky} + I_{gnd}} \quad (۱۰)$$

برای تابش آسمان و زمین، زاویه برخورد با استفاده از معادلات بکمن^۱ تقریب می‌شوند (دافی، بکمن^۲، ۱۹۹۱:

۱۲۱).

$$\theta_{ground} = 90.0 - 0.5788\phi + 0.002693\phi^2 \quad (۱۱)$$

^۱ Beckman

^۲ Duffie, Beckman

$$\theta_{sky} = 59.68 - 0.1388\phi + 0.001497\phi^2 \quad (12)$$

که Φ شیب سطح بر حسب درجه است.

سپس تعدیل کننده زاویه برخورد خالص در معادله افزایش گرمای مفید (۳) وارد می شود:

$$\frac{q}{A} = F_R [I_{solar} K_{\tau\alpha.net}(\tau\alpha)_n - U_L(T_{in} - T_{air})] \quad (13)$$

معادله (۴) نیز بر طبق آن تعدیل می شود.

$$\eta = F_R K_{\tau\alpha.net}(\tau\alpha)_n - F_R U_L \frac{(T_{in} - T_{air})}{I_{solar}} \quad (14)$$

دمای خروجی

دمای خروجی با استفاده از افزایش گرمای مفید q توسط معادله (۱۳) محاسبه می شود، که دمای سیال ورودی T_{in}

و سرعت جریان جرمی از طریق دستگاه شبیه سازی قابل دسترسی هستند (اشرای، ۱۹۹۱: ۴۸).

$$\frac{q}{A} = mc_p(T_{out} - T_{in}) \quad (15)$$

که

\dot{m} = سرعت جریان جرم سیال از طریق کلکتور

c_p = گرمای ویژه سیال عامل

با حل برای T_{out} ،

$$T_{out} = T_{in} + \frac{q}{mc_p A} \quad (16)$$

اگر هیچ جریانی در کلکتور نباشد، T_{out} دمای رکود سیال است. این با قرار دادن سمت چپ معادله (۱۳) برابر

صفر و حل T_{in} (که همچنین برابر با T_{out} برای حالت بدون جریان است) محاسبه می شود.

کلکتورهای خورشیدی فتوولتائی-حرارتی صفحه تخت

کلکتورهای خورشیدی فتوولتائی-حرارتی (PVT) سلول های الکتریکی خورشیدی و سیال عامل حرارتی را برای

جمع آوری هم برق و هم گرما ترکیب می کنند. اگرچه در حال حاضر محصولات تجاری نسبتاً کمی وجود دارد، اما

تحقیقات PVT در طول ۳۰ سال گذشته انجام شده و انواع مختلفی از کلکتورها مورد مطالعه قرار گرفته است.

زونداگ^۱ (۲۰۰۸) و چارالامبوس^۲ و همکارانش (۲۰۰۷) مقالات مروری در مورد PVT ارائه دادند (زندگ، ۲۰۰۸:

۴۳ و چارالامبوس، ۲۰۰۷: ۲۷۶). از آنجایی که PVT از نظر تجاری رشد بسیار کمتری دارد، هیچ استاندارد یا سیستم

رتبه بندی مانند کلکتورهای فقط حرارتی و آب گرم وجود ندارد. انرژی مضعف (EnergyPlus) در حال حاضر یک

مدل ساده بر اساس کارایی های تعریف شده توسط کاربر دارد، اما یک مدل دقیق تر بر اساس اصول اولیه و یک

توضیح دقیق لایه به لایه در دست توسعه است. مدل های PVT از مدل های PV برای تولید برق استفاده مجدد می کنند

(اشرای، ۱۹۹۱: ۴۹).

مدل حرارتی PVT ساده

¹ Zondag

² Charalambous

ماده ورودی کلکتور خورشیدی: صفحه تخت: فوتولتانی حرارتی یک مدل PVT ساده را فراهم می‌کند که برای استفاده سریع در طول طراحی یا خط مشی مطالعات ارائه می‌شود. کاربرد به سادگی مقادیری را برای یک بازه حرارتی فراهم می‌کند و برخورد خورشیدی سیال عامل را گرم می‌کند. این مدل همچنین شامل یک حالت خنک‌کننده برای سیستم‌های مبتنی بر هوا است که در آن از یک تابش سطحی فراهم شده توسط کاربر برای مدل‌سازی خنک‌سازی سیال عامل در آسمان شب استفاده می‌شود (خنک‌کننده مبتنی بر آب زمانی عملی می‌شود که مخزن ذخیره آب سرد در دسترس باشد). هیچ جزئیات دیگری از ساخت جمع‌کننده PVT به عنوان داده ورودی مورد نیاز نیست. مدل ساده می‌تواند هوا یا مایع را گرم کند. اگر هوا را گرم کند، آنگاه PVT بخشی از حلقه سیستم هوای HVAC با گره‌های هوا متصل به یک سیستم هوا است. اگر مایع را گرم کند، آنگاه PVT بخشی از حلقه دستگاه با گره‌های متصل به یک حلقه دستگاه است و طرح عملیاتی دستگاه جریان‌ها را تعیین می‌کند.

مدل‌سازی PVT مبتنی بر سیستم هوا شامل یک آرایش عایق تعدیل‌کننده فرعی است. منطق کنترل تصمیم می‌گیرد که آیا هوا باید از کنار کلکتور برای بدست آوردن نقطه تنظیم بهتر عبور کند یا خیر. این مدل به یک نقطه تنظیم دمایی حساب خشک نیاز دارد که روی گره خروجی قرار گیرد. این مدل فرض می‌کند زمانی که برخورد خورشیدی بیشتر از $0/3$ ولت بر متر مربع باشد کلکتور برای گرم کردن در نظر گرفته شده و در دسترس است و در غیر این صورت برای خنک کردن در نظر گرفته می‌شود. دمایی ورودی با نقطه تنظیم در گره خروجی مقایسه می‌شود تا مشخص شود سرمایش یا گرمایش مفید است یا خیر. اگر آنها مفید هستند، آنگاه مدل‌های حرارتی PVT برای تهیه جریان هوا اعمال می‌شوند. اگر آنها مفید نباشند، آنگاه PVT به طور کامل کنار گذاشته می‌شود و گره ورودی مستقیماً به گره خروجی منتقل می‌شود تا کاملاً آرایش عایق تعدیل‌کننده فرعی شده مدل‌سازی کند. PVT مبتنی بر دستگاه شامل یک گذر فرعی نمی‌شود (اگرچه می‌توان از آن در حلقه دستگاه استفاده کرد). کلکتور طراحی سرعت جریان خود را می‌خواهد اما در غیر این صورت برای کنترل به حلقه دستگاه بزرگتر متکی می‌شود. هنگامی که کلکتور حرارتی PVT در حالت گرمایش روشن است و سیال عامل جریان دارد، مدل دمایی خروجی را بر اساس دمایی ورودی و گرمای جمع‌آوری شده، با استفاده از معادلات زیر محاسبه می‌کند

$$Q_{therm} = A_{surf} \cdot f_{active} \cdot G_T \cdot \eta_{thermal} \quad (17)$$

Q_{therm} انرژی حرارتی جمع‌آوری شده [W] است

A_{surf} مساحت سطح خالص [m^2] است

f_{active} کسر هوای سطح با جمع‌کننده PV/T فعال است و

$\eta_{thermal}$ راندمان تبدیل حرارتی است.

$$T_{out} = \quad (18)$$

$$T_{in} + \frac{Q_{therm}}{m c_p}$$

که،

T_{out} دمایی سیال عامل است که از PV/T خارج می‌شود

T_{in} دمایی سیال عامل است که وارد PV/T می‌شود.

