فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۵۵، زمستان ۹۹

طراحی شعب سبز بانک‌های ایران با برق تجدیدپذیر

مصطفی اسماعیلی شایان[۱]

غلامحسن نجفی[۲*]

g.najafi@modares.ac.ir

احمد بناکار[۳]

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۷/۱۱ **تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۳/۲۳**

چکیده

در این پژوهش بر اساس داده‌های هواشناسی و همچنین استفاده از استاندارد مدل ساندیا در هواشناسی مجازی، اقدام به طراحی و شبیه‌سازی نیروگاه فتوولتاییک در ۵ ساختمان شرکتی در استان‌های تهران، فارس، قم و یزد شد. داده‌های شبیه‌سازی و طراحی با داده‌های واقعی مصرف توان اعتبار سنجی شده و ساختمان شعب سبز معرفی شدند. نتایج مطالعات طراحی فنی نیروگاه‌های متصل به شبکه(تولید-تقاضا) نشان داد: شعبه‌ی دستواره‌ی تهران مستقل از شبکه‌ی سراسری برق، تقاضای توان الکتریکی را تا ۱۵۱ درصد تامین می‌کند. این شعبه به عنوان شعبه‌ی سبز معرفی شد. نیروگاه ساختمانی شعب: مرکزی یزد ۲۶/۳۷ درصد، امیرکبیر تهران ۳۸/۸۰ درصد، سیبویه شیراز ۴۱/۹۰ درصد و بولوار امین قم ۲۱/۷۲ درصد از تقاضای توان الکتریکی ساختمان شعب را پاسخ داد. تحلیل اقتصادی دوره‌ی بازگشت سرمایه در نیروگاه ساختمان شعبه‌ی دستواره تهران را کمینه و معادل ۵/۱۶ سال و سیبویه شیراز را بیشینه و معادل ۸/۵۱ سال نشان داد. تحلیل تامین نیاز ساختمان شعب از طریق نیروگاه فتوولتاییک اثبات کرد: استفاده از ساختمان با مساحت بزرگ در شعب سبز بانک‌ها بهینه نبوده و بهتر است از فضای پارکینگ و حیاط که همزمان نیاز به سیستم تهویه‌ی مطبوع ندارند، جهت تامین سطح مورد نظر نیروگاه استفاده شود. بیش‌ترین تابش بر دیوارهای جنوبی به میزان ۹۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در مهرماه و کمترین مقدار آن در خردادماه به میزان ۲۱ کیلووات ساعت بر مترمربع ثبت شد. ساختمان‌های واقع در عرض جغرافیایی تهران به منظور بهره‌گیری بیشینه از مساحت برای تولید انرژی نیروگاهی فتوولتاییک بهتراست شمالی باشند و از دیوار جنوبی همزمان برای تامین سطح مورد نیاز نیروگاه فتوولتایک بهره‌گرفته شود.

کلمات کلیدی: مدل ساندیا، نیروگاه فتوولتاییک، شعبه‌ی سبز

---

[۱] - دانشجوی دکتری مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

[۲] - دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

[۳] - دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

Human and Environment, No. 55, Winter 2020

Designing Green Branches of Banks of Iran with Renewable Power Plant

Mostafa Esmaeili Shayan[1]
Gholamhassan Najafi[2]
g.najafi@modares.ac.ir
Ahmmad Banakar[2]

Abstract

In this research, based on meteorological data and also using the Sandia model standard in virtual meteorology, a photovoltaic power plant was designed and simulated in 5 company buildings in Tehran, Fars, Qom and Yazd provinces. Simulation and design data were validated with real power consumption data and green branch buildings were introduced. The results of technical design studies of grid-connected power plants (production-demand) showed: The Tehran branch office, independent of the national electricity grid, supplies electricity demand up to 151 percent. This branch was introduced as a green branch. Branch construction power plant: Central Yazd 26.37%, Amirkabir Tehran 38.80%, Sibouyeh Shiraz 41.90% and Amin Boulevard Qom 21.72% responded to the demand of electric power of branch buildings. Economic analysis showed the return on investment period in the power plant of Tehran Dastavareh branch to be minimum and equivalent to 5.16 years and Sibouyeh Shiraz to be maximum and equivalent to 8.51 years. The analysis of supplying the needs of the branch buildings through photovoltaic power plant proved: the use of large buildings in the green branches of banks is not optimal and it is better to use the parking space and yard, which do not need air conditioning system at the same time, to provide the case level. Use the power plant opinion. The highest radiation on the southern walls at the rate of 90 kWh per square meter was recorded in October and the lowest amount was recorded in June at the rate of 21 kWh per square meter. Buildings located in the latitude of Tehran in order to make the most of the area for energy production of photovoltaic power plants should be north and south wall should be used at the same time to provide the required level of photovoltaic power plant.

