Archive of SID

فصلنامه اقتصاد و برنامه ریزی شهری

سایت نشریه: http://eghtesadeshahr.tehran.ir/

مقاله پژوهشی

بررسی فنی و اقتصادی سامانهٔ خورشیدی پشت‌بامی با ظرفیت ۵ کیلووات در شهر تهران

محسن فرزان، مجید زندی*، ابوالقاسم مسیبی جیرهنده

لابراتوار مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی تهران

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۷

تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۸/۲۱

کلمات کلیدی:

سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک

آنالیز اقتصادی

محیط زیست

نرم‌افزار PVsyst

DOI: 10.22034/UE.2020.09.04.02

چکیده:

با توجه به توسعهٔ شهرنشینی و افزایش نیاز به تأمین پایدار انرژی و کاهش انتشار آلاینده‌ها، جایگاه انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک برای رفع این چالش‌ها بیش از پیش ارتقا پیدا کرده است. با توجه به مقیاس‌پذیری سامانه‌های خورشیدی فتوولتاییک، می‌توان براساس میزان فضاهای در دسترس، اقدام به تولید انرژی از فضای بدون استفادهٔ ساختمان‌های شهری داشت. کلان‌شهر تهران با بهره‌مندی از پتانسیل بالای انرژی خورشیدی و نیازمندی مصرف شهری، می‌تواند نگاه ویژه‌ای به توسعهٔ انرژی خورشیدی داشته باشد. در مطالعهٔ حاضر، ابتدا به آنالیز فنی یک سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک پشت‌بامی با ظرفیت ۵ کیلووات در شهر تهران با استفاده از ماژول‌های فتوولتاییک ساخت ایران در محیط نرم‌افزار PVsyst، پرداخته شده است. سپس، براساس جدیدترین مصوبهٔ وزارت نیرو در زمینهٔ خرید تضمینی برق خورشیدی، آنالیز اقتصادی با در نظر گرفتن ضریب تعدیل در خرید تضمینی برق تجدیدپذیر انجام شده است. آنالیز فنی نشان داد با احداث سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک پشت‌بامی با ظرفیت ۵ کیلووات در شهر تهران، می‌توان طی سال به طور متوسط و به‌میزان حدود ۹ مگاوات‌ساعت انرژی الکتریکی به شبکهٔ سراسری برق تزریق کرد. با توجه به محاسبهٔ درآمد سامانه با در نظر گرفتن متوسط ضریب تعدیل سالانه، بازگشت سرمایهٔ این سامانه، کمتر از ۵ سال با نرخ بازگشت سرمایه حدود ۳۰ درصد خواهد بود. همچنین، این سامانه به‌طور خالص از انتشار بیش از ۱۲۰ تن دی‌اکسید کربن طی عمر ۳۰ سالهٔ خود جلوگیری می‌کند.

مقدمه

بعد از وقوع انقلاب صنعتی در قرن هجدهم میلادی و گسترش شهرنشینی، استفاده از سوخت‌های فسیلی در زندگی شهری به‌سرعت افزایش پیدا کرد. از این‌رو، تأمین پایدار انرژی، کاهش انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی و دوری جستن از گرمایش جهانی از جمله نگرانی‌های کنونی جوامع بشری است. با توسعهٔ زندگی شهری، شهرها تبدیل به محل مصرف انرژی و انتشار گازهای آلاینده شده‌اند. شهرهای بزرگ به‌طور تقریبی سه‌چهارم از سوخت‌های فسیلی جهان را مصرف می‌کنند و بیش از ۸۰ درصد از انتشار کل گاز کربن را منجر می‌شوند (گائوتام[1]، لی[2] و رو[3]، ۲۰۱۵). در ایران، بیش از ۳۶ درصد از مصرف انرژی متعلق به ساختمان‌ها است؛ این میزان معادل ۴۳۲/۴ میلیون بشکه نفت خام است که ۸۵ درصد این تقاضای انرژی توسط برق و گاز تأمین می‌شود. بخش ساختمان‌ها نیز مسئول انتشار حدود ۲۵ درصد از گازهای گلخانه‌ای در کشور هستند (اشراقی و همکاران، ۲۰۱۴). همچنین، حدود ۴۵ درصد از کل مصرف برق شهر تهران در بخش خانگی صورت می‌گیرد. از این‌رو، بخش خانگی در شهر تهران پتانسیل زیادی برای هدف‌گذاری به منظور استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را دارد (بشیری و علیزاده، ۲۰۱۸).

توسعهٔ پایدار یک کشور زمانی محقق می‌شود که انرژی مورد نیاز خود را از طریق راه‌کارهای پایدار تأمین کند. امروزه، فناوری تبدیل مستقیم انرژی پاک و تجدیدپذیر خورشید به الکتریسیته توسط سامانه‌های خورشیدی فتوولتاییک، ازجمله روش‌های تأمین پایدار انرژی

نویسنده مسئول:

ایمیل: m_zandi@sbu.ac.ir

1 Gautam
2 Li
3 Ru

www.SID.ir

Archive of SID

است. در یک دهۀ اخیر، از سویی فناوری این سامانه‌ها به‌طور درخور توجهی پیشرفت کرده و از سوی دیگر، قیمت آن کاهش چشم‌گیری داشته است. به این دلیل، آن‌ها در مقایسه با دیگر روش‌های تبدیل منابع اولیۀ انرژی‌های تجدیدپذیر به انرژی مصرفی، از سرعت رشد بسیار زیادی برخوردار بوده‌اند.

