

تاریخ دریافت: ۲۸ بهمن ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: ۲۵ فروردین ۱۴۰۲ صفحات ۶۵ الی ۹۴

طراحی ساختمان انرژی صفر با استفاده از نرم افزار PVsyst و Energy Plus

الناز براتی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی انرژی تجدید پذیر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز، ایران

elnazbrt1@gmail.com

سامان تشکر

استادیار، گروه مهندسی انرژی تجدید پذیر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز، ایران

saman.tashakor@yahoo.com

امیر شمس نیا

استادیار، گروه RS&GIS، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز، ایران shamsnia_82@yahoo.com

چکیده: این پژوهش سعی دارد تا با مطالعه و بررسی یک ساختمان مسکونی نمونه در شهر شیراز و مصالح متداول به کار رفته در آن، تاثیر روش های غیر فعال در زمینه ذخیره سازی انرژی و همچنین تولید انرژی با استفاده از انرژی های تجدید پذیر را مورد مطالعه قرار دهد. یک روش برای به حداقل رساندن مصرف انرژی در ساختمان های مسکونی و اداری، بهره گیری از ساختمان های انرژی صفر است. این ساختمان ها، یک راه حل فنی ممکن برای مصرف کمتر انرژی در ساختمان ها را از طریق ترکیب صرفه جویی انرژی و بهره گرفتن از فن آوری انرژی های تجدیدپذیر فراهم می آورند. در این تحقیق برای دستیابی به بهینه ترین شرایط مصرف انرژی در شرایط اقلیمی شیراز، هر کدام از عناصر بنای مسکونی بهینه سازی شده است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که می توان با استفاده از مصالح و طراحی های غیر فعال ساختمان از جمله شیشه های دو جداره، عایق کاری دیوارها، میزان مصرف انرژی ساختمان را کاهش داد. همچنین با بهره گیری از انرژی خورشیدی و شبیه سازی با استفاده از نرم افزار PVsyst می توان انرژی مورد نیاز ساختمان را تامین کرد.

واژه های کلیدی: ساختمان انرژی صفر، انرژی های تجدیدپذیر، صرفه جویی انرژی، نرم افزار PVsyst،

نرم افزار Energy Plus

۱. مقدمه

امروزه با توجه به محدود بودن منابع انرژی، آلودگی‌های ناشی از مصرف انرژی‌های فسیلی و برخی دلایل دیگر، توجه به مصرف بهینه انرژی و همچنین بهره‌گیری از انرژی طبیعی مثل خورشید و باد در بخش‌های مختلف مصرف را بیش از پیش ضروری است. در کشور ما بیشترین میزان مصرف انرژی در بخش ساختمان است. در بسیاری از کشورها مصرف سرانه انرژی بخش ساختمان سهم بزرگی در مصرف انرژی کل دارد. با توجه به هزینه بالای تامین انرژی و محدود بودن منابع و در راستای اجرایی کردن اصول توسعه پایدار، طراحان و سازندگان فعال در صنعت ساختمان و دولتمردان به فکر ساخت ساختمان‌هایی شدند که مصرف انرژی در آنها بهینه باشد. ساختمان با تبادل انرژی سالیانه صفر با شبکه، تمام یا بیشتر نیازهای انرژی را خود تامین می‌کند. در این پژوهش از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر در ساختمان بصورت حداکثری استفاده می‌گردد. برای این منظور از فضای بیرونی ساختمان برای جذب انرژی استفاده می‌شود.

۱-۱ پیشنهاد تحقیق

اقبال (۲۰۰۴) بیان می‌کند بنای انرژی صفر بنایی است که به صورت بهینه و اقتصادی ترکیبی از فناوری انرژی تجدیدپذیر با فناوری ساخت و ساز بهینه از لحاظ انرژی را فراهم می‌آورد. در این پژوهش اقبال بیان می‌کند استفاده از تجهیزات بهینه در ساخت بنا به اندازه استفاده از سیستم‌های تجدیدپذیر مهم می‌باشد [۱].

اینالی (۲۰۰۶) در موقعیت آب و هوایی سرد برای یک ساختمان فرضی مطالعه داشته که با تغییر جهات تابش خورشید و جنس مصالح ساختمان توانسته در ساختمان سبز مقدار کاهش و یا افزایش مصرف انرژی را تحلیل نماید. با تحلیل داده‌ها و محاسبات صورت گرفته نتیجه‌گیری می‌گردد که مصرف انرژی را تا ۳۶ درصد کاهش داده است [۲].

تورسلینی و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیقی بیان می‌کند بنای انرژی صفر یک بنای مسکونی یا عمومی با کاهش عمده ای در مصرف انرژی با استفاده از بهره‌وری است به گونه‌ای که نیازهای تعادل انرژی با استفاده از انرژی تجدیدپذیر مرتفع گردد [۳].

پلاتل و دادزیک (۲۰۰۷) در یک نمونه از تعریف بیان کردند بنای انرژی صفر متصل به شبکه، بنایی است که در طول سال به صورت خنثی عمل کند بدین صورت که میزان انرژی که از شبکه دریافت می‌کنند برآبر با میزانی انرژی باشد که به شبکه تزریق می‌کند [۴].

وانگ و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی عنوان کردند طبق امارهای اعلام شده در ساختمان‌های انرژی صفر میزان مصرف انرژی از ساختمان‌های مشابه معمولی بسیار کمتر است. این میزان در امریکا ۷۵٪ در انگلستان ۷۷٪ در ایرلند ۸۵٪ می‌باشد. از سوی دیگر هنوز استاندارد معین و واحدی برای ساخت یک ساختمان انرژی صفر وجود ندارد و کشورها با توجه به اقلیم و منابع تجدیدپذیر در دسترس قوانینی را وضع کرده‌اند [۵].

هرناندز و کنی (۲۰۱۰) در تحقیق خود اذعان می‌کنند در ساختمان‌های انرژی صفر دوره تعادل سالیانه فراگیرترین دوره تعادل است و برای تعادل انرژی بررسی دوره کامل حیات یک بنا مناسب‌تر است. با در نظر گرفتن این نوع از تعادل تنها بررسی مصرف انرژی مطرح نیست بلکه بررسی انرژی نهان در مصالح مصرفی در بنا، ساخت و ساز، تخریب و نصب تجهیزات نیز مطرح می‌گردد که بررسی همه این موارد امکان ارزیابی تاثیر واقعی بنا بر محیط را فراهم می‌کند. از این رو بررسی دوره ۵۰ ساله حیات بنا را دقیق‌تر می‌دانند [۶].