\dot{m} کل جریان جرمی سیال عامل عبور کننده از PV/T است

C_p گرمای ویژه سیال عامل است.

برای سیستم‌های مبتنی بر هوا، مقدار T_{out} سپس با نقطه تنظیم دما در گره خروجی مقایسه می‌شود. اگر T_{out} بیش از دمای خروجی مورد نظر باشد، $T_{set,out}$ ، آنگاه یک کسر گذر فرعی برای مدل‌سازی یک عایق تعدیل‌کننده فرعی با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$f_{bypass} = \frac{(T_{set,out} - T_{out})}{(T_{in} + T_{out})} \quad (19)$$

هنگامی که کنترل جمع‌کننده حرارتی PV/T در حالت خنک‌کننده روشن است و سیال عامل جریان دارد، مدل دمای خروجی را بر اساس دمای ورودی و گرمای تابش شده و انتقال یافته به محیط با استفاده از تعادل حرارتی در سطح خارجی کلکتور محاسبه می‌کند:

$$mC_p(T_{in} + T_{out}) = Q_{LWR} + Q_{conv} \quad (20)$$

که،

Q_{LWR} سرعت خالص تبادل تابش طول موج بلند (حرارتی) با هوا، آسمان شب و زمین است. برای بحث کامل در مورد نحوه مدل‌سازی آن در مدل انرژی مضاعف با استفاده از ضرایب تابش خطی شده، به بخش «تابش امواج بلند خارجی» در تعادل حرارتی سطح بیرونی، مراجعه کنید.

Q_{conv} سرعت خالص تبادل شار همرفتی با هوای بیرون است. برای بحث کامل در مورد نحوه مدل‌سازی آن در مدل انرژی مضاعف، بخش «همرفت بیرونی/خارجی» را در تراز حرارتی سطح بیرونی ببینید. سختی سطح "بسیار صاف" فرض می‌شود.

مدل ساده فرض می‌کند که دمای مؤثر کلکتور، T_{col} میانگین دماهای ورودی و خروجی سیال عامل است، بنابراین ما می‌توانیم جایگزینی زیر را انجام دهیم:

$$T_{out} = 2T_{col} - T_{in} \quad (21)$$

با جایگزینی و حل برای T_{col} ، ما مدل زیر را برای دمای کلکتور در طول یک فرآیند خنک‌سازی (احتمالی) بدست آوردیم:

$$T_{col} = \frac{2mC_p T_{in} + A_{surf} f_{activ} (h_r.gnd T_{gnd} + h_r.sky T_{sky} + h_r.air T_{air} + h_c.ext T_{air})}{2mC_p + A_{surf} f_{activ} (h_r.gnd + h_r.sky + h_r.air + h_c.ext)} \quad (22)$$

سپس دمای خروجی را می‌توان محاسبه کرد و تلفات حرارتی را تعیین کرد. با این حال، این مدل فقط اجازه خنک‌سازی معقول جریان هوا را می‌دهد و دمای خروجی را محدود می‌کند تا از دمای نقطه شبنم ورودی کمتر نشود.

کلکتورهای PVT دارای سرعت جریان حجمی طراحی شده برای سیال عامل هستند که قابلیت اندازه‌گیری خودکار را دارند. برای سیستم‌های مبتنی بر هوا که به‌عنوان پیش‌تهویه‌کننده‌ها استفاده می‌شوند، سرعت جریان حجمی به گونه‌ای اندازه‌گیری می‌شود که حداکثر سرعت جریان هوای بیرون را برآورده کند. برای سیستم‌های مبتنی بر آب در طرف منبع یک حلقه دستگاہ، هر یک از کلکتورهای PVT برحسب سرعت جریان کلی حلقه اندازه می‌شوند. برای سیستم‌های مبتنی بر آب در سمت نیاز یک حلقه دستگاہ، کلکتورها با استفاده از یک حساب سرانگشتی (حساب تخمینی) برای سرعت جریان معمولی بر واحد مساحت سطح جمع‌کننده اندازه‌گیری می‌شوند.

این قانون سرانگشتی مبتنی بر یک عامل ثابت $5-10 \times 1/905$ متر مکعب بر ثانیه در مترمربع ($m^3/s-m^2$) است که با آنالیز مجموعه داده‌های SRCC برای کلکتورهای خورشیدی معمولی (به مجموعه داده‌های Solar Collectors.idf مراجعه کنید) و میانگین نسبت برای همه ۱۷۱ مورد کلکتورهای مختلف ایجاد شده است.

منطقه مورد مطالعه

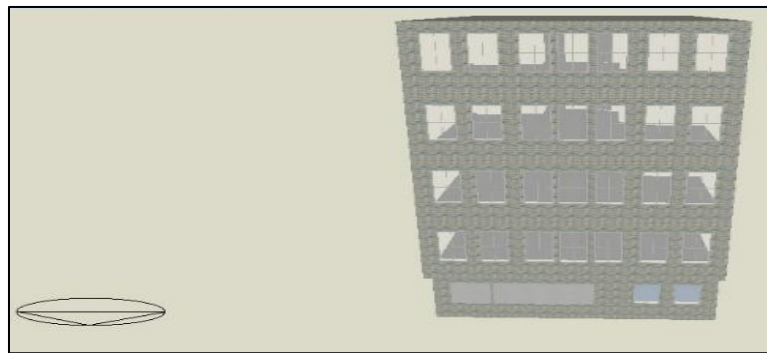
تهران پرجمعیت‌ترین شهر و پایتخت ایران، مرکز استان تهران و شهرستان تهران است. این شهر در برآورد سال ۱۴۰۱ بالغ بر ۹,۰۳۹,۰۰۰ تن جمعیت داشته‌است و براساس برآورد سال ۲۰۱۸ سازمان ملل متحد، سی و چهارمین شهر پرجمعیت جهان و پرجمعیت‌ترین شهر باختر آسیا می‌باشد. کلان‌شهر تهران نیز دومین کلان‌شهر پرجمعیت خاورمیانه است. تهران در پهنه‌ای بین دو وادی کوه و کویر و در دامنه‌های جنوبی البرز گسترده شده‌است و ۷۳۰ کیلومتر مربع مساحت دارد. از نظر جغرافیایی نیز در ۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه طول خاوری و ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. گستره کنونی تهران از ارتفاع ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متری از سطح دریا امتداد یافته‌است؛ این ارتفاع از شمال به جنوب کاهش می‌یابد. از دید ناهمواری‌های طبیعی، تهران به دو ناحیه کوهپایه‌ای و دشتی تقسیم می‌شود. از کوهپایه‌های البرز تا جنوب شهر ری، تپه‌های کوچک و بزرگ پرشماری وجود دارند. پاره‌ای از اطلاعات مهم هواشناسی شمال شهرستان تهران در جدول ۱ ارائه شده است (ویکی‌پدیا، ۱۴۰۲).