سامانه‌های خورشیدی فتوولتاییک متصل به شبکۀ سراسری برق را براساس مقیاس آن می‌توان به سه دستۀ اصلی تقسیم‌بندی کرد:

- سامانۀ خورشیدی فتوولتاییک مقیاس بزرگ (نیروگاهی)
- سامانۀ خورشیدی فتوولتاییک مقیاس متوسط (تجاری/صنعتی)
- سامانۀ خورشیدی فتوولتاییک مقیاس کوچک (خانگی/مسکونی)

با کاهش قیمت فناوری پنل‌های خورشیدی فتوولتاییک، نگاه مدیران و تصمیم‌گیران شهری به سامانه‌های خورشیدی فتوولتاییک خانگی به‌عنوان یک گزینۀ مناسب و قابل رشد برای خنثی کردن استفاده از منابع سوخت فسیلی و همچنین فرصت سرمایه‌گذاری برای شهروندان و کسب‌وکارها، جلب شد(منگیانت[4] و همکاران،۲۰۲۰). از این‌رو، در کشورهای مختلف قانون‌های تشویقی و تنبیهی برای سیاست‌گذاری به منظور بهره‌گیری هرچه بیشتر از انرژی خورشیدی شکل گرفت که از آن جمله می‌توان به اعطای وام‌های کم‌بهره، اعتبار مالیاتی، خرید تضمینی برق خورشیدی و خودتأمینی برق خورشیدی اشاره کرد.

از میان روش‌های یادشده، در کشور ایران، برق تولیدشده از طریق منابع تجدیدپذیر و پاک به‌صورت خرید تضمینی به‌مدت ۲۰ سال توسط وزارت نیرو خریداری می‌شود. بنابراین، شهروندان ایرانی می‌توانند با احداث سامانۀ خورشیدی فتوولتاییک در پشت‌بام ساختمان‌های خود، ضمن کمک به تأمین انرژی مورد نیاز کشور و حفاظت از محیط زیست، کسب درآمد پایدار و مطمئن داشته باشند.

در پژوهش حاضر، به بررسی فنی و اقتصادی احداث یک سامانۀ خورشیدی پشت‌بامی به ظرفیت نامی ۵ کیلووات در شهر تهران پرداخته شده است. در این مطالعه، جدیدترین مصوبۀ وزارت نیرو در زمینۀ خرید تضمینی برق از سامانه‌های خورشیدی، ضریب استفاده از تجهیزات داخلی و نرخ تعدیل قیمت پایۀ خرید تضمینی برق در محاسبه‌های اقتصادی مد نظر قرار گرفته است.

پیشینۀ تحقیق

در بسیاری از پژوهش‌های اخیر در حوزۀ انرژی شهری، سامانه‌های خورشیدی فتوولتاییک خانگی که اغلب روی پشت‌بام منازل نصب می‌شود، به‌عنوان راه‌کار تأمین انرژی مورد نیاز شهرها شناخته می‌شود.

راج گائوتام و همکاران مطالعۀ دقیقی برای تشخیص پتانسیل سامانه‌های خورشیدی فتوولتاییک پشت‌بامی در کشور نپال به منظور کمک به کاهش بحران انرژی در این کشور انجام دادند. آن‌ها دریافتند که با استفاده از ۱۰ درصد از مساحت پشت‌بام شهرهای کشور نپال، امکان تولید ۳۳۳۸ مگاوات‌ساعت انرژی طی سال از ۴۹۲ مگاوات سامانۀ خورشیدی فتوولتاییک پشت‌بامی نصب‌شده وجود دارد. تحقیق یادشده، حمایت‌های قانونی و مشوق‌های مالی را از جمله راه‌کارهای توسعۀ سامانۀ خورشیدی فتوولتاییک پشت‌بامی در کشور نپال، دانسته است (گائوتام، لی و رو، ۲۰۱۵).

با توجه به ضرورت توسعۀ استفاده از انرژی خورشیدی در زندگی شهری، لی کو[5] و همکاران پژوهشی با هدف تخمین ظرفیت سامانۀ خورشیدی پشت‌بامی در شهرهای مختلف کشور تایوان انجام داده‌اند. مطالعۀ یادشده ظرفیت نصب سامانۀ خورشیدی پشت‌بامی در کشور تایوان را حدود ۱۲۴۲۸/۵ مگاوات تخمین زده است (کو و همکاران ۲۰۱۵).

منگیانت و همکاران به بررسی فنی و اقتصادی استفاده از سامانۀ خورشیدی فتوولتاییک خانگی در شهر براونزویل واقع در ایالت تگزاس آمریکا پرداخته‌اند. آنالیز فنی آن‌ها نشان داد با احداث سامانۀ خورشیدی فتوولتاییک روی ساختمان‌های شهر براونزویل، ۱۱ درصد از نیاز شهر به برق شبکۀ سراسری کاسته می‌شود. همچنین، آنالیز اقتصادی صورت‌گرفته در پژوهش یادشده نشان داد دورۀ بازگشت سرمایۀ این سامانه برای مردم شهر براونزویل بیش از ۱۵ سال است که نیازمند مشوق‌های مالی برای افزایش صرفۀ اقتصادی آن است (منگیانت و همکاران،۲۰۲۰).