۲-۱ ساختمان انرژی صفر

برای تحقق اهداف معماری انرژی صفر و ساخت بنایی که انرژی‌های مورد نیاز خود را خودش تامین کند گزینه‌های متفاوتی وجود دارد که بسته به شرایط محل و نحوه طراحی

می‌تواند طیف گسترده‌ای از روش‌ها را در برگیرد. از این منابع می‌توان به انرژی خورشید، انرژی باد، انرژی آبی، انرژی امواج، انرژی زمین‌گرمایی، و انواع دیگر اشاره کرد. برای هر منطقه با توجه به منابع در دسترس طراح روش مناسبی را جهت تامین انرژی انتخاب می‌کند. برای ایران با توجه به گسترده بودن تنوع اقلیمی و شرایط محیطی نمی‌توان روش و یا منبع خاصی را به صورت کلی معرفی کرد اما با توجه به قرار گرفتن ایران در کمربند گرم و خشک زمین و میزان تابش مناسب خورشید در طول روز، انرژی خورشید می‌تواند منبع مناسب انرژی باشد. یکی از مهمترین شاخص‌های مورد توجه در مبحث مدیریت مصرف انرژی در ساختمان‌های با کاربری‌های مختلف معیار مصرف انرژی می‌باشد، که به عنوان محکی قابل قبول جهت برآورد وضعیت مصرف انرژی موجود و حتی شاخص‌های قابل حصول از طریق بهینه‌سازی مصرف مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک ساختمان انرژی صفر می‌تواند منفصل از شبکه یا متصل به شبکه و زیرساخت‌های انرژی باشد. در ساختمان‌های متصل به شبکه، ساختمان می‌تواند به صورت تعاملی با شبکه تبادل انرژی داشته باشد و در صورت نیاز به انرژی برق بیشتر از شبکه سراسری برق دریافت کند و در صورتی که ساختمان توان بیشتری از نیاز خود تولید کند آن را به شبکه سراسری تزریق کند. اما در ساختمان‌های منفصل از شبکه امکان تبادل انرژی با شبکه سراسری وجود ندارد و ساختمان باید به صورت خودکفا تمام نیاز انرژی خود را تامین کند [۷].

۳-۱ تقسیم بندی ساختمان‌های انرژی صفر

انواع ساختمان‌های انرژی صفر بر حسب میزان انرژی مصرفی و تولیدشان در طول یک سال دسته بندی می‌شوند. در جدول (۱) این تقسیم بندی نشان داده شده است.

جدول ۱. انواع ساختمان های انرژی صفر

ویژگی ساختمان	انواع ساختمان های انرژی صفر
ساختمان هایی که انرژی تولیدیشان بیش از انرژی مصرفیشان در طول یک سال است	ساختمان های انرژی مثبت (صفر) یا ZEB
ساختمان هایی که انرژی مصرفیشان کمی بیش تر از انرژی تولیدیشان در طول یک سال است.	صفر یا near-ZEB
ساختمان هایی که در آن میزان تولید انرژی سالانه برابر یا بیشتر از میزان مصرف آن است.	ساختمان هایی با انرژی تبدلی صفر یا net-ZEB

در این پژوهش یک ساختمان انرژی مثبت (صفر) برای اقلیم شهر شیراز مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۴-۱ منطقه مورد مطالعه

شهر شیراز به عنوان یکی از شهرهای بزرگ ایران، که در جنوب غربی ایران و در مرکز استان واقع شده است. ارتفاع آن از سطح دریاهاى آزاد بین ۱۴۸۰ تا ۱۶۷۰ متر و در مختصات جغرافیایی بین ۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و ۵۲ درجه و ۳۲ دقیقه واقع شده است. شهر شیراز از طرف غرب به کوه دراک، از شمال به کوههای بمبو، سبز پوشان، چهل مقام و بآبا کوهی محدود شده است. شیراز پنجمین کلان شهر ایران و شامل یازده منطقه شهرداری بوده و مساحت آن در حدود ۱۲۶۸ کیلومتر مربع به شکل مستطیل است.

۱-۵ طراحی و ساخت

استراتژی که در احداث ساختمان انرژی صفر توسط مهندسين انرژی بکار برده می شود، طراحی ساختمان با دیدگاه استفاده از انرژی خورشید است. حدود ۵۲٪ از انرژی خانه‌های معمولی توسط سیستم های سرمایشی و گرمایشی مصرف شده و سهم روشنایی غیرطبیعی حدود ۲۰٪ از کل انرژی مصرفی است. استفاده حداکثری از انرژی خورشید در جهت سرمایش و گرمایش و بکارگیری نور طبیعی جهت روشنایی منازل اجتناب ناپذیر است. طبق استانداردهای تدوین شده در طراحی انرژی و محیط، ۲۰٪ از فضای اشغال شده خانه ها باید دارای نور و منظر طبیعی باشد. در این راستا طراحان باید به ضریب نور طبیعی توجه ویژه‌ای داشته باشند. حداقل میزان نور طبیعی برای فضاهای منازل مسکونی ۲٪ است [۷]، که اغلب در ساختمان های با مصرف بهینه انرژی رعایت می گردد. در این ساختمان ها موقعیت پنجره ها، دیوارها، ایوان ها، سایبان ها و درخت ها بایستی طوری جهت یابی شود که موجب ایجاد سایه در تابستان و بیشترین بهره خورشیدی در زمستان گردد. علاوه بر آن مکان مناسب پنجره می تواند باعث افزایش میزان نور روشنایی روز (Day lighting) و کاهش مصرف انرژی الکتریکی روشنایی در طول روز گردد. استفاده از تکنولوژی های انرژی خورشیدی فعال (Active solar) و غیر فعال (Passive solar) (تکنولوژی های فعال شامل سیستم های مکانیکی و الکتریکی می باشند که جهت بهره گیری و تبدیل انرژی خورشیدی به توان مصرفی مورد استفاده قرار می گیرند و تکنولوژی های غیر فعال بهره گیری از انرژی خورشید بدون استفاده از تجهیزات خاص مانند تامین روشنایی روز یا تامین گرمایش محیط و... می باشد)، انرژی الکتریکی توسط نور خورشیدی (Photovoltaic)، استفاده از فضای سبز بر روی پشت بام ساختمان (Roof garden) از جمله راهکارهای موثر در این بخش محسوب می شود [۸].

۲- مواد و روش کار

جامعه آماری این تحقیق شامل یک واحد مسکونی انرژی صفر و دو نیروگاه فتوولتائیک واقع در پشت بام و بدنه ساختمان صفر انرژی در شهر شیراز می باشد. تجزیه و تحلیل های مربوط به بهینه سازی انرژی در این بنا با استفاده از نرم افزار Energy Plus و PVSyst انجام می شود. در ساختمان انرژی صفر برای تامین آب گرم مصرفی نیز از یک آبگرمکن خورشیدی استفاده شده است. در نهایت میزان انرژی تولیدی ساختمان و میزان انرژی مصرفی ساختمان با یکدیگر مقایسه می گردد.

۲-۱ نرم افزارهای مورد استفاده

در این بخش تاثیر عوامل مختلف از جمله اثر نماهای گوناگون بر میزان مصرف انرژی مورد بررسی قرار گرفته است. نرم افزارهای شبیه سازی در مبحث ساختمان، نرم افزارهایی هستند که برای محاسبه میزان مصرف انرژی در ساختمان ها استفاده می شود. برای این منظور در این پژوهش از نرم افزار Energy Plus و PVSyst جهت مدلسازی و انجام محاسبات استفاده شده است که در ادامه به آنها پرداخته می شود.