جدول ۱. داده‌های اقلیم تهران (سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۹۸)

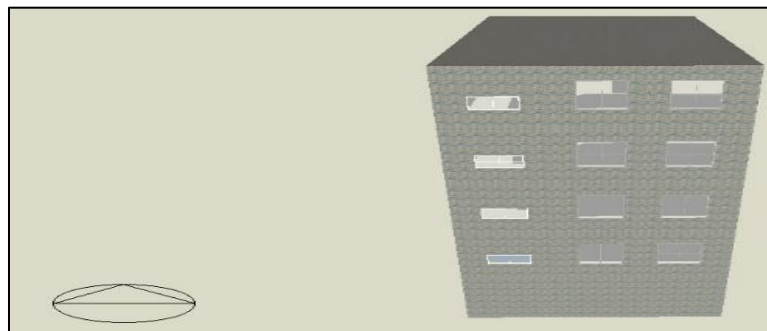
داده‌های اقلیم تهران (شمال)، بلندی: ۱۵۴۸٫۲ متر، ۱۹۸۸ - ۲۰۰۵													
سال	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اوت	ژوئیه	ژوئن	مه	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	ماه
سابقه بیش‌ترین °C (°F)	۱۹٫۰ (۶۶)	۲۳٫۰ (۷۳)	۳۱٫۲ (۸۸)	۳۵٫۶ (۹۶)	۳۹٫۴ (۱۰۳)	۳۹٫۸ (۱۰۴)	۳۷٫۸ (۱۰۰)	۳۳٫۶ (۹۲)	۳۰٫۶ (۸۷)	۲۳٫۸ (۷۵)	۱۹٫۰ (۶۶)	۱۶٫۴ (۶۲)	سابقه بیش‌ترین °C (°F)
میانگین بیش‌ترین °C (°F)	۸٫۶ (۴۷)	۱۴٫۳ (۵۸)	۲۲٫۴ (۷۲)	۲۹٫۳ (۸۵)	۳۳٫۵ (۹۲)	۳۳٫۹ (۹۳)	۳۱٫۲ (۸۸)	۲۵٫۰ (۷۷)	۱۹٫۸ (۶۸)	۱۲٫۹ (۵۵)	۸٫۱ (۴۷)	۶٫۱ (۴۳)	میانگین بیش‌ترین °C (°F)
میانگین کم‌ترین °C (°F)	۱٫۰ (۳۴)	۵٫۴ (۴۲)	۱۱٫۶ (۵۳)	۱۷٫۵ (۶۴)	۲۱٫۹ (۷۱)	۲۲٫۶ (۷۳)	۱۹٫۶ (۶۷)	۱۴ (۵۷)	۹٫۸ (۵۰)	۴٫۰ (۳۹)	-۰٫۲ (۳۲)	-۱٫۵ (۲۹)	میانگین کم‌ترین °C (°F)
سابقه کم‌ترین °C (°F)	-۱۱٫۴ (۱۱)	-۹٫۶ (۱۵)	-۵٫۲ (۲۳)	۲٫۶ (۳۷)	۸٫۸ (۴۸)	۱۳٫۵ (۵۶)	۱۵٫۴ (۶۰)	۳٫۰ (۳۷)	-۱٫۶ (۲۹)	-۸٫۰ (۱۸)	-۱۱٫۰ (۱۲)	-۱۱٫۴ (۱۱)	سابقه کم‌ترین °C (°F)
بارندگی میلی‌متر (اینچ)	۶۶٫۳ (۲٫۶۱)	۴۱٫۳ (۱٫۶۳)	۱۶٫۵ (۰٫۶۵)	۳٫۴ (۰٫۱۳)	۳٫۲ (۰٫۱۳)	۴٫۲ (۰٫۱۷)	۴٫۰ (۰٫۱۶)	۲۷٫۱ (۱٫۰۷)	۵۰٫۱ (۱٫۹۷)	۸۳٫۳ (۳٫۲۸)	۶۶٫۵ (۲٫۶۲)	۶۳٫۱ (۲٫۴۸)	بارندگی میلی‌متر (اینچ)
میانگین روزهای بارانی	۱۰٫۷	۸٫۶	۵٫۸	۱٫۳	۱٫۶	۳٫۴	۳٫۳	۸٫۹	۱۰٫۰	۱۲٫۳	۱۰٫۹	۱۲٫۳	میانگین روزهای بارانی
میانگین روزهای برفی	۲۳٫۷	۴٫۹	۰٫۶	۰	۰	۰	۰	۰٫۱	۰٫۱	۲٫۵	۶٫۶	۸٫۹	میانگین روزهای برفی

درصد رطوبت	۶۷	۵۹	۵۳	۴۴	۳۹	۳۰	۳۱	۳۱	۳۳	۴۴	۵۷	۶۶	۴۶،۲
میانگین روزانه ساعت‌های تابش آفتاب	۱۳۷،۲	۱۵۱،۱	۱۸۶،۰	۲۱۹،۱	۲۷۹،۸	۳۲۸،۷	۳۳۶،۶	۳۳۶،۸	۳۰۰،۵	۲۴۶،۸	۱۶۹،۴	۱۳۴،۱	۲۰۸۲۶،۱

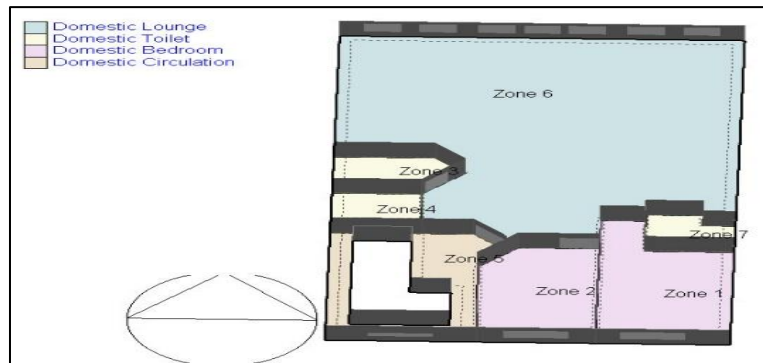
ساختمان مورد مطالعه در این تحقیق یک ساختمان پنج طبقه در منطقه نزدیک به شمال شهر تهران و شامل یک پارکینگ در طبقه همکف و چهار طبقه مسکونی با پلان معماری تیپ و هر طبقه دارای ۷ زون گرمایی می باشد. مساحت کل بنای ساختمان ۷۵۰ متر مربع و مساحت هر طبقه ۱۵۰ متر مربع می باشد. درب اتاقها به ارتفاع ۲/۲ متر و عرض ۰/۸ متر بوده و کلیه پنجره های نمای شمالی به ابعاد ۱/۷ متر (ارتفاع) در ۰/۹ متر (عرض) و پنجره های نمای جنوبی به ابعاد ۱/۵ متر (ارتفاع) در ۱/۶ متر (عرض) و ۰/۷ متر (ارتفاع) در ۱/۶ متر (عرض) هستند. یک راه پله اصلی روبه روی در اصلی جهت ارتباط طبقات در نظر گرفته شده اند. ارتفاع کف تا کف طبقات ۳ متر و ارتفاع کف تا سقف اتاقها ۲/۶۵ متر می باشد. شکل های ۲ تا ۴ به ترتیب نمای شمالی، جنوبی و پلان طبقات تیپ ساختمان نمونه مورد مطالعه را نشان می دهند.