کشورهای منطقۀ غرب آسیا و شمال آفریقا در حال تنوع‌بخشی به نیازمندی انرژی شهری خود از طریق به‌کارگیری فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر هستند. گریفیتس و میلز ط در مطالعۀ خود روی سامانه‌های خورشیدی فتوولتاییک پشت‌بامی در امارات نشان دادند با توجه به کاهش هزینۀ مربوط به تجهیزات این سامانه‌ها، احداث آن در امارات توجیه اقتصادی دارد. به‌دلیل پیک‌سایی، کاهش نیاز به توسعۀ زیرساخت‌های شبکۀ توزیع و انتقال، فراهم کردن امنیت انرژی، مسائل زیست‌محیطی، آموزشی و اجتماعی، احداث سامانه‌های خورشیدی فتوولتاییک پشت‌بامی برای مسئولان دولتی حوزۀ انرژی، جذاب است. همچنین، این دسته از سامانه‌های خورشیدی می‌توانند تبدیل به بخشی از استراتژی انرژی منطقه شود (گریفیتس[6] و میلز[7]، ۲۰۱۶).

لوپز[8] و استینینگر[9] نشان دادند با در نظر گرفتن قوانین بخش انرژی در کشور اسپانیا، احداث سامانۀ خورشیدی فتوولتاییک پشت‌بامی با ظرفیت ۱/۵ تا ۲ کیلووات برای تأمین بخشی از برق انرژی ساختمان‌ها، به‌صرفه است(لوپز و استینینگر، ۲۰۱۷).

اخباری و همکاران براساس مصوبۀ سال ۱۳۹۵ وزارت نیرو مبنی بر خرید تضمینی برق از سامانه‌های تجدیدپذیر و پاک به ارزیابی فنی و اقتصادی سامانۀ خورشیدی فتوولتاییک ۱۰ کیلووات خانگی در شهر تهران را با استفاده از نرم‌افزارهای PVsyst پرداختند. آن‌ها دریافتند که بازگشت سرمایۀ اولیۀ این سامانه در ۶۳ ماه اول انجام می‌شود (اخباری، اسلامی و بیدی، ۱۳۹۷).

4 Mangiante

5 Ko

6 Griffiths

7 Mills

8 López

9 Steininger

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱. شماتیکی از یک سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک پشت‌بامی متصل به شبکه

مواد و روش‌ها

در شکل ۱، شماتیکی از یک سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک پشت‌بامی متصل به شبکه نشان داده شده است. در سامانه‌های متصل به شبکه، برق تولیدی سامانه به شبکهٔ سراسری برق تزریق می‌شود.

اجزای سامانه‌های خورشیدی فتوولتاییک

اجزای اصلی یک سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک متصل به شبکه به شرح زیر است.

پنل‌های خورشیدی فتوولتاییک

تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به الکتریسیته توسط پنل‌های خورشیدی فتوولتاییک انجام می‌شود. برق تولیدشده توسط پنل‌های خورشیدی فتوولتاییک از نوع مستقیم[10] است. پنل‌های خورشیدی فتوولتاییک رایج به سه نوع منوکریستال، پلی‌کریستال و لایهٔ نازک، تقسیم‌بندی می‌شوند.

اینورتر خورشیدی

برای آنکه برق تولیدی توسط پنل‌های خورشیدی فتوولتاییک برای تزریق به شبکهٔ برق مناسب باشد، از اینورترهای خورشیدی استفاده می‌شود. تبدیل برق مستقیم تولیدی پنل‌های خورشیدی فتوولتاییک به برق متناوب[11] و تنظیم فرکانس آن براساس فرکانس شبکهٔ سراسری برق از وظایف اصلی اینورترهای خورشیدی است.

سازهٔ نگهدارنده

به‌منظور استحصال هرچه بیشتر انرژی خورشیدی توسط پنل‌های خورشیدی فتوولتاییک، باید پنل‌ها در زاویهٔ مناسب براساس محل ساختگاه سامانه، نصب شود. از این‌رو، از سازه‌های نگهدارنده از جنس آلومینیوم و یا آهن با روکش گالوانیزه برای احداث سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک استفاده می‌شود.

تابلوهای برق

تجهیزات مربوط به حفاظت اضافه جریان و ولتاژ در سمت‌های DC و AC سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک، در داخل تابلوهای برق قرار می‌گیرد.

کنتور هوشمند

به‌منظور محاسبهٔ میزان انرژی تزریق‌شده به شبکهٔ سراسری برق توسط سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک از کنتورهای هوشمند مورد تأیید شرکت توزیع برق، استفاده می‌شود.

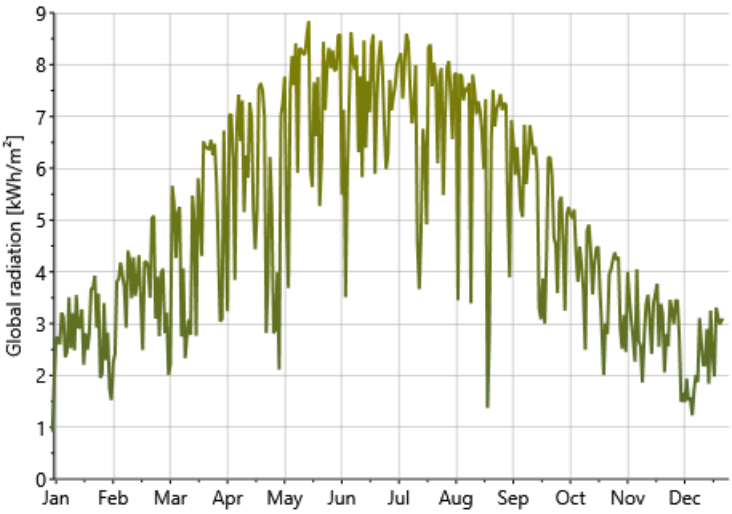
محدودهٔ مطالعه‌شده

کشور ایران با حدود ۳۰۰ روز آفتابی در سال با دریافت متوسط سالانهٔ تابش خورشیدی ۲۰-۳۰ مگاژول بر مترمربع، روی کمربند خورشیدی جهانی قراردارد (نجفی و همکاران،۲۰۱۵). تهران با عرض جغرافیایی ”۳۹ ’۴۱ °۳۵ درجهٔ شمالی و طول جغرافیایی ”۱۷ ’۲۵ °۵۱ درجهٔ شرقی، از شمال محدود به رشته‌کوه البرز و از جنوب هم‌مرز با دشت‌های مرکزی ایران است (بخشی و ساده، ۲۰۱۸). کلان‌شهر تهران با بهره‌مندی از تابش ۴/۵ـ ۵/۲ کیلووات‌ساعت بر مترمربع در روز، از پتانسیل بسیار