Key Words: Sandia Model, Solar Photovoltaic Power Plant, Green Branches

---

۱- Ph.D. Student, Renewable Energy Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
۲- Associate Professor, Department of BioSystems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
Tel: +98(912)3664393, Fax: +98(21)48292200

مقدمه

با پیشرفت فنّاوری، انرژی خورشید به‌صورت مستقیم به الکتریسیته تبدیل می‌شود و این گام بزرگی در دریافت توان از خورشید است. با وجود این هنوز تنها ۱٪ از کل توان الکتریکی مورد نیاز انسان‌ها معادل ۱۸/۴۰۰ ترا وات‌ساعت، از طریق سلول‌های خورشیدی تأمین می‌شود(1,2).

سوخت‌های فسیلی که بخش عمده‌ی تأمین نیاز انرژی را به خود اختصاص داده‌اند(3)، بزرگ‌ترین چشمه‌ی نشر گازهای گلخانه‌ای، بخش انرژی هستند و تأمین انرژی از سوخت‌های فسیلی بحران‌هایی برای محیط‌زیست به وجود آورده و میلیون‌ها تن گازهای گلخانه‌ای را به جو متصاعد می‌کنند (4). اغلب صنایع جهان زیرساخت‌های تأمین انرژی خود را با منابع سوخت‌های فسیلی (زغال‌سنگ، نفت و گاز طبیعی) طراحی کرده‌اند. اما سوخت‌های فسیلی منابع پایان‌پذیر هستند، بنابراین، بشر باید به دنبال منابع جایگزین برای تأمین انرژی مورد نیاز خود باشد (3). اهمیت انرژی و منابع مختلف تهیه آن، در حال حاضر جزء رویکردهای اصلی دولت‌های جهان قرارگرفته است. انرژی خورشیدی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع انرژی‌های تجدید پذیر به دو صورت گرمایی و توان الکتریکی پیشنهاد می‌گردد. کشورهای اروپایی برنامه‌ریزی کرده‌اند تا سال ۲۰۳۰ نزدیک به ٪۵۰ از نیاز گرمایی کم‌فشار خود را از طریق منابع گرمایی خورشیدی تأمین کنند (1)، اما فنّاوری فتوولتاییک با پتانسیل بالا می‌تواند تا سال ۲۰۳۰ سهم ٪۵ و تا سال ۲۰۵۰ سهم ٪۱۱ از نیاز الکتریسیته در اروپا را بر عهده بگیرد (1). درحالی‌که سرانه‌ی مصرف نهایی انرژی ایران در بخش‌های کشاورزی، خانگی ۳/۱ ، عمومی و تجاری ۱/۸، حمل و نقل ۱/۵ و صنعت ۱/۴ برابر متوسط جهانی بوده است؛ شاخص شدت انرژی[1] بر مبنای عرضه‌ی انرژی اولیه و مصرف نهایی انرژی در سال ۱۳۹۴ به ترتیب به میزان ۰/۸۹ و ۰/۵۷ رسیده است(5).

محدودیت‌های سوخت‌های فسیلی و بالا رفتن مصرف انرژی، تمایل به استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر و به‌ویژه انرژی خورشیدی را افزایش داده است(محمودی و همکاران، ۱۳۹۰)، به‌گونه‌ای که در سال‌های ۲۰۰۰ تا 2011 سرانه‌ی تولید انرژی جهانی ۱۰/۳ افزایش‌یافته است(6) . پیش‌بینی‌شده این افزایش در سال ۲۰۳۰ به بیش از ٪۶۰ مقدار مصرفی در سال ۲۰۰۰ نیز برسد(7). همچنین اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد تعداد ساعات آفتابی سالیانه در کشور ایران از سمت جنوب شرقی به سمت شمال غربی آن، کاهش و از غرب به سمت شرق معمولاً افزایش می‌یابد. در تأمین انرژی‌های تجدید پذیر، انرژی خورشیدی به دلیل عدم تولید co_2 و سایر مواد زائد موجب حفظ منابع طبیعی و احیای اراضی، کاهش خطوط انتقال نیرو، افزایش استقلال منطقه‌ای در تأمین انرژی و افزایش سرعت برق دهی به مناطق روستایی شده و از هزینه‌ی کمتری برخوردار بوده و مورد توجه ویژه قرار می‌گیرد(8).

مروری بر پژوهش‌های پیشین.