۲-۲ نرم افزار Energy Plus

انرژی پلاس یک نرم افزار شبیه سازی بسیار قدرتمند ، برای ساختمان است. با استفاده از این نرم افزار می توان انواع مصالح ساختمانی، پنجره های چند جداره، مواد تغییر فاز دهنده (PCM)، سایه بان ها، شیشه های الکترومیک ، انواع سیستم های تهویه مطبوع ، کلکتورهای خورشیدی، پانل های فتوولتائیک و... را مدل کنیم. در شبیه سازی حرارتی یک ساختمان توسط نرم افزار انرژی پلاس می توان تمام تبادل حرارتی بنا با محیط اطراف، بناهای دیگر و

ZONE های حرارتی که با بنا تبادل حرارتی دارند را مورد ارزیابی قرار داد. در هر ZONE حرارتی می توان تمام بارهای مصرفی به همراه توان مصرفی و ساعت کارکرد در طول روز بصورت سالانه، نوع عایق حرارتی دیواره ها، نوع مصالح بکار رفته در بنا و ضریب انتقال حرارت مصالح، نوع درب و پنجره ها و اتلاف حرارتی هر کدام، میزان تابش خورشیدی رسیده به بنا، سیستم های غیر فعال روشنائی، سیستم های اسایش حرارتی، برنامه های زمان بندی استفاده از تجهیزات و بسیاری از پارامترها و تنظیمات دیگر را لحاظ کرد [۸].

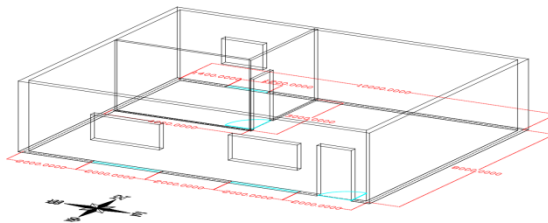
۳-۲ نرم افزار PVsyst

PVsyst یک نرم افزار جامع و کاربردی در زمینه طراحی سیستم های فتوولتائیک می باشد که شامل مجموعه ابزارهای لازم برای مطالعه و تحقیق، طراحی و شبیه سازی و آنالیز داده های انواع سیستم های فتوولتائیک می باشد که توسط دانشگاه ژنو سوئیس طراحی و هرساله بروز رسانی می گردد. این نرم افزار دارای یک کتابخانه کامل از تجهیزات و طیف وسیعی از امکانات طراحی می باشد که ابزار سه بعدی برای سایه توسعه یافته، توانایی وارد کردن داده ها برای اندازه گیری مستقیم، مقایسه مقادیر شبیه سازی شده، جعبه ابزار برای تعیین هندسه خورشیدی، هواشناسی و رفتار عملیاتی سیستم های فتوولتائیک از آن دسته اند. همچنین از این نرم افزار برای طراحی نیروگاه های متصل به شبکه، منفصل از شبکه در سطوح کیلوواتی و مگاواتی و همچنین طراحی پمپ آب خورشیدی استفاده می گردد [۹].

قابلیت های نرم افزار PVsyst :

انتخاب ماژول PV از پایگاه داده داخلی، انتخاب معکوس کننده از پایگاه داده داخلی، پیشنهاد یک آرایه و پیکر بندی سیستم برای انجام یک شبیه سازی مقدماتی، نشان دادن

منحنی I/V از آرایه PV، همراه با محدوده MPPT، ولتاژ و توان، نمایش توزیع سالانه قدرت آرایه، ارائه آبرارهای تخصصی برای ارزیابی خسارات سیم کشی (و ضرر و زیان‌های دیگر مانند کیفیت ماژول)، عدم تطابق بین ماژول، رفتار حرارتی با توجه به نصب مکانیکی، در دسترس نبودن سیستم و...، تولید کل انرژی MWh/y برای ارزیابی سودآوری سیستم PV، انرژی خاص kWh/kWp شاخص تولید بر اساس پرتو افکنی در دسترس (محل و جهت گیری)، نشان دادن انرژی اصلی و دستاورد ها، تلفات گرفتار در شبیه سازی، آبرار قدرتمند برای تجزیه و تحلیل سریع رفتار سیستم و بهبود بالقوه در طراحی. در شکل (۱) شماتیک کلی ساختمان طراحی شده در این تحقیق به متر ۸۰ متر در جهت جنوب قابل مشاهده می باشد.



شکل (۱) شماتیک ساختمان انرژی صفر طراحی شده

۳- تحلیل نتایج

در یک ساختمان انرژی صفر علاوه بر تولید انرژی توسط ساختمان، بهینه سازی مصرف انرژی و جلوگیری از هدر رفت انرژی نیز باید مورد توجه قرار گیرد. در این پژوهش در ساختمان انرژی صفر جهت جلوگیری از هدر رفت انرژی از عایق کاری در سطوح مختلف بنا استفاده شده است تا تبادل حرارت با محیط بیرون به کمترین میزان برسد دمای ساختمان انرژی صفر توسط ترموستات در هر لحظه محاسبه و توسط سیستم های هوشمند تحلیل می گردد و در صورت لزوم فرمان خاموش یا روشن شدن تجهیزات سرمایشی و گرمایشی

صادر می‌گردد. بار مصرفی ساختمان در جدول (۳) قابل مشاهده می‌باشد. پس از وارد کردن توان، تعداد و ساعت مصرفی تجهیزات، شبیه‌سازی انرژی مصرفی کل بنای انرژی صفر توسط نرم افزار صورت می‌گیرد. پارامترهای محاسباتی نرم افزار را برحسب نیاز می‌توان بصورت روزانه، ماهانه یا سالانه از نرم افزار استخراج کرد. برآیند انرژی مصرفی ساختمان انرژی صفر و همچنین میزان دی اکسید کربن تولیدی که به صورت ماهانه توسط نرم افزار انرژی پلاس محاسبه گردیده است در جدول (۴) به صورت پارامترهای عددی قابل مشاهده است.

جدول (۲) متریکال و عایق قسمت های مختلف ساختمان انرژی صفر و ساختمان معمولی

ساختمان	پارتیشن	لایه اول (بیرونی)	لایه دوم	لایه سوم	لایه چهارم (داخلی)
ساختمان zeb	دیوارهای بیرونی	100mm brick	50mm insulation board	Wall air space resistance	19mm gypsum board
	سقف	100mm heavyweight concrete	Ceiling air space resistance	50m insulation board	19mm gypsum board
	پارتیشن داخلی	19mm gypsum board	50m insulation board	19mm gypsum board	-
	کف	100mm heavyweight concrete	50m insulation board	Acoustic tile	-
	پنجره ها	CLEAR 3MM	AIR 6MM	CLEAR 3MM	-
	درب ساختمان	Wood siding	Wood shingles	-	-
	دیوارهای بیرونی	100mm brick	19mm gypsum board	-	-
ساختمان معمولی	سقف	100mm lightweight concrete	19mm gypsum board	-	-
	پارتیشن داخلی	19mm gypsum board	50m insulation board	19mm gypsum board	-
	کف	Wood shingles	150mm lightweight concrete block	-	-
	پنجره ها	CLEAR 3MM	-	-	-
	درب ساختمان	Wood siding	-	-	-

جدول (۳) توان مصرفی تجهیزات ساختمان

ردیف	نوع تجهیز	تعداد	توان مصرفی	ساعت مصرفی در روز
1	تلوزیون	1	50	2
2	یخچال	1	350	24
3	کولر	1	1200	12
4	تهویه	1	50	2
5	اتو	1	2000	0.5
6	ماشین لباسشویی	1	2100	0.5
7	لیپ تاپ	1	50	1
8	سشوار	1	1800	0.25
9	جارو برقی	1	1800	0.25
10	روشنایی داخلی	4	20	6
11	روشنایی بیرونی	1	50	6
12	اجاق گاز	1	2000	3.5
13	پکیج حرارتی	1	3000	12