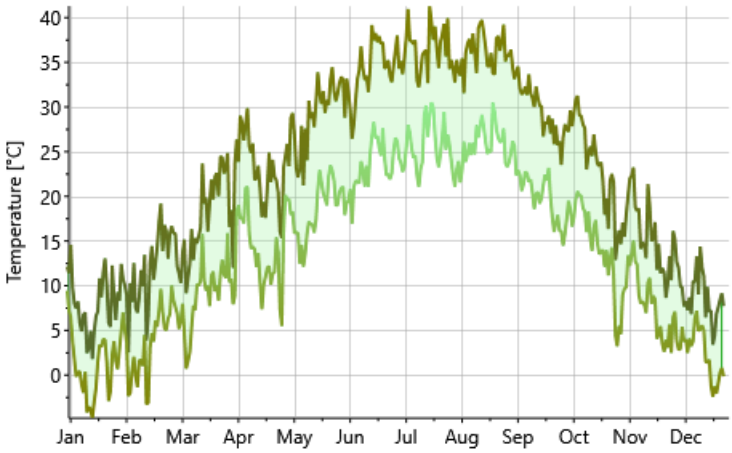
10 Direct Current (DC)
11 Alternating Current (AC)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. تغییرات شدت تابش کل روزانهٔ شهر تهران



شکل ۳. تغییرات دمای روزانهٔ شهر تهران طی یک سال

مطلوبی برای بهره‌مندی از سامانه‌های خورشیدی فتوولتاییک خانگی پشت‌بامی در شهر تهران برخوردار است (بشیری و علیزاده، ۲۰۱۸)

شکل ۲ تغییرات شدت تابش کل روزانه براساس مقدار متوسط اطلاعات جمع‌آوری‌شده از سال ۱۹۹۱ تا سال ۲۰۱۰ برای شهر تهران را طی یک سال را نشان می‌دهد که از نرم‌افزار تخصصی Meteonorm7 استخراج شده است.

شکل ۳ میزان حداقل و حداکثر تغییرات دمای روزانهٔ شهر تهران طی یک سال را نشان می‌دهد. این نمودار براساس اطلاعات آب‌وهوایی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ به دست آمده است که از نرم‌افزار تخصصی Meteonorm7 استخراج شده است. دما از عوامل مهم اثرگذار بر عملکرد نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتاییک است.

انرژی تولیدی یک سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک پشت‌بامی نمونه در شهر تهران

در مطالعهٔ حاضر، شبیه‌سازی یک سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک خانگی (پشت‌بامی) با ظرفیت ۵ کیلووات در شهر تهران صورت گرفته است. مساحت مورد نیاز برای احداث این سامانه، حدود ۵۰ مترمربع مفید است. شبیه‌سازی انجام‌شده توسط نرم‌افزار PVsyst نسخهٔ ۶/۸۱ انجام شده است. این نرم‌افزار را می‌توان جزء معتبرترین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی سامانه‌های خورشیدی فتوولتاییک دانست که نتایج آن مورد تأیید سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) است.

در شبیه‌سازی انجام‌شده، زاویهٔ بهینهٔ قرارگیری ماژول‌های فتوولتاییک روی پشت‌بام در شهر تهران، ۳۵ درجه (حدود عرض

www.SID.ir

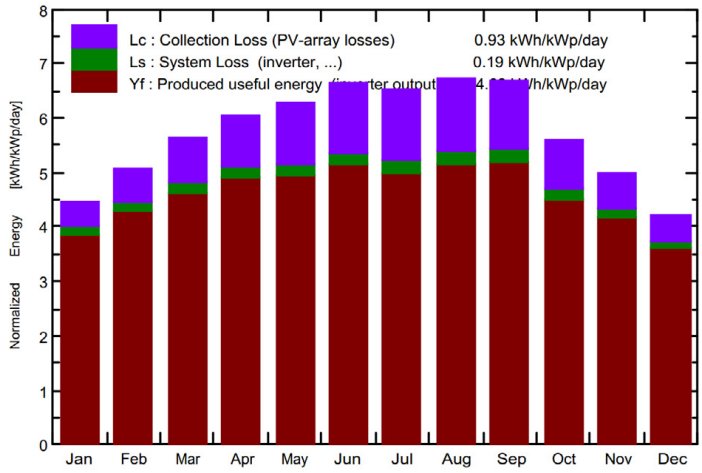
Archive of SID

جدول ۱. مشخصه‌های الکتریکی پنل خورشیدی فتوولتاییک تابان، مدل TBM72-375M

مشخصه	مقدار
توان نامی (وات)	۳۷۵
ولتاژ حداکثر توان (ولت)	۳۹/۷۹
جریان حداکثر توان (آمپر)	۹/۴۳
ولتاژ مدار باز (ولت)	۴۸/۱۸
جریان اتصال کوتاه (آمپر)	۹/۹۱
بازده ماژول (درصد)	۱۹/۳۲