شکل ۲. نمای شمالی ساختمان (منبع: یافته های پژوهش)

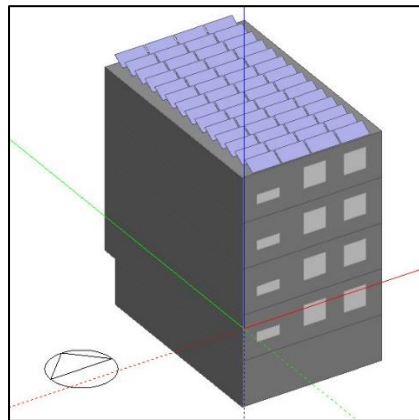


شکل ۳. نمای جنوبی ساختمان (منبع: یافته های پژوهش)



شکل ۴. پلان طبقات تیپ ساختمان مورد مطالعه و زون های گرمایی (منبع: یافته های پژوهش)

در حالت استفاده از پنل های خورشیدی بر روی پشت بام از ۵۶ عدد پنل ۲ در ۱ متری که به صورت ۱۴ ردیف ۴ تایی آرایش یافته اند استفاده می شود. ضخامت پنل ها ۲.۵ سانتیمتر و بازده سلول های خورشیدی ۱۵ درصد می باشد که در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵. استفاده از پنل های خورشیدی بر روی پشت بام ساختمان (منبع: یافته های پژوهش)

مشخصات لایه های تشکیل دهنده دیوارهای خارجی، داخلی، کف طبقات، کف متصل به خاک و پشت بام ساختمان نمونه با مصالح متداول در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. لایه های تشکیل دهنده اجزای ساختمان نمونه با مصالح متداول

اجزای ساختمان	لایه ها (خارج به داخل)	ضخامت cm	ضریب هدایت گرمایی w/m-k	گرمای ویژه j/kg-k	چگالی Kg/m ³
دیوار بیرونی	سنگ مرمر	۲	۳/۵	۱۰۰۰	۲۸۰۰
	ماسه سیمان	۳	۱	۹۲۰	۱۶۰۰
دیوار داخلی	بلوک AAC	۱۵	۰/۱۱	۸۹۶	۲۸۰۰
	گچ و خاک	۲/۵	۱/۱	۹۶۰	۱۵۰۰
	گچ سفید	۱	۰/۵۷	۱۰۹۰	۱۳۰۰
	گچ سفید	۱	۰/۵۷	۱۰۹۰	۱۳۰۰
	گچ و خاک	۲/۵	۱/۱	۹۶۰	۱۵۰۰
	بلوک AAC	۱۵	۰/۱۱	۸۹۶	۲۸۰۰
	گچ و خاک	۲/۵	۱/۱	۹۶۰	۱۵۰۰
	گچ سفید	۱	۰/۵۷	۱۰۹۰	۱۳۰۰

۵۵۰	۱۳۵۰	۰/۱۴	۰/۸	پارکت	کف طبقات
۵۰	۱۴۰۰	۰/۳۲	۰/۵	عایق الاستومر	
۳۸	۱۴۷۰	۰/۱	۰/۲	فوم ورقی	
۱۶۰۰	۹۲۰	۱	۳	ماسه سیمان	
۱۲۰۰	۱۰۰۰	۰/۵۲	۴	پوکه (بتن سبک)	
۲۲۰۰	۱۰۰۰	۱/۵	۲۰	بتن سقف	
۱۵۰۰	۹۶۰	۱/۱	۲/۵	گچ و خاک	
۱۳۰۰	۱۰۹۰	۰/۵۷	۱	گچ سفید	
۲۲۵۰	۱۰۰۰	۰/۰۱۷	۲	ایزوگام	سقف طبقه
۱۶۰۰	۹۲۰	۱	۳	ماسه سیمان	آخر
۱۲۰۰	۱۰۰۰	۰/۵۲	۴	پوکه (بتن سبک)	
۵۰	۱۴۰۰	۰/۳۲	۰/۵	عایق الاستومر	
۲۲۰۰	۱۰۰۰	۱/۵	۲۰	بتن	
۱۵۰۰	۹۶۰	۱/۱	۲/۵	گچ و خاک	
۱۳۰۰	۱۰۹۰	۰/۵۷	۱	گچ سفید	
۲۸۰۰	۱۰۰۰	۳/۵	۳	سنگ مرمر	کف همکف
۱۶۰۰	۹۲۰	۱	۳	ماسه سیمان	
۱۲۰۰	۱۰۰۰	۰/۵۲	۱۰	پوکه (بتن سبک)	
۲۲۰۰	۱۰۰۰	۱/۵	۷۵	بتن	

(منبع: اشراي، ۲۰۱۳)

مشخصات کاربری ساختمان

با توجه به اینکه کاربری ساختمان مورد مطالعه مسکونی می باشد، برای جداول و مقادیر مرتبط با نوع کاربری ساختمان از استاندارد Ashrae 90.1 2013 استفاده شده است. مطابق این استاندارد تراکم افراد در ساختمان ۱۳/۹۳ مترمربع به ازای هر نفر، شدت روشنایی ۱۰/۷۶ وات بر متر مربع فضا، مصرف برق برای تولید آب گرم ۳۱/۰۶ وات به ازای هر نفر، مصرف سایر تجهیزات الکتریکی ۸/۶۱ وات بر متر مربع فضا، مصرف تجهیزات گازسوز ۰/۱۲۶ وات بر متر مربع فضا، دفعات تعویض هوا بر ساعت ۱/۲۵، میزان هوای تازه ورودی $0.1 m^3/s$ برای هر نفر در نظر گرفته شده است. برای سرمایش فضاهای ساختمان مورد مطالعه در حالت مینا از سیستم سرمایش انبساط مستقیم دو تکه (کولر گازی اسپلیت) (Direct Expansion Split Unit)، با $COP=3.3$ استفاده شده است. برای گرمایش نیز از دیگ آبگرم با ضریب حرارتی نامی ۰.۸ و سیستم پایانه ای رادیاتور آبگرم در داخل فضاها استفاده شده است.