از تاریخ شوک نفتی ۱۹۷۳ کشورهای توسعه‌یافته هزینه‌ی زیادی صرف تحقیق و توسعه‌ی فناوری‌های انرژی خورشیدی کرده‌اند. سهم زیادی از سرمایه‌گذاری در زمینه‌ی انرژی خورشیدی به سمت فناوری‌های نسبتاً پیشرفته جهت‌گیری داشته است (9). تحقیق در زمینه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر در دهه‌های ۸۰ و ۹۰ میلادی تقریباً متوقف شد (1). در حال حاضر بیش از ٪۴۵ انرژی خورشیدی دنیا در کشور ژاپن تولید می‌شود، اروپا با ٪۲۵ رتبه دوم ایالت متحده آمریکا با ٪۱۹ رتبه سوم را به خود اختصاص داده است (10). بیش از ٪۸۸ بازار عرضه سلول‌های خورشیدی را نوع سیلیکونی بلوره‌ای به خود اختصاص داده‌اند (1). عمر سامانه‌های فتوولتاییک از ۱۵ تا ۳۰ سال متغیر بوده است(11). با در نظر گرفتن دوره‌ی عمر متوسط ۲۰ سال، میانگین هزینه‌ی تولید برق سامانه‌های فتوولتاییک در دنیا بستگی به محل کار و هزینه‌های تجهیزاتی جانبی متغیر می‌باشد.

---

[1] شدت انرژی: مصرف انرژی برحسب تن معادل نفت خام به ازای ۱۰۰۰ دلار تولید ناخالص ملی تعریف می‌شود.

سهم خورشید در سبد انرژی جهان درحالی‌که انرژی خورشیدی سهم ناچیزی در تولید برق ایران دارد بیش از۳۰ درصد است(12). تا پایان سال ۲۰۱۴ ظرفیت فتوولتاییک در جهان به ۴۰ هزار مگاوات رسید که کشورهای امریکا، ایتالیا، ژاپن، اسپانیا و آمریکا به‌عنوان کشورهای پیشرو در ظرفیت نصب‌شده انرژی خورشیدی در جهان هستند. در ایران، برق‌رسانی روستایی در سال ۱۳۸۵ ابتدا از استان قزوین آغاز و سپس در استان‌های گیلان، زنجان، بوشهر، یزد و کردستان اجرا شد. در همین راستا پروژه برق‌رسانی فتوولتاییک به ۶۳۴ خانوار روستایی نیز در سال ۱۳۸۷ در ایران تعریف شد که ظرفیت این نیروگاه‌ها کمی بیش از ۳۸۶ کیلووات است(13). بیش از ۹۶ درصد برق تولیدی کشور، در نیروگاه‌های فسیلی و کمتر از ۴ درصد آن از منابع تجدید پذیر بوده است. به‌طور تقریبی، تمام این برق تجدید پذیر نیز توسط نیروگاه‌های برق‌آبی بزرگ تولیدشده است و سهم انرژی‌های بادی، خورشید، برق‌آبی کوچک و... بسیار اندک بوده است. نتیجه آن‌که تنها ۲۰۰ مگاوات ساعت از برق تولیدی کشور(کمتر از یک‌هزارم) از منابع تجدید پذیرتولیدشده است(12). در میان ۳ نوع نیروگاه تجدید پذیر نصب‌شده‌ی متصل به شبکه(بادی، بیوگازسوز و خورشیدی) نیروگاه خورشیدی کمترین ظرفیت را دارند(14). تقریباً تمام ظرفیت برق تجدید پذیر که با روند کنونی ۱تا ۳ ساله به بهره‌برداری خواهد رسید، از نوع بادی خواهد بود. این در حالی است که ساختمان‌های شهری امکان استفاده‌ی مستقیم از انرژی بادی را ندارند(15).

تلاش فراوانی برای تغییر رویکرد طراحی ساختمان‌های تجاری به سمت کاهش مصرف انرژی و تعادل بخش‌های گرمایش، سرمایش، تهویه و روشنایی انجام‌شده است(16). اتلاف انرژی در ساختمان‌ها ۲۲٪ از طریق سقف، ۲۶٪ از طریق پنجره‌ها و ۳۵٪ از طریق تهویه و نشست هوا ایجاد می‌شود. حال آنکه زمانی که سقف باز و یا درهای غیرهوشمند استفاده شود، میزان اتلاف حرارتی افزایش می‌یابد(17).