جدول ۲. مشخصه‌های الکتریکی اینورتر فرونیوس، مدل M 5.0.3 SYMO

مشخصه	مقدار
توان خروجی AC (وات)	۵۰۰۰
حداکثر جریان ورودی (آمپر)	۱۶
ولتاژ نامی ورودی (ولت)	۵۹۵
تعداد MPPT	۲
فرکانس خروجی (Hz)	۵۰
حداکثر بازده (درصد)	۹۸



شکل ۴. نسبت میزان انرژی تولیدشده توسط آرایهٔ خورشیدی فتوولتاییک سامانه به میزان توان نامی نصب‌شده

جغرافیایی تهران) در نظر گرفته است تا بیشترین میزان انرژی طی سال استحصال شود. از پنل‌های خورشیدی فتوولتاییک منوکریستال ساخت شرکت ایرانی تامین انرژی برق ایرانیان (تابان) و اینورترهای خورشیدی ساخت کشور اتریش فرونیوس[12] برای طراحی و شبیه‌سازی عملکرد این سامانهٔ خورشیدی، استفاده شده است. مشخصه‌های این دو تجهیز از سامانه را در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

در محاسبه‌های صورت‌گرفته، اتلاف مربوط به دما، مقاومت الکتریکی، افت سالانهٔ کیفیت ماژول‌های فتوولتاییک، عدم انطباق و گردوغبار نیز لحاظ شده است. همچنین، فرض شده است که سایه‌اندازی روی ماژول‌های فتوولتاییک رخ نمی‌دهد.

یافته‌ها

در ادامه، به تشریح نتایج حاصل از شبیه‌سازی سامانهٔ خورشیدی در نرم‌افزار PVsyst و سپس تحلیل اقتصادی آن برای سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک پشت‌بامی در شهر تهران با ظرفیت ۵ کیلووات، پرداخته شده است.

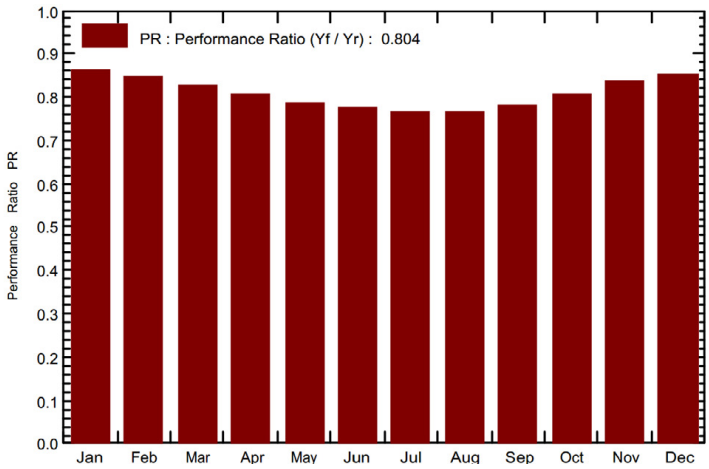
12 Fronius

یافته‌های فنی و محیط زیستی

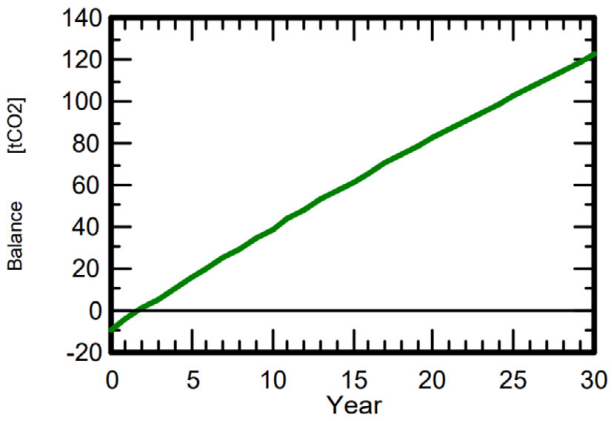
براساس شبیه‌سازی انجام‌شده، سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک پشت‌بامی در شهر تهران با ظرفیت ۵ کیلووات قادر به تولید انرژی به میزان ۸/۸۵ مگاوات‌ساعت طی سال است. در شکل ۴ نمودار نسبت میزان انرژی تولیدشده توسط آرایهٔ خورشیدی فتوولتاییک سامانه به میزان توان نامی نصب‌شده طی یک روز و طی یک سال نشان داده می‌شود. این نمودار معادل انرژی روزانهٔ تولیدشده توسط سامانهٔ فتوولتاییک طراحی‌شده در ماه‌های مختلف سال است که نسبت به توان نامی نیروگاه، مقیاس شده است. بخشی از این انرژی در قسمت‌های مربوط به پنل‌های فتوولتاییک، اینورتر و دیگر تجهیزات تلف می‌شود. با حذف میزان انرژی تلف‌شده، بخش قرمز رنگ شکل ۴ بیانگر میزان انرژی مفید تولیدشدهٔ سامانه طی یک روز است. مشاهده می‌شود که بیشترین انرژی تولیدشده در بهار و تابستان رخ داده است که بر پیک مصرف انرژی الکتریکی مصرفی شهر تهران در تابستان (پیک سرمایشی) نیز منطبق است. از این‌رو، احداث سامانهٔ خورشیدی پشت‌بامی در شهر تهران می‌تواند به پیک‌سایی و جلوگیری از خاموشی‌های ناخواسته طی تابستان نیز کمک شایانی کند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵. نسبت عملکرد سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک طراحی‌شده



شکل ۶. نمودار میزان انتشار/کاهش آلاینده طی چرخهٔ عمر سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک

نسبت عملکرد[۱۳] سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی سامانه است. برای سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک متصل به شبکه، نسبت عملکرد سالانه بین ۷۵ تا ۸۵ درصد، مطلوب است. در شکل ۵ نسبت عملکرد سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک طراحی‌شده در این پژوهش نشان داده شده است. به‌دلیل اتلاف‌های ناشی از افزایش دمای ماژول‌های فتوولتاییک در تابستان، نسبت عملکرد سامانه کاهش یافته است. متوسط نسبت عملکرد سالانه ۸۰ درصد به دست آمده است.