با توجه به اینکه ساختمان ها از بزرگ ترین مصرف کنندگان انرژی در جهان محسوب می شوند. لذا به منظور کاهش اتلاف انرژی در ساختمان ها، نیازمند شناخت و اصلاح رفتار آن ها به واسطه شبیه سازی انرژی هستیم. در صورت تأیید کارایی سیستم مورد نظر و استفاده گسترده و واقعی از همین سیستم در منازل مسکونی (و حتی اداری و تجاری) شهر، می توان امیدوار بود که بهره برداری از پتانسیل خورشیدی که هم منحصر به فرد و هم دست نخورده است، نه تنها به بهبود ترکیب کل منابع انرژی کمک می نماید، بلکه انتشار گازهای مضر و گلخانه ای را نیز کاهش می دهد. لذا با ترکیب ملاحظات محیطی، اقتصادی و فنی در برنامه ریزی های انرژی می توان از فناوری های در حال

رشد منابع انرژی تجدیدپذیر که در سراسر دنیا هم مورد استفاده قرار گرفته است بهره مند گردیده و دستیابی به اهداف توسعه پایدار و برنامه ریزی ملی و منطقه ای را تسهیل نمود.

یافته‌ها و نتایج شبیه سازی

نتایج شبیه سازی ساختمان مسکونی نمونه در حالت مبنا

پس از اجرای نرم افزار و شبیه سازی انرژی سالانه، نتایج طبق جدول ۱ برای ساختمان مسکونی مورد مطالعه در شهر تهران در حالت مبنا به دست می آید.

جدول ۱. انرژی مصرفی سالانه ساختمان نمونه در حالت مبنا

انرژی مصرفی سالانه کل ساختمان (kwh)	۷۱۱۶۲.۴۶
انرژی الکتریکی مصرفی کل سالانه (kwh)	۳۵۶۷۲.۱۶
انرژی گاز مصرفی کل سالانه (kwh)	۳۵۴۹۰.۲۹

(منبع: یافته های پژوهش)

شبیه سازی ساختمان مسکونی نمونه دارای پنل های خورشیدی (فتوولتائیک)

در این حالت پس از اجرای سیستم تولید برق فتوولتائیک بر روی سطح بام، مطابق مشخصات ذکر شده در (مشخصات ساختاری ساختمان)، با اجرای نرم افزار و شبیه سازی انرژی سالانه، نتایج طبق جدول ۲ برای ساختمان مسکونی مورد مطالعه در شهر تهران به دست می آید.

جدول ۲. مقایسه انرژی مصرفی ساختمان در حالت مبنا و ساختمان نمونه دارای پنل های خورشیدی

نوع گزارش	شبیه سازی ساختمان در حالت مبنا	شبیه سازی ساختمان دارای پنل های خورشیدی (فتوولتائیک)	میزان کاهش (افزایش) انرژی
انرژی خالص مصرفی سالانه کل ساختمان (kwh)	۷۱۱۶۲.۴۶	۴۰۹۸۱.۰۹	۳۰۱۸۱.۳۷ (kwh)
			۴۲.۴۱ درصد
انرژی خالص مصرفی الکتریکی کل سالانه (kwh)	۳۵۶۷۲.۱۶	۴۷۱۶.۱۱	۳۰۹۵۶.۰۵ (kwh)
			۸۶.۷۸ درصد
انرژی خالص گاز مصرفی سالانه کل (kwh)	۳۵۴۹۰.۲۹	۳۶۲۶۴.۹۹	(۷۷۴.۷۰) (kwh)
			۲.۱۸ درصد

(منبع: یافته های پژوهش)

با اجرای نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک بر روی پشت بام ساختمان مورد مطالعه و استفاده از برق خورشیدی تولیدی جهت تامین انرژی ساختمان، کاهش ۸۶.۷۸ و ۴۲.۴۱ درصدی به ترتیب در انرژی الکتریکی و انرژی کل سالانه نسبت به حالت مبنا مشاهده می شود.

آنالیز اقتصادی احداث نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک

هزینه احداث نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک بر روی پشت بام ساختمان مدل با شرایط درج شده در بخش

مشخصات ساختمان مدل در شهر تهران و با استعلام از شرکت های مجری مربوطه در تهران با فرض دلار ۲۸۰۰۰۰ ریال مبلغی بالغ بر ۳ میلیارد ریال می باشد. سود سالانه ناشی از صرفه جویی انرژی برق با قیمت میانگین هر کیلو وات ساعت ۸۷۵ ریال بر طبق مصوبه تعرفه های برق و شرایط عمومی آنها (مستند صدور مصوبه: بر اساس مصوبات شماره ۱۷۶۳۲۷/ت/۵۵۸۳۰ مورخ ۱۳۹۷/۱۲/۲۷ و شماره ۲۰۲۰۵/ت/۵۶۶۳۹ مورخ ۱۳۹۸/۰۲/۲۴ و شماره ۳۲۲۴/ت/۵۷۵۶۸ مورخ ۱۳۹۹/۰۱/۱۹ و شماره ۶۲۴۲۴/ت/۵۷۹۶۸ مورخ ۱۳۹۹/۰۶/۰۴ و شماره ۸۲۳۵۷/ت/۵۷۴۶۷ مورخ ۱۳۹۹/۰۷/۲۰ هیئت محترم وزیران) می باشد.

سود ناشی از میزان صرفه جویی انرژی الکتریسیته در طول یک سال طبق جدول شماره ۳ می باشد.

جدول ۳. میزان صرفه جویی انرژی در طول یک سال

میزان صرفه جویی انرژی (KWh)	قیمت واحد انرژی (ریال)	قیمت کل (ریال)
۳۰۹۵۵.۹	۸۷۵	۲۷۰۸۶۴۱۲

(منبع: یافته های پژوهش)

برآورد زمان بازگشت سرمایه با توجه به مقدار صرفه جویی در انرژی

با توجه به هزینه اجرا پنل های خورشیدی و مقدار سود حاصل از صرفه جویی انرژی، مدت زمان توجیح پذیر بازگشت سرمایه حتی با فرض تورم ثابت بیش از ۱۰۰ سال می باشد که نشان دهنده غیر اقتصادی بودن احداث نیروگاه خورشیدی می باشد.

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که با اجرای یک نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک بر روی پشت بام یک ساختمان فرضی شبیه سازی شده و استفاده از برق خورشیدی تولیدی جهت تامین انرژی این ساختمان، کاهش ۸۶.۷۸ و ۴۲.۴۱ درصدی به ترتیب در انرژی الکتریکی و انرژی کل سالیانه نسبت به حالت مبنا قابل دستیابی است. اگرچه استفاده از پنل های خورشیدی پشت بامی به علت ایجاد مانع بر تابش نور خورشید بر سطح پشت بام، باعث افزایش انرژی گاز مصرفی جهت ایجاد گرمایش ساختمان در زمستان به میزان ۲.۱۸ درصد نسبت به حالت مبنا می شود اما با توجه به کاهش مصرف انرژی کل قابل چشم پوشی می باشد. با توجه به آنالیز اقتصادی صورت گرفته استفاده از نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک توجیح اقتصادی برای کارفرمایان، سازندگان و بهره برداران حتی بدون در نظر گرفتن هزینه های مرتبط به بازسازی ندارد. از دلایل غیر اقتصادی بودن نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک می توان به افزایش شدید قیمت دلار که ارتباط مستقیمی با احداث آن دارد و نیز تعرفه پایین برق در ایران اشاره کرد. البته با علم بر غیر اقتصادی بودن احداث نیروگاه خورشیدی نباید کاهش ۸۶.۷۸ درصدی برق را نادیده گرفت که چنین صرفه جویی در مصرف انرژی به رفع کامل کمبود مشکل برق در ماه های گرم سال و نیز کمک شایان به محیط زیست به دلیل استفاده کمتر از منابع فسیلی برای تولید برق و همچنین کمک به اقتصاد کشور با صرفه جویی و توان صادرات بیشتر اشاره کرد.