پژوهش‌های متعددی در زمینه‌ی بررسی و بهینه‌سازی نیروگاه‌های خورشیدی ارائه‌شده است، بهادری نژاد و همکاران به استفاده از برق خورشیدی در ساختمان‌های اداری بنابر سیاست‌های دولت در مورد انرژی پرداخته است(18). بانی و همکاران در سال ۱۹۸۷ و سلیمان و همکاران در سال ۲۰۱۶ به بررسی مزرعه‌ی خورشیدی در مقیاس کوچک به منظور تامین نیاز الکتریکی شهری پرداخته‌اند (19,20). تینا و گراسو در سال ۲۰۱۴ مدلی را برای طراحی نیروگاه خورشیدی خانه محور با در نظر گرفتن اثر سایه پیشنهاد کرده است (9). فارا و همکاران در سال ۲۰۱۷ به شبیه‌سازی بهینه نیروگاه خورشیدی با استفاده از جعبه افزار بهینه‌ساز در نرم‌افزار متلب[1] پرداخته است (21).گلکار روشی برای به دست آوردن زاویه‌ی بهینه پنل‌های خورشیدی ثابت در شهرهای مختلف ایران ارائه کرد(گلکار و همکاران، ۱۳۹۱). اکرامی و صادقی در سال ۱۳۸۷ اقدام به شناسایی متغیرهای مهم طراحی نیروگاه فتوولتاییک کردند(22).

در جهان پروژه‌های ویژه‌ای برای طراحی و شبیه‌سازی نیروگاه فتوولتاییک برای ساختمان‌های تجاری و اقتصادی انجام شده است. کانادا نیروگاه فتوولتاییک تجاری به ظرفیت ۵ کیلووات را طراحی کرد (10). دانمارک پروژه فتوولتاییک به ظرفیت kW ۱۴/۵ در ساختمان شرکتی را شبیه‌سازی، طراحی و مورد استفاده قرار داد (10). آلمان بر روی پشت‌بام یک ساختمان تحقیقاتی برای رسیدن به توان 20 kW طرحی با ۶۹ پنل خورشیدی و ۲ اینورتر انجام داد(23). سوئیس با استفاده از نرم‌افزار مدیریت داده‌های اقلیمی[2] اقدام به شبیه‌سازی، طراحی و ساخت کرد، همچنین محاسبات هواشناسی دو نیروگاه به ظرفیت 26/52 kW بر روی پشت‌بام ساختمان شرکتی انجام شد (24). کره جنوبی بر روی ساختمان با مصرف کمینه‌ی انرژی بر پشت‌بام ساختمان پژوهشگاه شرکتی و اداری انجام داد (3).

در پژوهشی معیارهای ارزش خالص فعلی، نرخ بازده داخلی و دوره‌ی بازگشت سرمایه به عنوان سنجشگر مقایسه اقتصادی

---

[1] MATLAB

[2] Meteonorm

سامانه‌ی برق فسیلی چندمنظوره(CCHP[1]) در نرم‌افزار کامفار محاسبه شد. نتایج نشان داد: سامانه‌ی انرژی چندمنظوره در کاربردهای خانگی، تجاری و صنعتی مقرون به صرفه بوده و می‌تواند نرخ بازگشت سرمایه ۹۷٪ و دوره‌ی بازگشت سرمایه ۲ ساله داشته باشد. تغییرات قیمت گازطبیعی به عنوان ورودی اصلی، اطمینان پیش‌بینی سرمایه را کاهش داد(25). سامانه‌ی فتوولتاییک برای جبران پیک مصرف توان و مقررات زمانی در جهت کاهش هزینه‌های منزل مسکونی مطالعه و به عنوان روش پایدار بکارگرفته شد. نتایج نشان داد: نیروگاه کوچک فتوولتاییک خانگی ضمن کاهش گازهای گلخانه‌ای، با تامین نیاز پیک مصرف خانه اقتصادی و مقرون به صرفه می‌باشد (24). در پژوهشی عملکرد و هزینه‌ی توزیع برق در نیروگاه‌های متداول شکبه‌های برق منطقه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد: با کاهش سریع هزینه‌ی تمام شده سامانه‌های فتوولتاییک، این سامانه‌ها می‌توانند در آینده نزدیک رقیب اصلی نیروگاه‌های فسیلی گردند. این پژوهش‌های اقتصادی نشان دادند نیروگاه‌های فتوولتاییک ساخته‌شده می‌توانند سالانه ۱۵٪ تا ۴۰٪ بازگشت سرمایه داشته باشند (26–24). در پژوهشی ارزیابی فنی– اقتصادی سامانه‌ی فتوولتاییک در کشورهای در حال توسعه بر اساس یک سناریوی ۲۰ ساله مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد: حدود ۱۸ درصد از جمعیت جهان دسترسی به شبکه برق ندارند و مانع اصلی قیمت تمام شده سامانه‌ها می‌باشد(27). در یک پژوهش جهانی بر نیروگاه‌های فتوولتاییک، توجیه پذیری اقتصادی با استفاده از سامانه‌های فتوولتاییک بدنه محور معرفی کرده و استفاده از این روش را برای رسیدن به اهداف توسعه پایدار در جهان الزامی دانست (28). آزمون استاندارد تحلیل سامانه‌های خورشیدی در فضای باز، متغیرهای اساسی در سنجش و ارزیابی عملکرد نیروگاه‌های خورشیدی سنتی قدیمی در حالت الکتریکی و حرارتی را مورد مطالعه و ارزیابی قرار داد(29).