به‌رغم اتمام قرارداد خرید تضمینی برق پس از مدت ۲۰ سال، نیروگاه خورشیدی فتوولتاییک پشت‌بامی می‌تواند تا حدود ۳۰ سال عملکرد خود را به‌خوبی حفظ کند و برق تولیدی خود را در بازار آزاد انرژی عرضه کند. از این‌رو، در محاسبهٔ میزان انتشار/کاهش آلایندهٔ زیست‌محیطی، طول عمر نیروگاه ۳۰ سال در نظر گرفته شده است. شکل ۶ نمودار میزان انتشار/کاهش آلاینده طی چرخهٔ عمر سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک طراحی‌شده را نشان می‌دهد که از نرم‌افزار PVsyst استخراج شده است. براساس این نمودار، حدود ۹/۶۱ تن دی‌اکسید کربن در مرحلهٔ تولید تجهیزات سامانه و حمل‌ونقل آن‌ها و همچنین در زمان احداث و بهره‌برداری از سامانه، انتشار پیدا می‌کند. این در حالی است که با در نظر گرفتن افت سالانهٔ تولید انرژی نیروگاه، به‌طور خالص از انتشار ۱۲۲/۸ تن دی‌اکسید کربن طی طول عمر سامانه به‌دلیل استفاده از منبع پاک انرژی خورشیدی، جلوگیری شده است. با توجه به شکل ۶، سامانهٔ خورشیدی پشت‌بامی مطالعه‌شده، بعد از حدود دو سال دی‌اکسید کربن منتشرکرده را جبران می‌کند.

13 Performance Ratio

www.SID.ir

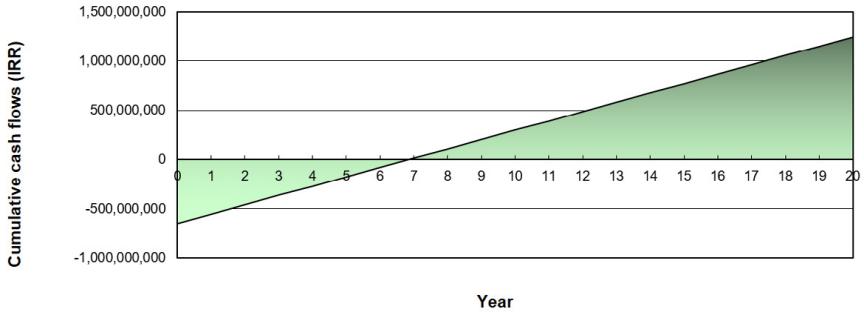
Archive of SID

جدول ۳. هزینهٔ تجهیزات استفاده‌شده در نیروگاه خورشیدی مطالعه‌شده

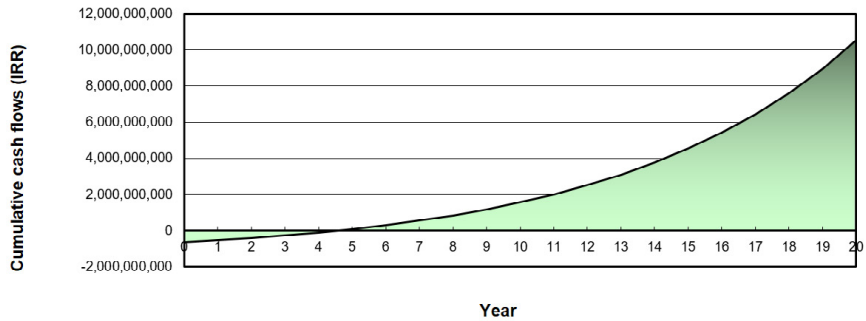
پارامتر	مقدار
پنل خورشیدی فتوولتاییک (ریال بر وات)	۵۰.۰۰۰
اینورتر خورشیدی (ریال بر کیلووات)	۴۰.۰۰۰.۰۰۰
سازهٔ نگهدارنده (ریال بر کیلووات)	۱۰.۰۰۰.۰۰۰
تابلوهای برق AC و DC و کنتور هوشمند (ریال)	۵۰.۰۰۰.۰۰۰
دیگر هزینه‌ها (ریال)	۵۰.۰۰۰.۰۰۰

جدول ۴. پارامترهای اقتصادی در نظر گرفته‌شده برای مطالعهٔ اقتصادی

پارامتر	مقدار
نرخ خرید تضمینی پایه (ریال)	۱۰۷۱۲
هزینهٔ اولیه احداث سامانه (ریال)	۶۵۰.۰۰۰.۰۰۰
نرخ تورم سالانه در مرداد ۱۳۹۹ (درصد)	۲۵/۸
مدت زمان قرارداد (سال)	۲۰
هزینهٔ تعمیر و نگهداری سالانه (درصد از هزینه کل)	۲



شکل ۷. نمودار جریان مالی تجمعی سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک پشت‌بامی مطالعه‌شده (بدون در نظر گرفتن ضریب تعدیل)



شکل ۸. نمودار جریان مالی تجمعی سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک پشت‌بامی مطالعه‌شده (با در نظر گرفتن ضریب تعدیل)

یافته‌های اقتصادی

در جدول ۳، هزینهٔ تقریبی تجهیزات استفاده‌شده در نیروگاه خورشیدی فتوولتاییک مطالعه‌شده براساس اطلاعات به‌دست‌آمده از قیمت روز آن‌ها در بازار خرده‌فروشی آورده شده است. اغلب هزینهٔ اولیه نیروگاه خورشیدی فتوولتاییک پشت‌بامی ناشی از قیمت پنل خورشیدی فتوولتاییک، اینورتر خورشیدی و سازه نگهدارنده است.