با صرف نظر از موقعیت مکانی مورد مطالعه در این تحقیق، یافته این پژوهش نیز به نوعی با سایر مطالعات انجام گرفته در این حوزه هم پوشانی دارد. فیاضی و موسوی (۱۳۹۲) در مطالعه ای به ارزیابی اقتصادی استفاده از نیروگاه

خورشیدی (فتولتاییک) به منظور تأمین برق روستاهای شهرستان کهگیلویه پرداخته و نتیجه گیری نموده اند که علیرغم هزینه بالای اولیه سرمایه گذاری، به دلیل عدم نیاز به هزینه های سرمایه گذاری متغیر، نیاز به تعمیرات کمتر و یارانه های بخش انرژیهای تجدیدپذیر، در طول دوره استفاده، هزینه واحد کمتری نسبت به هزینه های نیروگاههای دیگر در گسترش شبکه برق دارد (فاضل پور و همکاران، ۲۰۱۴). در مطالعه دیگری به منظور تأمین برق یک هتل متوسط با ۲۵ اتاق در جزیره کیش و مصرف سالانه ۲۶۲۸۰۰۰ کیلووات ساعت انرژی الکتریکی یک سامانه تولید انرژی هیبرید باد و دیزل با سیستم ذخیره سازی باتری را پیشنهاد نمودند. نجفی و خانعلی (۱۳۹۶) در مطالعه دیگری به طراحی یک سیستم مستقل از شبکه برای تأمین انرژی منزل مسکونی در شهر کرج اقدام نموده و نتیجه گیری نموده اند که اجرای این سیستم دارای هزینه ای معادل ۱۰۳۷۰۰۰۰۰ ریال بوده و سالانه به طور متوسط ۵۵۰ کیلو گرم از تولید دی اکسید کربن جلوگیری می نماید. میر غیائی، قنبری (۱۴۰۰) در مطالعه ای به ارزیابی اقتصادی سیستم فتولتائیک خانگی متصل به شبکه در یک مجتمع مسکونی واقع در منطقه ۲ شهر تهران، اقدام نموده و با محاسبه تعدادی از شاخص های مالی و حسابداری نتیجه گرفته اند که تمامی معیارهای اقتصادی جهت اجرای سیستم فتولتائیک با تحلیل سناریوهای تأمین اعتبارات مالی، توجیه پذیر است.

با بررسی های به عمل آمده و مقایسه نتیجه این تحقیق با سایر تحقیقات میتوان به این نتیجه رسید که در اغلب تحقیقاتی که تا قبل از آبان ماه سال ۹۲ انجام شده است، استفاده از سیستم های فتولتائیک منفصل از شبکه همانند این مطالعه، توجیه اقتصادی ندارند اما سیستم های متصل به شبکه با توجه به تغییر تعرفه خرید برق تجدید پذیر شرایط بهتری جهت کاهش دوره بازگشت سرمایه دارند. لذا استفاده از انرژی خورشیدی مخصوصا سیستم های فتولتائیک متصل به شبکه در شهرهای مستعد دریافت انرژی خورشیدی کشور، با کاهش منابع فسیلی راهکار مناسبی جهت کاهش گازهای گلخانه ای می باشد. اما توجه به هزینه بالای اولیه احداث نیروگاههای فتولتائیک، احداث این سیستم ها و یا نیروگاههای بزرگتر در مناطق مستعد دریافت انرژی خورشیدی و مناطق پرجمعیت کشور توجیه پذیری اقتصادی بیشتری خواهد داشت. لذا نویسندگان این مقاله قویا توصیه می کنند که در ازای پرداخت یارانه برای کاهش هزینه های مصرف کنندگان برق اقدام به پرداخت یارانه برای کمک به کاهش هزینه ی احداث نیروگاه خورشیدی کرد و یا از روش های دیگری مانند معافیت های خاص برای وارد کنندگان این صنعت و یا مشوق های مالی برای کارفرمایان پروژه های ساختمانی اقدام به برطرف کردن موانع اقتصادی اجرای چنین نیروگاه خورشیدی فتولتائیک کرد.

منابع

- امیرمعینی، م. (۱۳۸۸). سیاست گذاری انرژی در ایران، گروه پژوهشی اقتصاد، تهران.
- انجمن انرژی های تجدید پذیر ایران (۱۴۰۲). تهران، ایران .
- باقری، وحیده، نژاد ابراهیمی، احد. (۱۳۹۷). بهینه سازی انرژی در طراحی نمای ساختمان با تأکید بر رویکرد مهندسی ارزش (مطالعه موردی: مجموعه تجاری- اقامتی امید مشهد). فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)، ۸(۲)، ۱۹۵-۲۰۷.
- پورسیستانی، پوپک، مدی، حسین، مافی، مصطفی. (۱۴۰۰). ارزیابی عملکرد حرارتی یک دودکش خورشیدی با دو حالت مستقل و تزریق هوا از کف - نمونه موردی: ساختمان اداری در شهر کرمان. فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی

منطقه ای)، ۱۱(۴)، ۷۰۲-۷۲۱.