در ایران هیچ سازمان یا بخش دولتی و خصوصی اقدامی برای نیروگاه‌های ساختمانی صورت نداده است و در منابع خارجی ساختمان‌های مورد آزمون بنا بر ظرفیت‌های موجود باعث افزایش عملکرد الکتریکی ساختمان و کاهش هدر رفت انرژی بیان گردیده است. همچنین در هیچ شرکت تجاری و بانکی در جهان اقدام به بررسی تأمین کل تقاضای توان و یا بخشی از توان مورد نیاز شعب بانک یا ساختمان تجاری خود نکرده است. بانک‌ها با جامعه‌ی وسیع مشتریان و مخاطبان می‌توانند شعب سبز بانکی را با استفاده از نیروگاه‌های فتوولتاییک بکار گرفته و علاوه بر استفاده‌های پژوهشی و تبلیغاتی، اثرات مثبتی در کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی، تشویق جامعه به استفاده از منابع تجدید پذیر، کاهش Co_2 ایفا کنند.

هدف از این پژوهش طراحی نیروگاه فتوولتاییک ساختمان‌های شعب بانک‌ها برای نیل به شعبه‌ی سبز می‌باشد. قابلیت تولید بیشینه‌ی توان تجاری متصل به شبکه در بخش‌های مختلف سیستم و نهایتاً مقایسه‌ی این سایت‌ها توسط داده‌های هواشناسی ناسا و ایستگاه هواشناسی آکوستیک با داده‌های واقعی نیروگاهی و ارائه راهکارهای مدیریت مصرف انرژی شعب آزمون متناسب با فاکتورهای محیط می‌باشد. همچنین به‌منظور تطبیق خروجی شبیه‌سازی‌ها با داده‌های حقیقی در قسمت‌های سایه‌اندازی و تحلیل اقتصادی و محاسبات فنی بر اساس سه معیار مقایسه‌ای: ارزش خالص فعلی، نرخ بازده‌ی داخلی و دوره‌ی بازگشت سرمایه انجام شد.

مواد و روش‌ها

اطلس تابش نشان داد بیش‌تر پهنه‌ی جغرافیایی ایران در منطقه‌ی گرم و خشک با استعداد بالقوه‌ی بالا در بهره‌برداری از سامانه‌های برق فتوولتاییک و سامانه‌های گرمایش خورشیدی است. بیش‌ترین میزان تابش در ایران مربوط به نقاط مرکزی و کمترین آن در قسمت‌های شمالی رخ می‌دهد. متناسب با پتانسیل بالای دریافت انرژی خورشیدی در نواحی مرکزی و جنوبی کشور، ساختمان ۵ شعبه از نواحی پتانسیل بالا با روش نمونه‌گیری تصادفی از میان۳۱۰ شعبه مطابق با جدول ۱ انتخاب شد.

---

[1] Combined Cooling, Heat and Power

جدول۱- ساختمان شعب بانک جهت ارتقاء به شعبه‌ی سبز

ردیف	استان	نام شعبه	ساعت کار
۱	تهران بزرگ	شهید دستواره	۷:۳۰ تا ۱۶:۰۰
۲	یزد	مرکزی یزد	۷:۳۰ تا ۱۳:۳۰
۳	تهران بزرگ	امیرکبیر	۷:۳۰ تا ۱۶:۰۰
۴	فارس	سیبویه	۰۷:۰۰ تا ۱۴:۰۰
۵	قم	بولوار امین	۷:۳۰ تا ۱۸:۰۰

طراحی و شبیه‌سازی نیروگاه فتوولتاییک برای شعب ارائه‌شده در جدول ۱ با شبیه‌سازی نیروگاهی توسط محاسبات فنی، کمک‌گیری از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انجام شد. اگر شعب با استفاده از نیروگاه فتوولتاییک مستقر در بام یا فضای در اختیار(حیاط، پارکینگ و...) خود تمام توان موردنیاز را تولید کنند به‌عنوان شعبه‌ی سبز معرفی می‌شوند.