در جدول (۴) انرژی مصرفی ساختمان انرژی صفر در ماه‌های مختلف سال بر حسب کیلوژول قابل مشاهده است. بر اساس جدول بالا میزان مصرف انرژی الکتریکی در ماه‌های گرم سال به دلیل استفاده از تجهیزات سرمایشی بیشتر از ماه‌های سرد سال می‌باشد و در ماه‌های سرد سال نیز میزان مصرف انرژی گازی به دلیل استفاده از تجهیزات گرمایشی بیشتر از ماه‌های گرم سال می‌باشد. بیشترین انرژی الکتریکی مصرفی ماهانه با بیش از ۲/۵ میلیون کیلوژول در مرداد ماه می‌باشد. میزان دی اکسید کربن تولیدی بنا در ماه‌های سرد سال به دلیل استفاده از تجهیزات گاز سوز و راندمان پایین این تجهیزات، بیشتر از ماه‌های گرم سال است. در ماه دی که سردترین ماه سال می‌باشد میزان انرژی گازی مصرفی به بالای ۴۱۲۹۲۰۰ کیلوژول می‌رسد و میزان دی اکسید کربن تولیدی نیز در این ماه به بالای ۲۰۷ کیلوگرم می‌رسد که بیشترین میزان ماهانه می‌باشد. کمترین میزان انتشار دی اکسید کربن در خرداد

ماه می باشد که برابر با ۳۷/۹ کیلوگرم در ماه می باشد. در جدول (۵) میزان انرژی مصرفی ساختمان معمولی برای ماه‌های مختلف سال قابل مشاهده می باشد. تجهیزات و توان مصرفی آنها در ساختمان انرژی صفر و ساختمان معمولی یکسان می باشد. ساختمان معمولی فاقد عایق هایی می باشد که در ساختمان انرژی صفر استفاده گردیده است. تفاوت نوع عایق و متریکال در قسمت های مختلف ساختمان انرژی صفر و معمولی در جدول (۲) قابل مشاهده می باشد.

جدول (۴) محاسبات انرژی مصرفی ساختمان انرژی صفر توسط نرم افزار انرژی پلاس

	Electricity [kJ](Monthly)	Natural Gas [kJ](Monthly)	CO2 [kg](Monthly)
January	956448	3861360	193.9730642
February	861264	3487680	175.2014773
March	947448	3861360	193.9730642
April	932940	3736800	187.7158686
May	2295288	1278000	64.19955042
June	2473920	756000	37.97719884
July	2568708	781200	39.24310547
August	2554488	781200	39.24310547
September	2479140	756000	37.97719884
October	2356128	1213200	60.94436195
November	918720	3996000	200.7366224
December	961668	4129200	207.4278432
	20306160	28638000	1438.612461

جدول (۵) مصرف انرژی ساختمان معمولی در ماه‌های مختلف سال

Date/Time	Electricity [kJ](Monthly)	Natural Gas [kJ](Monthly)
January	954828	4798260
February	861264	4330080
March	949068	4768560
April	927720	4681800
May	2570076	1623600
June	2784960	993600
July	2884896	1078200
August	2881116	1018800
September	2790180	1023300
October	2634444	1601460
November	920340	5140800
December	956448	5363640
annual	22115340	36422100

در جدول (۶) انرژی مصرفی ساختمان انرژی صفر (zeb) که شامل مجموع انرژی‌های الکتریکی و گازی می‌گردد قابل مشاهده است. بر اساس این جدول انرژی مصرفی ساختمان انرژی صفر در ماه آذر به بیشترین حد خود معادل ۵۰۹۰۸۶۸ کیلوژول می‌رسد، در اذر ماه به دلیل استفاده از تجهیزات گاز سوز مصرف انرژی ساختمان در بالاترین حد خود می‌باشد. در ماه خرداد که مصرف انرژی ساختمان در کمترین مقدار خود می‌باشد که دلیل این امر خاموش بودن تجهیزات گرمایشی گاز سوز می‌باشد که مصرف بالایی دارند. انرژی مصرفی ساختمان انرژی صفر در سال برآبر با ۴۸۹۴۴۱۶۰ کیلوژول می‌باشد. در مقابل انرژی مصرفی ساختمان معمولی در سال برآبر با ۵۸۵۳۷۴۴۰ کیلوژول می‌باشد.

۱-۳ میزان دی اکسید کربن تولیدی

در یک ساختمان انرژی صفر میزان دی اکسید کربن کمتری نسبت به سایر بناهای هم متراژ تولید می‌شود. کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن به فضا در کنار کاهش میزان مصرف انرژی دو عامل مهم احداث ساختمان‌های انرژی صفر می‌باشند. در جدول (۷) میزان انتشار گاز دی اکسید کربن در ماه‌های مختلف سال را برای ساختمان انرژی صفر بر حسب کیلو گرم در ماه را می‌توان مشاهده کرد.

جدول (۶) مصرف انرژی در ساختمان انرژی صفر و معمولی در ماه‌های مختلف سال

month	Zeb [KJ]	Building [KJ]
January	4817808	5753088
February	4348944	5191344
March	4808808	5717628
April	4669740	5609520
May	3573288	4193676
June	3229920	3778560
July	3349908	3963096
August	3335688	3899916
September	3235140	3813480
October	3569328	4235904
November	4914720	6061140
December	5090868	6320088
annual	48944160	58537440

جدول (۷) میزان انتشار سالانه گاز دی اکسید کربن در ساختمان انرژی صفر و ساختمان معمولی

Date/Time	CO ₂ zeb[kg](Monthly)	CO ₂ building [kg](Monthly)
January	193.9730642	241.0376642
February	175.2014773	217.5189275
March	193.9730642	239.5457028
April	187.7158686	235.1873671
May	64.19955042	81.5605556
June	37.97719884	49.9128899
July	39.24310547	54.1627193
August	39.24310547	51.17879653
September	37.97719884	51.40485129
October	60.94436195	80.44836621
November	200.7366224	258.2449521
December	207.4278432	269.4391836
annual	1438.612461	1829.641976

بر اساس جدول (۷) میزان دی اکسید کربن تولیدی بنای انرژی صفر در ماه آذر با ۲۰۷/۴۲ کیلوگرم بیشترین میزان انتشار دی اکسید کربن در جو می باشد و در ماه خرداد و شهریور با ۳۷/۹۷ kg کمترین میزان انتشار گاز دی اکسید کربن است. در ساختمان معمولی نیز در ماه آذر با ۲۶۹/۴۳ kg بیشترین میزان انتشار گاز دی اکسید کربن و در ماه تیر با ۴۹/۹۱ kg کمترین میزان انتشار گاز دی اکسید کربن در فضا را اتفاق می افتد. انتشار سالانه گاز دی اکسید کربن در یک ساختمان انرژی صفر در سال معادل ۱۴۳۸/۶۱ kg می باشد و برای ساختمان معمولی برآبر با ۱۸۲۹/۶۴ kg می باشد. در مجموع در این ساختمان انرژی صفر به میزان ۳۹۰/۳۹ kg معادل ۲۱/۳٪ از انتشار گاز دی اکسید کربن به جو نسبت به ساختمان معمولی کاسته شده است.

۲-۳ محاسبه انرژی آبگرمکن خورشیدی

در ساختمان انرژی صفر تامین آب گرم ساختمان توسط آبگرمکن خورشیدی صورت می‌گیرد که این امر باعث کاهش انتشار گاز CO₂ به جو زمین می‌گردد. البته در بررسی دقیق‌تر باید میزان دی‌اکسید تولیدی تجهیزات الکتریکی را با توجه به توان مصرفی هر تجهیز بر اساس کیلووات و میزان دی‌اکسید تولید شده در نیروگاه‌های برق به ازای تولید هر کیلووات توان بررسی گردد.