- تواضع، نجمه، نیک پور، منصور، قاسمی، محسن، فرزانه، هادی. (۱۴۰۱). ارزیابی تأثیر تهویه طبیعی بر آسایش حرارتی نمازگزاران در مساجد منطقه گرم و خشک ایران. فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)، ۱۲(۲)، ۹۲۲-۹۳۹.
- خوش اخلاق، رحمان، شریفی، علیمراد، کوچک زاده، میثم. (۱۳۸۲). "ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی در مقایسه از نیروگاه دیزلی، فصلنامه پژوهشهای اقتصادی، سال هفتم، صفحات ۱۷۱-۱۹۲.
- دیو سالار، اسداله؛ (۱۳۹۱). برنامه ریزی شهری با رویکرد بهینه سازی مصرف انرژی در شهرها. ششمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست.
- رضایی، مژگان؛ رنجبر، محسن؛ آزاد بخت، بهرام؛ استعلاجی، علیرضا. (۱۳۹۸). رایه الگوی مناسب بهینه سازی مصرف انرژی و دستیابی به منطقه زیست پذیر با استفاده از GIS. (مطالعه موردی منطقه ۶ تهران).
- سایت ویکی پدیا (۱۴۰۲). اطلاعات آب و هوایی شهر تهران. تاریخ دسترسی، پانزدهم اردیبهشت ماه ۱۴۰۲.
- عباس زاده، زهره؛ حق لسان، مسعود؛ ابراهیمی اصل، حسن. (۱۴۰۱). شبیه سازی ساختمانهای مسکونی با مولفه های مختلف معماری در جهت بهینه سازی مصرف انرژی در شهر تهران (مطالعه موردی منطقه ۱). فصلنامه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی منطقه ای، دوره ۱۲، شماره ۴۹. ص ۴۴۸-۴۳۰.
- فیاضی، حسین؛ موسوی بادجانی، مهدی. (۱۳۹۲). بررسی اقتصادی استفاده از سیستم های فتوولتائیک. پنجمین کنفرانس انرژیهای تجدید پذیر، پاک و کارآمد. ۱۵ اسفند ماه، تهران.
- کیانی وسطی، پژمان؛ عابدی آهنگر کلا، حسین. (۱۳۹۵). کاربرد انرژی خورشیدی و ارائه سیستم های PV و فتوولتائیک. پنجمین کنفرانس بین المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی. ۲۵ آبان، لندن، انگلستان.
- میر غیائی، قنبری، میلاد. (۱۴۰۰). امکان سنجی اقتصادی سیستم برق خورشیدی (فتوولتائیک) متصل به شبکه در کاربری مسکونی (مطالعه موردی: مجتمع مسکونی در منطقه ۲ تهران). دوره ۱۱، شماره ۴۲. ص ۶۹۲-۶۷۶.
- نجفی، قاسم؛ خانعلی، مجید. (۱۳۹۶). طراحی سیستم مستقل از شبکه برای تأمین انرژی منزل مسکونی. فصلنامه علمی- ترویجی نشریه انرژی ایران. دوره ۲۰، شماره ۲، تابستان. ص ۸۳-۶۷.
- نیکنام، ندا؛ میرزای حسینی، سید علیرضا؛ محمدی، علی؛ تقوی، لعبت. (۱۳۹۴). بررسی و ارزیابی موقعیت جغرافیایی احداث نیروگاه های فتوولتائیک در کاهش میزان انتشار CO2 با استفاده از نرم افزار Ret. فصلنامه انسان و محیط زیست. دوره ۱۳، شماره ۱. ص ۱۱-۱.

- Adebayo, T.S., Awosusi, A.A., Oladipupo, S.D., Agyekum, E.B., Jayakumar, A., Kumar, N.M. (2021), Dominance of fossil fuels in Japan's national energy mix and implications for environmental sustainability Int. J. Environ. Res. Publ. Health, 18 p. 7347.
- Adebayo, T.S., Agboola, M.O., Rjoub, H., Adeshola, I., Agyekum, E.B., Kumar, N.M. (2021), Linking economic growth, urbanization, and environmental degradation in China: what is the role of hydroelectricity consumption? Int. J. Environ. Res. Publ. Health, 18 p. 6975.
- Agyekum, E.B., Adebayo, E.B., Bekun, F.V., Kumar, N.M., Panjwani, M.K. (2021), Effect of two different heat transfer fluids on the performance of solar tower CSP by comparing recompression supercritical CO2 and rankine power cycles, China Energies, 14 p. 3426.
- Agyekum, E.B., Amjad, F., Mohsin, M., Ansah, M.N.S. (2021), A bird's eye view of Ghana's renewable energy sector environment: a Multi-Criteria Decision-Making approach, Util. Pol., 70 p. 101219.
- Agyekum, E.B., Praveen Kumar, S., Eliseev, E., Velkin, V.I. (2021), Design and construction of a novel simple and low-cost test bench point-absorber wave energy converter emulator system Inventions, 6 p. 20.

- Arnette, A. N., & Zobel, C. W., (2011). Spatial analysis of renewable energy potential in the greater southern Appalachian mountains. *Renewable Energy*, 36(11), 2785-2798. 10.1016/j.renene.2011.04.024.
- Ashrae. (1991). *Ashrae Standard 93-1986 (RA 91): Methods of Testing to Determine the*
- Baker, E., Fowlie, M., Lemoine, D., Reynolds, S. S. (2013). "The Economics of Solar Electricity", Energy Institute at Haas.
- Bose, R. K. (2010). "energy efficient cities, Assessment tools and benchmarking Practices", The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, Washington, D.C.
- Boxwell, M. (2019). *Solar Electricity Handbook 2019 Edition: A Simple Practical Guide to Solar Energy: Designing and Installing Solar PV Systems.*
- Burdick, P., Schmidt, P. (2017). *Install Your Own Solar Panels: Designing and Installing a Photovoltaic System to Power Your Home.* Storey Publishing.
- Charalambous, P. G., Maidment, G. G., Kalagirou, S. A., and Yiakoumetti, K., *Photovoltaic (2007), thermal (PV/T) collectors: A review. Applied Thermal Engineering* 27 275-286.
- Claude Ziad, E. B., Alzaareer, K., Brahm, B., Zellagui, M. U. (2021), Eicker. An Original Multi-Criteria Decision-Making Algorithm for Solar Panels Selection in Buildings. *Energy*. Vol. 217. 119396, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119396>
- Duffie, J. A., and Beckman, W. A. 1991. *Solar Engineering of Thermal Processes*, Second Edition. New York: Wiley-Interscience.
- Ebadati, M. (2022), Optimization of energy consumption of residential buildings in Tehran climate by modeling building information. PhD Thesis. Roudehen Islamic Azad University.
- Ebadati, M., Ehyaei, M. A. (2018). Reduction of energy consumption in residential buildings with green roofs in three different climates of Iran, *Advances in Building Energy Research*, 14:66-93. <https://doi.org/10.1080/17512549.2018.1489894>
- Ebadati, M., Ebadati, V. N., Ebadati, M. (2021). Thermal Analysis of Insulations Used in the Building Shell with the Optimization Approach and Reduction of Energy Consumption, *Journal of Energy Management and Technology* 5(4): 36-44
- Fazelpour, F., Soltani, N., Rosen, M. A. (2014). "Feasibility of satisfying electrical energy needs with hybrid systems for a medium-size hotel on Kish Island, Iran." *Energy* 73: 856-865.
- Fu, R., Feldman, D. J., Margolis, R. M. (2018) "US solar photovoltaic system cost benchmark: Q1 2018," National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States).
- Gorjian, S., Ghobadian, B. (2015). "Solar Thermal Power Plants: Progress and Prospects in Iran." *Energy Procedia* 75: 533-539.
- Haberlin, H. (2012). *Photovoltaics: system design and practice.* John Wiley & Sons.
- Kalagirou, S. A., (2004), "Solar Thermal Collectors and Applications", *Prog Energy Combust Science*, Vol. 30, pp. 231- 291. <https://eva.fing.edu uy/pluginfile.php/55828>.
- Kelly, H. (1993). "Introduction to photovoltaic technology. United States.
- Kharrazi, A., Sreeram, V., Mishra, Y. (2020), "Assessment techniques of the impact of grid-tied rooftop photovoltaic generation on the power quality of low voltage distribution network-A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 120, p. 10964.
- Kulsum, A. (1994). *Renewable Energy Technologies.* World Bank Technical Paper. No. 240. PP. 201-234.,
- Lee, T. L., (2010), "Assessment of the Potential of Offshore Wind Energy in Taiwan using Fuzzy Analytic Hierarchy Process", *The Open Civil Engineering Journal*, Vol. 4, pp. 96-104. <https://opencivilengineeringjournal.com>.
- Martinez, J. F., Steiner, M., Wiesenfarth, M., Glunz, S. W., Dimroth, F. (2019), Thermal Analysis of Passively cooled hybrid CPV module using Si cell as heat distributor *IEEE Photovoltaics*, 9 (1) pp. 160-166.
- Porte-Agel, F., Bastankhah, M., Shamsoddin, S. (2020) "Wind-turbine and wind-farm flows: a review," *Boundary-Layer Meteorology*, vol. 174, no. 1, pp. 1-59.
- Ramli, M. A. M., Hiendro, A., Sedraoui, K., Twaha, S. (2015), "Optimal sizing of grid-connected