براساس مصوبهٔ ۹۸/۳۳۵۶۰/۲۰/۱۰۰ مورخ ۱۳۹۸/۰۷/۲۰ وزیر نیرو، دولت برق تولیدی از منابع انرژی تجدیدپذیر و پاک را با هدف صرفه‌جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی، اجتناب از انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی و گازهای گل‌خانه‌ای، به مدت ۲۰ سال به‌طور تضمینی خرید می‌کند. از این‌رو، شهروندان تهرانی می‌توانند با احداث سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک پشت‌بامی به کسب درآمد از آن نیز بپردازند. طبق مصوبهٔ یادشده، وزارت نیرو برق تولیدی سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک با ظرفیت ۵ کیلووات را با نرخ پایه ۱۰۴۰۰ ریال به‌ازای هر کیلووات‌ساعت، خریداری می‌کند. این نرخ هر ساله با توجه به ضریب تعدیل با در نظر گرفتن تورم و تغییر قیمت یورو، افزایش می‌یابد. علاوه بر این، با استفاده از تجهیزات داخلی می‌توان از مشوق‌های حمایت از تولید داخل نیز بهره‌مند شد. در مطالعهٔ حاضر به‌دلیل استفاده از پنل‌های خورشیدی فتوولتاییک ساخت ایران شرکت تابان، نرخ پایهٔ خرید تضمینی با ۳ درصد افزایش به ۱۰۷۱۲ ریال به‌ازای هر کیلووات‌ساعت می‌رسد. در جدول ۴، پارامترهای اقتصادی در نظر گرفته‌شده برای مطالعهٔ اقتصادی در این پژوهش آورده شده است.

شکل ۷، نمودار جریان مالی تجمعی سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک پشت‌بامی در شهر تهران با ظرفیت ۵ کیلووات را نشان می‌دهد. براساس

www.SID.ir

Archive of SID

این نمودار، دورهٔ بازگشت سرمایه[14] سامانهٔ خورشیدی مورد نظر، ۶/۹ سال است و نرخ بازگشت سرمایهٔ داخلی[15] آن حدود ۱۳/۴ درصد است. این محاسبه بدون در نظر گرفتن نرخ تعدیل صورت گرفته است و فرض شده است که وزارت نیرو طی دورهٔ قرارداد، فقط براساس نرخ خرید تضمینی پایه، برق تولیدی از سامانه را خریداری کند.

شکل ۸ نیز نمودار جریان مالی تجمعی سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک پشت‌بامی در شهر تهران با ظرفیت ۵ کیلووات است. با این تفاوت که درآمد سالانه به‌طور واقعی با ضریب تعدیل ۱۷ درصد افزایش پیدا کند. در این صورت، دورهٔ بازگشت سرمایه به ۴/۶ سال و نرخ بازگشت سرمایهٔ داخلی به ۳۰/۴ درصد می‌رسد. با توجه به اینکه در سال‌های اخیر ضریب تعدیل خرید برق از سامانه‌های خورشیدی حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد بوده است، این محاسبهٔ اقتصادی نسبت به حالت اول که ضریب تعدیل در نظر گرفته نشده بود، دقیق‌تر و به واقعیت نزدیک‌تر است.

نتیجه‌گیری

کلان‌شهر تهران علاوه بر آنکه بیشترین مصرف انرژی الکتریکی در مقایسه با دیگر شهرهای ایران را داشته، بیشترین سهم در پیک برق تابستانهٔ کشور را نیز دارد. از این‌رو، مشارکت شهروندان شهر تهران برای تولید انرژی پاک می‌تواند به تأمین پایدار انرژی و حفظ محیط زیست کمک شایانی کند و از چالش‌هایی همچون خاموشی در تابستان‌ها بکاهد. از این‌رو، بررسی فنی و اقتصادی استحصال انرژی الکتریکی از منبع تجدیدپذیر انرژی خورشیدی می‌تواند راه‌کاری برای نیل به اهداف یادشده باشد و از سویی دیگر، مسیری برای تبدیل شهر تهران به شهری سبز و دوست‌دار محیط زیست شود.

آنالیز فنی انجام‌شده در این پژوهش نشان داد احداث یک سامانهٔ خورشیدی فتوولتاییک پشت‌بامی با ظرفیت ۵ کیلووات در شهر تهران می‌تواند طی یک‌سال حدود ۸/۸۵ مگاوات‌ساعت انرژی الکتریکی تولید کند. حداکثر انرژی تولیدی این سامانه بر زمان پیک روزانهٔ مصرف برق در تابستان در شهر تهران منطبق است. علاوه بر این، این سامانهٔ خورشیدی قادر است به‌طور متوسط سالانه بیش از ۴ تن از انتشار دی‌اکسید کربن برای تولید برق، جلوگیری کند. با توسعهٔ سامانه‌های خورشیدی پشت‌بامی در شهر تهران، می‌توان علاوه بر تأمین بخشی از انرژی شهر و پیک‌سایی بار، به حفظ محیط زیست نیز کمک کرد.