آبگرمکن خورشیدی واقع در بنای انرژی صفر دارای یک مخزن ذخیره سازی ۳۰۰ لیتری و در ضلع جنوبی پشت بام با زاویه شیب ۳۰ درجه و زاویه آزیموئی صفر درجه (سمت جنوب مطلق جغرافیای) نصب گردیده است. آبگرمکن‌های خورشیدی با توجه به حجم مخزن و میزان تابش محیطی خورشید توانای پر و خالی شدن مخزن با ورودی آب سرد و خروجی آب گرم برای یک الی سه سیکل در روز را دارا می‌باشند. در ساختمان انرژی صفر این پژوهش برای تامین آب گرم مصرفی متوسط نیاز مصرفی ساکنین ۱۵۰ لیتر در روز در نظر گرفته شده است. در جدول (۸) میزان انرژی تولیدی برای آب گرم توسط آبگرمکن خورشیدی در ساختمان انرژی صفر و میزان انتشار گاز CO₂ برای تولید این مقدار انرژی توسط سوخت گازی با استفاده از نرم افزار انرژی پلاس قابل مشاهده است. بر اساس جدول (۸) با استفاده از آبگرمکن خورشیدی در سال معادل ۸۱۴۶۸۰۰ کیلوژول در مصرف انرژی الکتریکی صرفه جویی می‌شود و همچنین از انتشار ۱۳۶۴/۱۶ کیلوژول گاز CO₂ به جو زمین جلوگیری می‌گردد.

جدول (۸) انرژی تولیدی ابگرمن خورشیدی ساختمان صفر انرژی و گاز CO₂ تولیدی برای این مقدار انرژی توسط سوخت گاز

Date/Time	Electricity [kJ](Monthly)	CO ₂ [kg](Monthly)
January	691920	115.8605971
February	624960	104.6482812
March	691920	115.8605971
April	669600	112.1231585
May	691920	115.8605971
June	669600	112.1231585
July	691920	115.8605971
August	691920	115.8605971
September	669600	112.1231585
October	691920	115.8605971
November	669600	112.1231585
December	691920	115.8605971
annual	8146800	1364.165095

۳-۳ انرژی تولیدی توسط ساختمان انرژی صفر

سیستم های فتوولتائیک دارای عمر طولانی (حدود ۲۰ سال)، قابلیت نصب و راه اندازی در شرایط جغرافیایی ویژه مانند مناطق صعب العبور و کوهستانی، قابلیت استفاده در سیستم های متحرک، نگهداری آسان، عدم وابستگی به شبکه در نقاط دور دست، قابلیت استفاده به صورت متصل و منفصل از شبکه هستند که آینده درخشانی را برای استفاده از سیستم های فتوولتائیک ترسیم می کنند. مازول و اینورتر مهم ترین اجزای نیروگاه خورشیدی متصل به شبکه هستند. با توجه به بالا بودن هزینه اولیه این نیروگاه ها، طراحی بهینه اجزای اصلی

نیروگاه‌ها با در نظر گرفتن مسایل مالی، قابلیت اطمینان و استفاده بهینه از فضای محل نصب نیروگاه‌ها امری ضروری است.

۱-۳-۳ جهت‌گیری پانل‌ها (ماژول)

برای دریافت بیشترین تابش جهت‌گیری پانل‌ها باید به سمت جنوب جغرافیایی (آزیموت صفر) باشد. [۱۰] تولید انرژی این ساختمان توسط پانل‌های فتوولتائیک که در پشت بام ساختمان با شیب ۲۹ درجه و اختلاف زاویه صفر نسبت به جنوب نصب شده است و هم‌چنین پانل‌هایی که در بدنه ساختمان به صورت تلفیق شده با ساختمان یا نصب شده در بدنه بنا (BIPV-building integrated photovoltaic) در ضلع جنوبی ساختمان قرار دارند تامین می‌گردد. استفاده از سیستم BIPV به منظور استفاده حداکثری از فضای در دسترس بصورت تلفیق شده با ساختمان برای تامین انرژی می‌باشد و این امر می‌تواند ساختمان را هرچه بیشتر به یک بنای انرژی صفر نزدیک تر کند. زاویه نصب شده پانل‌های BIPV ۹۰ درجه می‌باشد (به صورت نصب در بدنه بنا) و در جهت جنوب مطلق (آزیموت صفر) قرار دارد، لازم به ذکر است سایه اندازی یک درخت که در ضلع جنوبی ساختمان واقع شده است و باعث ایجاد تلفات می‌گردد با توجه به مسیر حرکت خورشیدی توسط نرم افزار محاسبه گردیده است. شبیه‌سازی پانل‌های واقع در پشت بام و پانل‌هایی که به صورت BIPV در بدنه نصب شده‌اند به صورت مجزا توسط نرم افزار PVsyst صورت گرفته است.

۲-۳-۳ ماژول و اینورتر مورد استفاده

در انتخاب ماژول علاوه بر تطابق اینورتر و ماژول باید به این نکته هم توجه کنیم که در بازار ایران باید برندهای انتخابی موجود باشند. ماژول انتخابی از مونو کریستال از مدل **suntech** و ۳۵۰ وات می‌باشد. در جدول ۹ مشخصات ماژول انتخابی قابل مشاهده می‌باشد.

جدول (۹) مشخصات ماژول انتخابی

پارامتر	نماد	واحد	مقدار
توان خروجی	P_{max}	وات (W)	350
ولتاژ در توان بیشینه	V_{mpp}	ولت (V)	36.2
جریان در توان بیشینه	I_{mpp}	آمپر (A)	9.7
ولتاژ مدار باز	V_{oc}	ولت (V)	46.2
جریان اتصال کوتاه	I_{sc}	آمپر (A)	10.17
راندمان ماژول	η	%	23.01

در انتخاب اینورتر برای نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک متصل به شبکه علاوه بر توجه به پارامترهای اقتصادی و راندمان دستگاه باید به مسایل حفاظتی دستگاه نیز توجه داشت. از جمله این حفاظت‌ها سیستم حفاظت جزیره ای می‌باشد که در صورت قطع شدن برق شبکه به منظور تعمیرات یا مانور در شبکه از تزریق توان به شبکه برای حفظ ایمنی نفرات جلوگیری کند. در جدول (۱۰) مشخصات اینورتر انتخابی قابل مشاهده می‌باشد.