ارزیابی عملکرد اقتصادی سامانه‌های خورشیدی با تأکید بر علم اقتصاد مهندسی صورت گرفت. این ارزیابی در قالب تحلیل اقتصادی پروژه، با تکنیک‌های ریاضی و ابزارهای تجزیه و تحلیل جریان مالی، به بررسی سرمایه‌گذاری و انتخاب اقتصادی‌ترین شعب سبز پرداخته است. معیارهای ارزش خالص فعلی، نرخ بازده داخلی و دوره‌ی بازگشت سرمایه به عنوان سنجشگر مقایسه اقتصادی شعب ارزیابی شد.

ارزش خالص فعلی (NPV)

این معیار با در نظر گرفتن تعدیل زمانی پول، تعادلی میان پرداخت‌های سرمایه‌گذاری و درآمدهای حاصل از اجرای سرمایه‌گذاری ایجاد می‌کند. ارزش فعلی مجموعه‌ای از جریانات وجوه نقد آینده از طریق رابطه‌ی (۱) محاسبه شده است:

$$NPV = \mathrm{NCF}_0 + \frac{NCF_1}{(1+i)} + \frac{NCF_2}{(1+i)^2} + \frac{NCF_t}{(1+i)^t} \qquad (۱)$$

در رابطه‌ی فوق، NPV[1] برابر خالص ارزش فعلی، NCF برابر خالص وجوه نقد، i برابر نرخ تنزیل و t برابر دوره‌ی مالی می‌باشد.

نرخ بازده داخلی(IRR)

معیار ارزیابی اقتصادی IRR[2] شرط پذیرش پروژه را بزرگ‌تر بودن IRR از هزینه‌ی سرمایه می‌داند. نرخ IRR تنزیلی است که بر اساس آن، ارزش خالص فعلی پروژه (NPV) برابر صفر می‌شود. در محاسبه IRR، NPV پروژه معادل صفر قرار گرفت و نرخ تنزیل تعیین شده است.

دوره‌ی بازگشت سرمایه(PP)

با استفاده از معیار دوره‌ی بازگشت سرمایه[3](PP)، دوره‌ای که در آن مجموع درآمدهای سالیانه با هزینه‌ی سرمایه‌گذاری برابر(سربه‌سر) مشخص می‌گردد. طول دوره‌ی ساخت پروژه شامل خرید و نصب تجهیزات یک سال در نظر گرفته شده است. طول دوران بهره‌برداری سامانه‌ها معادل ۲۰ سال می‌باشد. نرخ تورم بر اساس متوسط میزان تورم در پنج سال اخیر بین سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ مربوط به دسته کالاهای آب، برق و سوخت به‌طور متوسط ۱۰ درصد منظور شده است(30). نرخ سود سپرده‌گذاری(سپرده‌های دیداری) در ایران به‌تازگی کاهش‌یافته و به عدد ۱۵ درصد رسیده است اما طی ۱۰ سال گذشته دارای میانگین ۱۶/۷ درصد بوده که به‌عنوان نرخ تنزیل معیار در نظر گرفته شده است(30). اسناد

---

[1] ۱- Net Present Value

[2] ۲- Internal Rate of Return

[3] ۳- Payback Period

بالادستی قیمت تضمینی خرید هر کیلووات برق تجدید پذیر را معادل ۸۰۰۰ ریال اعلام کرده اند و این قیمت برای ۲۰ سال عمر مفید در نظر گرفته شده است(31). ضریب افزایش قیمت حامل‌های انرژی معادل ۱۴/۶درصد سالانه منظور شده است. نیروگاه فتوولتاییک ساختمان شعب بر اساس عملکرد فنی در شرایط بیشینه‌ی تولید توان می‌تواند درآمدی متفاوت در هر منطقه و مقیاس داشته باشد.

هزینه‌ها و منافع سامانه‌ی خورشیدی

علاوه بر پنل، تجهیزات دیگری نیز در نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتاییک به کار می‌رود. هزینه‌ی ثابت سرمایه‌گذاری نیروگاه خورشیدی فتوولتاییک شامل: خرید پنل‌ها، سازه‌ها، اینورتر، شارژ کنترلر، هزینه‌ی نصب و غیره بر اساس استاندارد در پروژه‌های فتوولتاییک برآورد می‌گردد (9,32). هزینه‌های پیش‌بینی نشده شامل هزینه‌های باز اتصال پنل‌ها و سازه‌ها و هزینه‌ی تعمیر و نگهداری می‌باشد.