photovoltaic energy system in Saudi Arabia," *Renewable Energy*, vol. 75, pp. 489-495, /03/01/ 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.028>.

- Sanchez-Lozano, J. M., Antunes, C. H., García-Cascales M. S. and L. C. Dias., (2014), GIS-Based Photovoltaic Solar Farms Site Selection Using ELECTRE-TRI: Evaluating The Case For Torre Pacheco, Murcia, Southeast of Spain, *Renewable Energy*, Vol. 66, pp. 78-94. <https://ideas.repec.org/a/eee/renene/v66y2014icp478-494.html>
- Sen,C., Kim,M., Chen,D., Varshney,U., Liu,S., Samadi,A. (2019), Assessing the Impact of Thermal profiles on the elimination of light and elevated temperature induced degradation, *IEEE J Photovoltaics*, 9 (1) pp. 40-48.
- Solar Rating and Certification Corporation.(2004). Directory of SRCC Certified Solar Collector Ratings, OG 100. Cocoa, Florida: Solar Rating and Certification Corporation.
- *Sustainable Energy Reviews* 12, 891-959.
- Thermal Performance of Solar Collectors. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Zondag, H.A. (2008). Flat-plate PV-Thermal collectors and systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, 891-959.
- Amir Moini, M. (1388). "Energy Policymaking in Iran", Economics Research Group, Tehran.[In Persian].
- Iran Renewable Energy Association (1402). Tehran Iran . Access link: <http://irrea.ir/>. [In Persian].
- Bagheri, V., Nejad Ebrahimi, A. (2017). Optimizing energy in building facade design with emphasis on value engineering approach (case study: Omid Mashhad commercial-residential complex). *Quarterly Journal of Geography (Regional Planning)*, 8(2), 195-207.[In Persian].
- Pouristani, P., Madi, H., Mafi,M. (1400). Evaluation of the thermal performance of a solar chimney with two independent modes and air injection from the floor - case example: office building in Kerman city. *Quarterly Journal of Geography (Regional Planning)*, 11(4), 702-721. doi: 10.22034/jgeoq.2021.137635.. [In Persian].
- Tevazo, N., Nikpour, M., Ghasemi, M., Farzan, H. (1401). Evaluation of the effect of natural ventilation on the thermal comfort of worshipers in mosques in hot and dry regions of Iran. *Quarterly Journal of Geography (Regional Planning)*, 12(2), 922-939. [In Persian].
- Div Salar, Esdaleh; (2011). Urban planning with the approach of optimizing energy consumption in cities. The 6th national conference and specialized exhibition of environmental engineering.. [In Persian].
- Khosh Akhlaq, R., Sharifi, A., Kochakzadeh, M. (2012) "Economic evaluation of using solar energy in comparison with diesel power plant", *Economic Research Quarterly*, 7th year, pages 171-192. [In Persian].
- Rezaei, M., Ranjbar, M., Azad Bakht, B., Astelazhi, A. (2018). Presenting a suitable model for optimizing energy consumption and achieving a livable area using GIS. [In Persian].
- Abbaszadeh, Z., Haq Lasan, M., Ebrahimi Asl, H. (1401). Simulation of residential buildings with different architectural components in order to optimize energy consumption in Tehran (case study of region 1). *Scientific-Research Quarterly of Geography and Regional Planning*, Volume 12, Number 49. Pages 448-430.. [In Persian].
- Fayazi, H., Mousavi Badjani, M. (2012). Economic study of the use of photovoltaic systems. The fifth renewable, clean and efficient energy conference. March 15, Tehran. [In Persian].
- Kayani East, P., Abedi Ahangar Kala, H. (2015). Application of solar energy and provision of PV and photovoltaic systems. The fifth international research conference in science and technology. November 25, London, England. [In Persian].
- Mir Ghiyashi,F., Ghanbari,M.(2021). Economic feasibility of solar power system (photovoltaic) connected to the grid in residential use (case study: residential complex in the 2nd district of Tehran). Volume 11, Number 42. Pages 692-676. [In Persian].
- Najafi, Q., Khanali, M. (2016). Designing a grid-independent system to supply residential energy. *Scientific-promotional quarterly "Iranian Energy Magazine"*. Volume 20, Number 2, Summer. pp. 67-83.[In Persian].
- Niknam, N., Mirzai Hosseini, S.A., Mohammadi, A., Tagvi, L. (2014). Investigating and evaluating the geographical location of the construction of photovoltaic power plants to reduce CO2 emissions using Ret software. *Human and Environment Quarterly*. Volume 13, Number 1. P. 1-11.. [In Persian].

Optimizing energy consumption of residential buildings using solar panels in the climate of Tehran

Mohammad Ebadati¹ Ali Reza Lork^{* 2} Mohammad Hadi Alizade Elizei¹

¹ Department of Civil Engineering, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran

² Department of Civil Engineering, Safadasht Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Abstract

In recent years, solar energy technologies have been widely studied and developed, but despite this, the acceptance of the use of solar panels on a large scale has not yet been achieved. In this research, with the help of Energy Plus software, we have been trying to determine the efficiency of solar panels according to the climatic conditions of Iran, especially the climate of Tehran city, by simulating a hypothetical 5-story building model in compliance with all the common construction standards in Let's examine Iran and finally we have done its economic analysis, which is one of the main obstacles to the use of solar panels in Iran and the concern of most employers and clients. The simulation results showed a significant reduction of 40% in energy consumption in the model building. According to the economic analysis, the use of photovoltaic solar power plant is not economically justified for employers, builders and operators, even without considering the costs related to reconstruction. One of the reasons for the uneconomical nature of the photovoltaic solar power plant is the sharp increase in the price of the dollar, which is directly related to its construction, as well as the low electricity tariff and subsidies allocated by the government in Iran.

Keywords: optimization, energy, residential buildings, solar panel, Tehran.

¹ . (Corresponding author): Lork@safaiu.ac.ir