جدول (۱۰) مشخصات اینورتر انتخابی

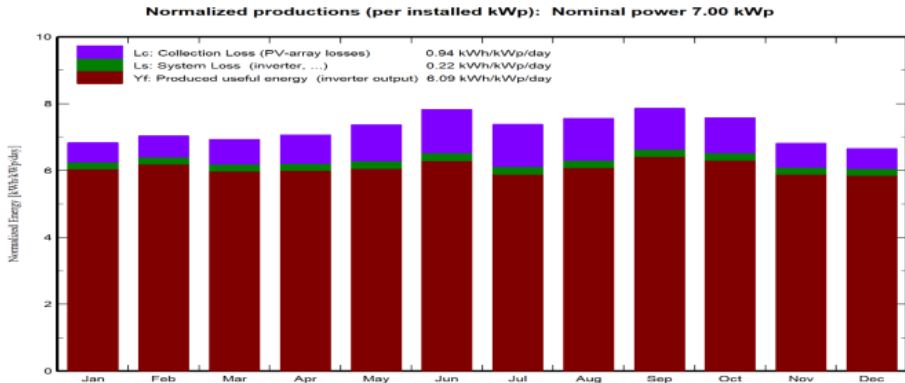
مقدار	واحد	پارامتر	
7300	وات (W)	Max DC power	ماکزیمم توان DC
600	ولت (V)	Max DC voltage	ماکزیمم ولتاژ DC
480	ولت (V)	voltage nominal DC	ولتاژ نامی DC
480	ولت (V)	range voltage MPP	محدوده ولتاژ MPP
245	ولت (V)	voltage start-voltage DC Min	کمترین ولتاژ DC - ولتاژ آغازین
14.8	آمپر (A)	current input Max	ماکزیمم جریان ورودی
7000	وات (W)	AC nominal power	توان نامی AC
240	ولت (V)	AC nominal voltage	ولتاژ نامی AC
110-260	ولت (V)	AC voltage range	محدوده ولتاژ AC
29.2	آمپر (A)	current output Max	ماکزیمم جریان خروجی
96.8	%	efficiency Max	ماکزیمم راندمان

۳-۳-۳ طراحی نیروگاه فتوولتائیک نصب شده در پشت بام

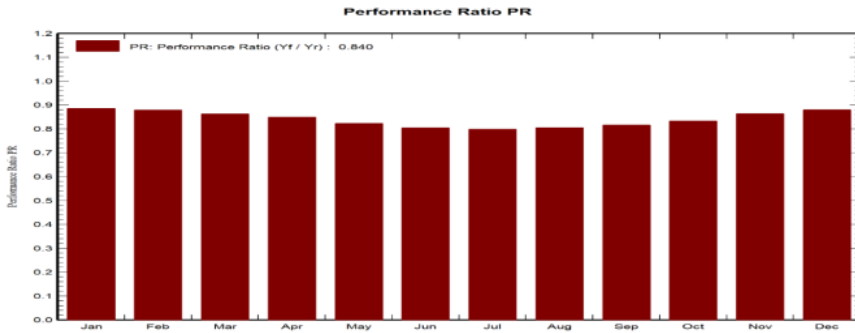
در این پژوهش با توجه به فضای در دسترس در پشت بام بنا یک نیروگاه فتوولتائیک روی پشت بام به ظرفیت ۷ کیلووات در نظر گرفته شده است. بدین منظور از پانل‌های ۳۵۰ واتی مونو کریستال از برند suntech به تعداد ۲۰ عدد استفاده شده است که نحوه قرارگیری پانل‌ها نصب شده روی پشت بام به دلیل فضای قابل استفاده با دو آرایه هم‌بندی شده است. هر آرایه شامل ۱۰ عدد پانل می‌باشد که به صورت سری متصل می‌باشند.

۴-۳-۳ نتایج حاصل از شبیه سازی

شکل (۳) نشان دهنده تلفات ماهیانه دریافت انرژی و تجهیزات سیستم به نسبت انرژی تولید شده توسط نیروگاه می باشد. همانطور که مشاهده می شود در نمودار دو دسته از افت ها نمایش داده شده است. قسمت سبز رنگ مربوط به افت سیستم (اینورتر و...) می باشد. قسمت بنفش مربوط به افت جمع آوری تابش است که در آرایه های PV رخ می دهد. افت حاصل از سیستم در طول سال تغییرات کمی دارد در حالیکه افت حاصل از آرایه ها در فصول گرم سال افزایش می یابد و گرما باعث کاهش راندمان سلول های خورشیدی می باشد. در ماه های گرم سال به دلیل طولانی بودن طول روز و افزایش ساعات تابش نسبت به ماه های سرد سال انرژی بیشتری در طول روز توسط نیروگاه فتوولتائیک تولید می شود. در شکل (۳) همانطور که قابل مشاهده است میزان تولید توان در ماه های مختلف سال با نوسان همراه است که دلیل این امر وجود سایه یک درخت در ضلع جنوبی ساختمان به ارتفاع ۱۰ متر و در فاصله ۴ متری از ساختمان می باشد که به دلیل متغیر بودن ارتفاع خورشید در ماه های مختلف سال این نوسان در نمودار میله ای تولید انرژی ایجاد شده است. تلفات AC سیستم ۰/۲۲ کیلووات ساعت در روز می باشد و تلفات DC سیستم ۰/۹۴ کیلووات ساعت در روز می باشد.



شکل (۳) تلفات ماهانه دریافت انرژی و تجهیزات سیستم به نسبت انرژی تولید شده توسط اینورتر



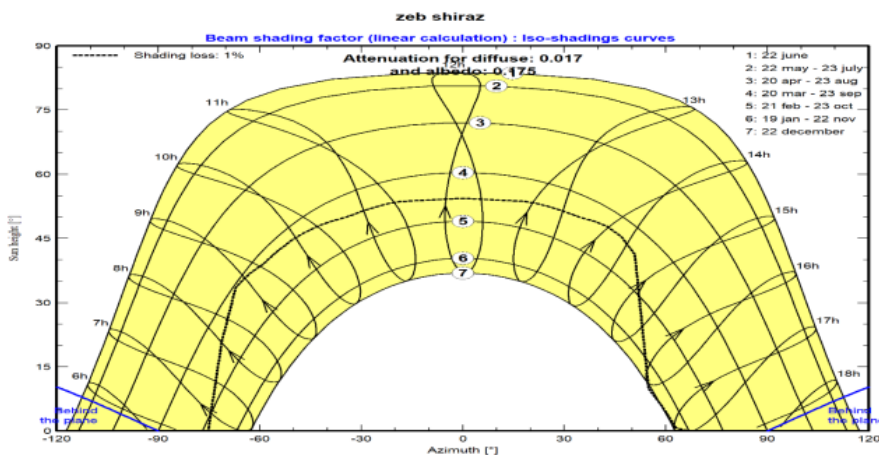
شکل (۴) ضریب عملکرد ماهانه نیروگاه در طول یکسال

شکل (۴) ضریب عملکرد ماهانه نیروگاه در طول یک سال می باشد. که در این بررسی میانگین سالانه به ۸۴ درصد رسیده و در حالت کلی، بهترین وضعیت آن بین ۸۰ تا ۸۸ درصد می باشد که از تقسیم میزان انرژی تزریق شده به شبکه به میزان انرژی دریافتی از سوی پانل‌ها بدست می آید. بیشترین ضریب عملکرد نیروگاه ۸۹ درصد می باشد که این ضریب عملکرد در ماه‌های سرد سال اتفاق می افتد و کمترین ضریب عملکرد ۸۱ درصد می باشد که مربوط به ماه گرم سال می باشد.