نتایج و بحث

در این پژوهش نیروگاه‌های فتوولتاییک خورشیدی و مقایسه‌ی داده‌های مصرف واقعی ساختمان شعب اقدام به شبیه‌سازی و طراحی شد تا ایستگاه‌هایی که توانایی تولید ۱۰۰٪ از تقاضای توان الکتریکی را دارند به‌عنوان شعبه‌ی سبز معرفی شوند.

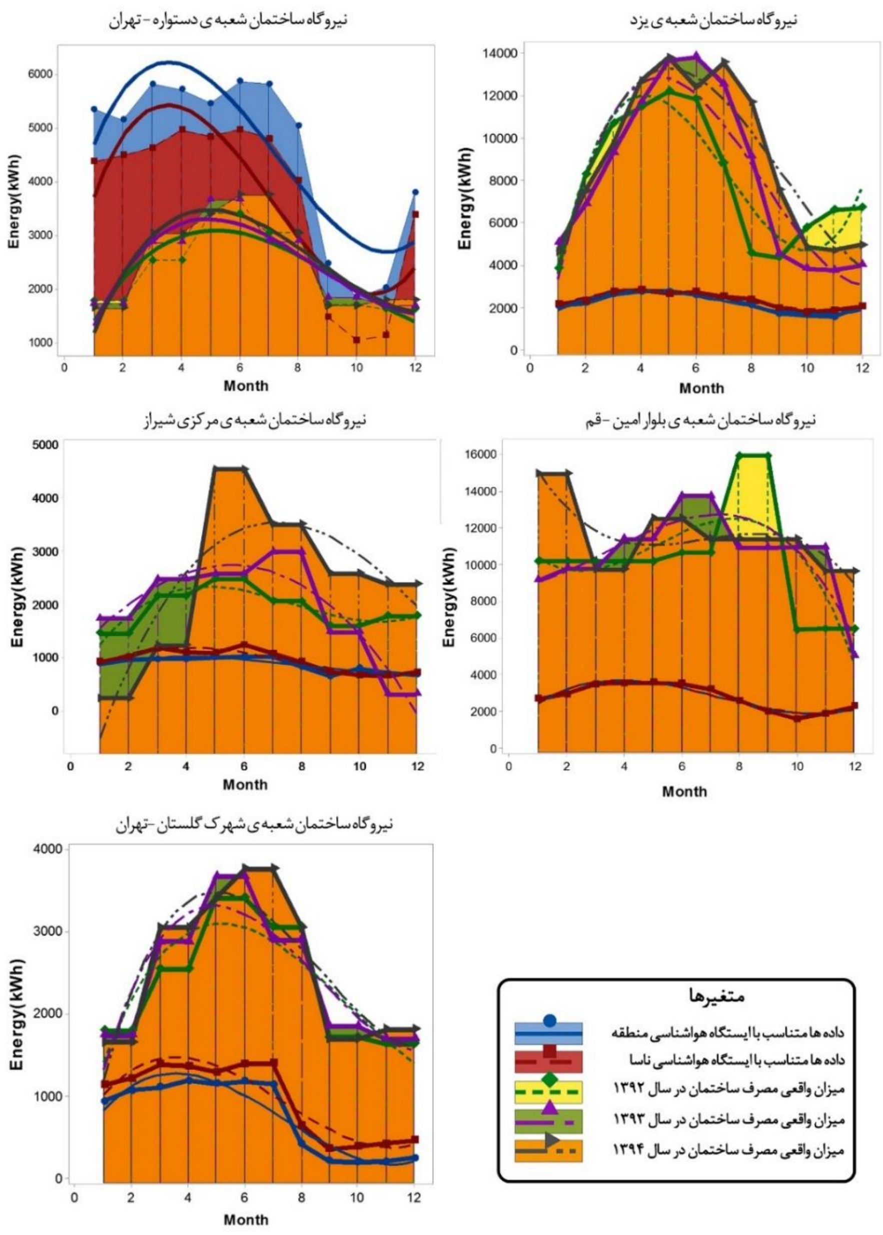
جدول۲- نتایج مطالعات فنی طراحی نیروگاه‌ها در حالت متصل به شبکه