آنالیز اقتصادی این سامانه براساس مصوبهٔ جدید وزارت نیرو در زمینهٔ خرید تضمینی برق از سامانه‌های تجدیدپذیر و پاک انجام شده است. با توجه به اینکه وزارت نیرو برق سامانهٔ خورشیدی پشت‌بامی را با در نظر گرفتن ضریب تعدیل خریداری می‌کند، براساس فرض‌های لحاظ‌شده، دورهٔ بازگشت سرمایهٔ این سامانه کمتر از ۵ سال و با نرخ بازگشت سرمایهٔ داخلی بیش از ۳۰ هزار خواهد بود. این امر نشان‌دهندهٔ آن است که احداث سامانه‌های خورشیدی فتوولتاییک پشت‌بامی توسط شهروندان در شهر تهران می‌تواند تبدیل به منبع کسب درآمد پایدار و مطمئن برای خانوارها علاوه بر تأمین پایدار انرژی شهری و حفظ محیط زیست تهران شود.

14 Payback Period

15 Internal Rate of Return (IRR)

تقدیر و تشکر

به این‌وسیله از لابراتوار مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر دانشگاه شهید بهشتی که در تهیهٔ این مقاله از حمایت‌های آن برخوردار بوده‌ام، سپاسگزاری می‌شود.

منابع

اخباری، ح؛ اسلامی، ش و بیدی، م. (۱۳۹۷). «ارزیابی فنی و اقتصادی نیروگاه خورشیدی ۱۰ کیلووات خانگی در شهر تهران با استفاده از نرم‌افزارهای RETScreen و PVSyst. In» *پنجمین کنفرانس بین‌المللی فناوری و مدیریت انرژی با رویکرد پیوند انرژی، آب و محیط زیست.*

Bakhshi, R., & Sadeh, J. (2018). Economic evaluation of grid e connected photovoltaic systems viability under a new dynamic feed e in tariff scheme : A case study in Iran, *119*, 354–364.

Bashiri, A., & Alizadeh, S. H. (2018). The analysis of demographics , environmental and knowledge factors a ff ecting prospective residential PV system adoption : A study in Tehran, *81*(August 2017), 3131–3139.

Eshraghi, J., Narjabadifam, N., Mirkhani, N., & Sadoughi, S. (2014). A comprehensive feasibility study of applying solar energy to design a zero energy building for a typical home in Tehran, *72*, 329–339.

Gautam, B. R., Li, F., & Ru, G. (2015). Assessment of urban roof top solar photovoltaic potential to solve power shortage problem in Nepal, *86*, 735–744.

Griffiths, S., & Mills, R. (2016). Potential of rooftop solar photovoltaics in the energy system evolution of the United Arab Emirates, *9*, 1–7.

Ko, L., Wang, J., Chen, C., & Tsai, H. (2015). Evaluation of the development potential of rooftop solar photovoltaic in Taiwan, *76*, 582–595.

López Prol,J.,& Steininger,K.W.(2017). Photovoltaic self-consumption regulation in Spain: Profitability analysis and alternative regulation schemes,108,742-754.

Mangiante, M. J., Whung, P., Zhou, L., Porter, R., Cepada, A., Campirano, E., … Torres, M. (2020). Computers , Environment and Urban Systems Economic and technical assessment of rooftop solar photovoltaic potential in, *80*(November 2019).

Naja, G., Ghobadian, B., Mamat, R., Yusaf, T., & Azmi, W. H. (2015). Solar energy in Iran : Current state and outlook, *49*, 931–942.

Solargis. (2019). Photovoltaic Electricity Potential of Iran. Retrieved from https://solargis.com/

www.SID.ir

Archive of SID

Urban Economics and Planning

Homepage: http://eghtesadeshahr.tehran.ir/

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Techno-economy analysis of a grid-connected 5 kW rooftop solar photovoltaic system: A case study in Tehran

Mohsen Farzan, Majid Zandi*, Abolghasem Mosayyebi Jirhandeh

Renewable Energy Laboratory of Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article History:
Received 2020-09-17
Accepted 2020-11-11

Keywords:
Solar Photovoltaic System
Economical Analysis
Environment
PVsyst Software

ABSTRACT

With the development of urbanization and the increasing need for sustainable energy supply and reducing emissions, the position of renewable and clean energy to address these challenges has been further enhanced. Due to the scalability of photovoltaic solar systems, it is possible to generate energy from the unused space of urban buildings based on the amount of available space. Tehran metropolis, taking advantage of the high potential of solar energy and the need for urban consumption, can be a promising candidate for development of solar photovoltaic systems.

In this study, the technical analysis of a 5 kW rooftop solar photovoltaic system in Tehran using PVsyst software has been done. Then, based on the latest Iran Ministry of Energy guaranteed electricity purchase tariffs, economic analysis has been performed.

Technical analysis showed that with the construction of a 5 kW rooftop solar photovoltaic system in Tehran, it is possible to supply about 9 MWh/year of electricity to the power grid. The results showed that the investment payback period and rate of return of this system is less than 5 years and more than 30%, respectively. The system also prevents the emission of more than 120 tons of carbon dioxide during its life cycle.

DOI: 10.22034/UE.2020.09.04.02

©2021 Urban Economy. All rights reserved.

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Farzan M, Zandi M, Mosayyebi Jirhandeh A. (2021). Techno-economy analysis of a grid-connected 5 kW rooftop solar photovoltaic system: A case study in Tehran. Urban Economics and Planning, 9(4): 206-213.

DOI: 10.22034/UE.2020.09.04.02

url: http://eghtesadeshahr.tehran.ir/article_119647.html

*Corresponding Author: Email: *m_zandi@sbu.ac.ir*

www.SID.ir