جدول (۱۱) جدول میزان تابش و انرژی تزریقی به شبکه بصورت ماهیانه و سالیانه

Balances and main results

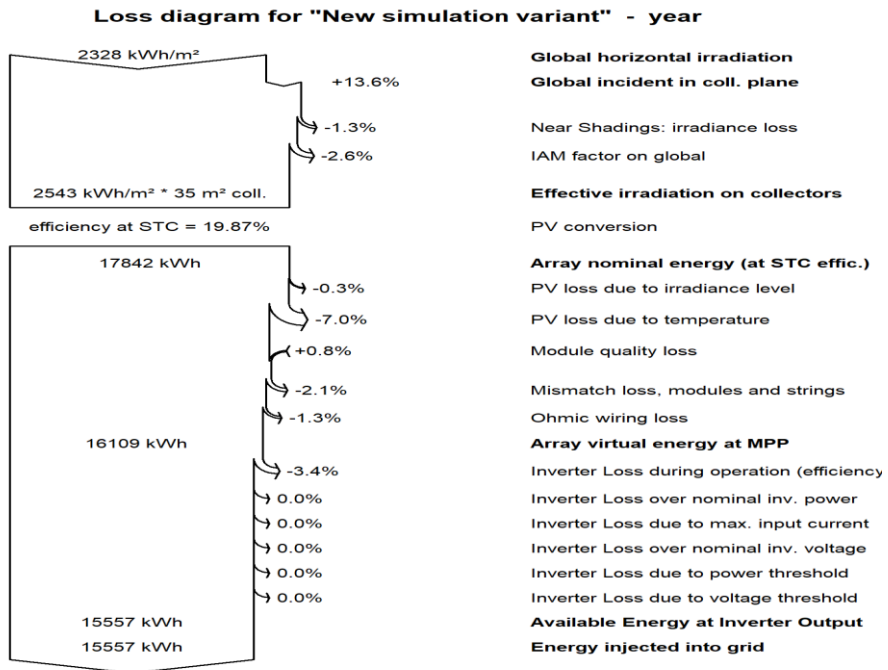
	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	ratio
January	136.6	19.56	6.18	211.8	202.5	1359	1314	0.886
February	144.9	25.84	8.80	197.2	189.6	1257	1215	0.880
March	183.5	43.15	13.41	215.0	207.5	1345	1299	0.863
April	205.5	56.43	18.02	212.1	204.1	1307	1262	0.850
May	245.1	53.70	24.56	228.6	219.8	1365	1317	0.823
June	264.0	46.33	28.91	234.8	226.0	1372	1323	0.805
July	251.6	52.14	31.39	228.8	220.0	1326	1279	0.799
August	237.4	46.36	29.91	234.6	226.3	1369	1322	0.805
September	210.3	33.23	25.71	235.7	227.9	1395	1347	0.816
October	181.4	28.07	20.24	235.0	226.5	1418	1370	0.833
November	138.7	25.02	11.78	204.6	196.0	1281	1238	0.864
December	128.7	20.71	7.54	206.4	197.2	1316	1272	0.880
Year	2327.7	450.55	18.93	2644.6	2543.3	16109	15557	0.840



شکل (۵) مسیر حرکتی خورشید و تلفات سایه اندازی

در شکل (۶) خطوط سایه درخت که باعث افت راندمان نیروگاه می باشد بصورت خط چین قابل مشاهده می باشد. همانطور که در شکل مشخص است زمانی که زاویه ارتفاع خورشید به بالای ۵۰ درجه می رسد دیگر سایه درخت بر روی نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک واقع در در پشت بام وجود ندارد اما همچنان بر روی نیروگاه فتوولتائیک BIPV واقع در بدنه ساختمان

سایه اندازی دارد. این درخت ارتفاع ۱۰ متر، عرض ۲.۵ متر و در فاصله ۴ متری از ساختمان و در ضلع جنوبی ساختمان واقع شده است. بر اساس شکل ۶ تابش افقی در منطقه نصب نیروگاه برابر 2328 kWh/m^2 در سال می باشد، مجموع تابش های *diffuse* و *reflect* نیز باعث افزایش ۱۳/۶٪ توان رسیده به سطح پانل ها می گردد. از این میزان توان تابشی رسیده به سطح پانل ها به دلیل بازتابش از سطح پانل ها به میزان ۲/۶٪ تلفات ایجاد می شود و در نهایت به میزان 2543 kWh/m^2 توان تابشی به سطح پانل ها می رسد و با راندمان ۱۹/۸۷٪ پانل ها توان تولیدی نیروگاه که به صورت DC می باشد معادل 17842 MWh در سال می باشد. پس از کسر تلفات از توان تولیدی که شامل تلفات ناشی پانل، اینورتر و وایرینگ می شود 15557 MWh توان به صورت سالانه به شبکه تزریق می گردد. بیشترین تلفات مربوط به اثر دمای پانل می باشد که موجب افت راندمان ۷ درصدی می گردد. مجموع تلفات dc سیستم ۱۰/۷ درصد می باشد و مجموع تلفات ac سیستم ۳/۴ درصد می باشد که مربوط به اینورتر می باشد.



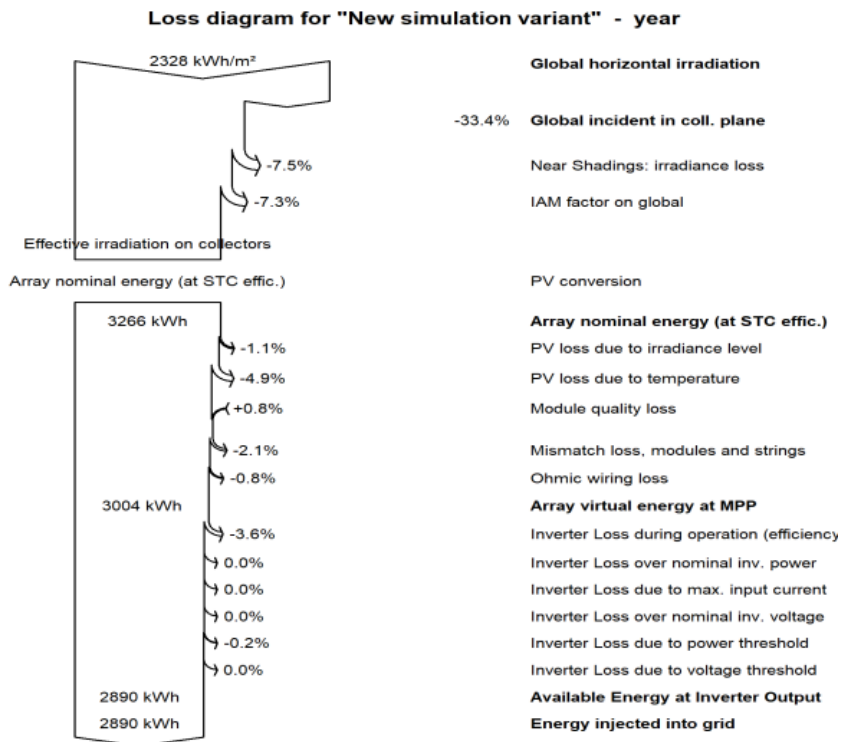
شکل (۶) نمودار تلفات کل نیروگاه و میزان تابش و تزریق به شبکه در سال برای نیروگاه خورشید

۳-۳-۳ طراحی نیروگاه تلفیق شده با ساختمان BIPV

به منظور استفاده حداکثری از فضای موجود در قسمت بیرونی ساختمان جهت تامین انرژی علاوه بر فضای پشت بام، از بدنه ساختمان نیز جهت نصب پانل های فتوولتائیک استفاده می کنیم. با توجه به کاهش هزینه احداث نیروگاه های فتوولتائیک در سال های اخیر، احداث نیروگاه ها به صورت BIPV با وجود میزان تابش دریافتی کمتر نسبت به پشت بام با توجه اقتصادی همراه است. پانل های مورد استفاده در نیروگاه BIPV از نوع مونو کریستال ۳۵۰

وات از برند **suntech** می باشد. برای احداث این نیروگاه از ۷ عدد پانل ۳۵۰ وات استفاده گردیده است.

در شکل (۷) دیاگرام کلی توان تولیدی و تلفات نیروگاه نصب شده در بدنه ساختمان قابل مشاهده است. بر اساس داده های شکل (۷) تابش افقی نصب نیروگاه 2328 kWh/m^2 می باشد، از این میزان توان تابشی رسیده به سطح پانل ها به دلیل تلفات سایه ی نزدیک به میزان $7/5\%$ تلفات ایجاد می شود و تلفات IAM نیز باعث ایجاد تلفات $7/3\%$ می گردد. به دلیل موقعیت نصب پانل ها به میزان $33/4\%$ نیز از میزان تابش قابل دریافت توسط پانل ها کاسته می گردد. پس از کسر سایر تلفات شامل تلفات ناشی پانل اینورتر و وایرینگ می شود 2890 kWh/m^2 توان به صورت سالانه به شبکه تزریق می گردد.



شکل (۷) نمودار تلفات کل نیروگاه BIPV و میزان تابش و توزیع به شبکه در سال برای نیروگاه خورشیدی

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های انجام شده، ساختمان طراحی شده یک ساختمان انرژی صفر متصل به شبکه می‌باشد. میزان تولید انرژی در این ساختمان توسط نیروگاه فتوولتائیک نصب شده در پشت بام معادل ۵۶۰۰۵۲۰۰ kJ و نیروگاه BIPV نصب شده در بدنه ساختمان معادل ۱۰۴۰۴۰۰ kJ در سال می‌باشد که در مجموع انرژی تولید شده توسط نیروگاه‌های فتوولتائیک به ۶۶۴۰۹۲۰۰ kJ در سال می‌رسد. در این بنا برای تامین آب گرم مصرفی از

یک آبگرمکن خورشیدی استفاده شده است که ظرفیت مخزن آن ۳۰۰ لیتر می باشد. با توجه به ظرفیت گرمای ویژه اب که معادل $4/2$ کیلو ژول بر درجه سلسیوس بر کیلوگرم می باشد و با فرض مصرف متوسط روزانه ۱۵۰ لیتر اب گرم در ساختمان و افزایش دمای اب از ۲۵ درجه سانتی گراد بعنوان دمای متوسط محیط به ۶۰ درجه سانتی گراد که با افزایش ۳۵ درجه ای دما همراه است می توان نتیجه گرفت در سال 8048250 kJ در مصرف انرژی صرفه جویی شده است.

در مجموع می توان نتیجه گرفت که انرژی تولید شده و صرفه جویی شده سالانه در بنای انرژی صفر این پژوهش معادل 74457450 kJ می باشد. در مقابل، انرژی مصرفی این ساختمان انرژی صفر در سال معادل 49407840 kJ می باشد. در نتیجه این ساختمان انرژی صفر با مازاد تولید انرژی قابل توجه معادل 25049610 kJ در سال یک بنای انرژی صفر مطلق یا انرژی صفر مثبت می باشد. در راستای بهینه سازی مصرف انرژی با استفاده از نرم افزار Energy Plus ساختمانی طراحی شده است که در مقایسه با ساختمان معمولی کاهش چشمگیری در مصرف انرژی و تولید دی اکسید کربن دارد که گام مهمی در کاهش آلودگی های زیست محیطی برداشته می شود. این ساختمان انرژی صفر باعث انتشار سالانه $61/1438$ kg دی اکسید کربن در جو کره زمین می شود. میزان دی اکسید کربنی که به ازای هر کیلووات برق تولیدی به جو زمین منتشر می شود به نوع سوخت مصرفی وابسته است. در ایران با توجه به نوع سوخت فسیلی مصرفی نیروگاه های تولید کننده انرژی الکتریکی، طبق گزارش وزارت نیرو به ازای هر کیلووات انرژی الکتریکی تولیدی $537/93$ گرم کربن دی اکسید وارد جو کره زمین می شود. بر این اساس و با توجه به تولید 18447 MWh انرژی الکتریکی سالانه توسط نیروگاه نصب شده در بنا سالانه از انتشار $9923/19$ کیلو گرم دی

اکسید کربن به جو کره زمین کاسته خواهد شد. با توجه به عملکرد ابگر مکن خورشیدی این بنا در کل ۱۱۱۲۵/۸ کیلو گرم سالانه از انتشار کربن دی اکسید جلوگیری می کند و با توجه به تولید ۱۴۳۸/۶ کیلو گرمی دی اکسید کربن توسط بنا، برآیند تولید دی اکسید کربن در این بنا با کاهش ۹۶۸۷/۲ کیلو گرمی همراه می باشد. بر اساس استانداردهای سازمان محیط زیست کانادا هر درخت بالغ در سال می تواند ۱۱۸ کیلو گرم دی اکسید کربن جذب کند که بر این اساس احداث این ساختمان انرژی صفر معادل ۹۵ درخت در سال در کاستن از دی اکسید کربن جو کره زمین عملکرد دارد.

استفاده از پانل‌های فتوولتائیک در ساختمان امکان استفاده از انرژی تجدید پذیر همچون انرژی خورشیدی را میسر می کند و با جذب انرژی خورشیدی و تولید برق ساختمان مورد نظر به یک ساختمان خود کفا در تولید انرژی رسیده است. لازم به ذکر است پانل‌ها از نوع مونو کریستال، باعث افزایش راندمان می شوند. نتایج به دست آمده نشان می دهد که میزان مصرف انرژی در ساختمان مورد بررسی در فصل زمستان بیشتر از تابستان است که به دلیل شرایط آب و هوایی و پایین بودن راندمان تجهیزات گازی این امر صورت می گیرد.

۵. منابع

[۱] M.T. Iqbal, A feasibility study of a zero energy home in Newfoundland, Renewable Energy ۲۹ (۲) (۲۰۰۴).

[۲] Aksoy, U.T. & Inalli, M. (۲۰۰۶). "Impacts of some building passive design parameters on heating demand for a cold region", pp. ۲۴۵-۲۷۰.

[۳] P. Torcellini, S. Pless, M. Deru, D. Crawley, Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition, in: ACEEE Summer Stud, Pacific Grove, California, USA, ۲۰۰۶.

[۴] P. Platell, D.A. Dudzik, Zero Energy Houses Geoexchange, Solar CHP, and Low Energy Building Approach, in: Energy Sustainability Conference, Long Beach, California, ۲۰۰۷.

[۵] Wang, L., Gwilliam, J., and Jones, P., ۲۰۰۹. “Casestudy of zero energy house design in UK”. *Energyand Buildings*, ۴۱, pp. ۱۲۱۵-۱۲۲۲.

[۶] P. Hernandez, P. Kenny, From net energy to zero energy buildings: defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB) *Energy and Buildings* ۴۲ (۶) (۲۰۱۰) ۸۱۵-۸۲۱.

[۷] U.S. Department of Energy(۲۰۲۲) ,energy plus Engineering Reference

[۸] D. Crawley, S. Pless, P. Torcellini, Getting to net zero, *ASHRAE Journal* ۵۱ (۹)(۲۰۰۹) ۱۸

[۹] www.pvsyst.com

[۱۰] Duffie, J.A. and Beckman, W.A., ۱۹۹۲ ”Solar Energy Engineering”, John Wiley, U.S.A.