نیروگاه	الگوی هواشناسی	توان DC(kW)	توان AC اینورتر (kW)	توان سالانه (MW)	عملکرد(٪)
دستواره تهران	ایستگاه مهرآباد	۳۲/۴	۲۷	۵۴/۴۲	۷۰/۳
	ایستگاه ناسا	۳۲/۴	۲۷	۴۴/۲۰	۶۶/۵
مرکزی یزد	ایستگاه فرودگاه	۱۸/۲	۲۰	۲۶/۴۸	۶۷/۱
	ایستگاه ناسا	۱۸/۲	۲۰	۲۷/۹۳	۶۶/۳
امیرکبیر تهران	ایستگاه مهرآباد	۷/۸۰	۷/۷۰	۱۱/۳۸	۶۱/۱
	ایستگاه ناسا	۷/۸۰	۷/۷۰	۸/۹۷۴	۵۶/۱
سیبویه شیراز	ایستگاه هواشناسی	۷	۷	۱۰/۴۸	۷۰/۲
	ایستگاه ناسا	۷	۷	۱۱/۳۱	۷۰/۹
بولوار امین قم	ایستگاه فرودگاه	۱۶/۵	۱۸	۲۸/۲۶	۷۸/۸
	ایستگاه ناسا	۱۶/۵	۱۸	۲۸/۲۷	۷۸/۹

اختلاف داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های آکوستیک و هواشناسی مجازی برخط به دلیل داده‌های محدودتر ایستگاه‌های آکوستیک (داده‌های تابش ارائه‌شده تا سال ۱۳۷۴) می‌باشد.

ساختمان شعب:

نمودار۱ تقاضا و تولید توان ساختمان شعب را نشان می‌دهد. نیروگاه فتوولتاییک شعبه‌ی شهید دستواره‌ی تهران برحسب هواشناسی فرودگاه مهرآباد بیش از تقاضای توان خود(گزارش برق مصرفی طی دوره‌های سال ۱۳۹۲، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ می‌باشد.) را تولید کرده است. داده‌های هواشناسی ایستگاه ناسا به‌جز ماه‌های آذر، دی و بهمن در ماه‌های دیگر شعبه سبز و در ماه‌های ذکرشده بخش زیادی از توان از طریق نیروگاه تأمین خواهد شد. بیشترین اتلاف توان در بخش سایه‌اندازی محاسبه شد. با افزایش فاصله‌ی گام و پایین آوردن ظرفیت نیروگاهی(با حذف تعدادی از پنل‌های خورشیدی) محاسبات سایه تصحیح شد.



نمودار۱- تولید – تقاضا توان در سایت‌های مختلف

دیوارهای جنوبی بیش‌ترین تابش را در مهرماه (اکتبر) به میزان ۹۰ کیلووات ساعت بر مترمربع و کمترین آن درخردادماه (ژوئن) به میزان ۲۱ کیلووات ساعت بر مترمربع دریافت می‌کند. این دیوارها از شهریور تا اسفند، تابش را از طلوع تا غروب دریافت کرده و صرف انرژی بیشتر برای تهویه‌ی مطبوع را افزایش می‌دهد. دیوارهای غربی بیشترین مقدار تابش آفتاب را در خردادماه (ژوئن) به میزان ۵۲ کیلووات ساعت بر مترمربع و کمترین آن در آذرماه(دسامبر) به میزان ۸ کیلووات ساعت بر مترمربع دریافت می‌کنند. دیوارهای شمالی فقط بین فروردین تا شهریورماه صبح زود و آخرین ساعت‌های بعدازظهر در معرض تابش آفتاب قرار گرفت. دیوارهای شرقی بیش‌ترین مقدار تابش آفتاب را در مردادماه(اوت) به میزان ۸۰ کیلووات ساعت بر مترمربع و کمترین مقدار آن را در آذرماه (دسامبر) به میزان ۱۳ کیلووات ساعت بر مترمربع دریافت می‌کند، این دیوارها از طلوع آفتاب تا ساعت ۱۲:۳۰ آفتاب را دریافت کردند. دیوارهای جنوب شرقی و جنوب غربی در فصل زمستان بیش‌تر

از تابستان در معرض تابش آفتاب قرار می‌گیرند. در تابستان بیشینه‌ی تابش آفتاب به دیوارهای جنوب شرقی بین ۸ تا ۹ صبح و به دیوارهای جنوب غربی بین ساعت ۳ تا ۴ بعدازظهر می‌تابد. در فصل زمستان این ساعت‌ها به ترتیب ۹ تا ۱۰ صبح و ۲ تا ۳ بعدازظهر است.

سطح بام و دیگر سطوح مسطح ساختمان‌ها، در تابستان بیش‌ترین و در زمستان کمترین مقدار تابش مستقیم آفتاب را دریافت می‌کنند، این مقدار در زمستان حتی کمتر از مقدار تابشی است که دیوارهای جنوب شرقی و جنوب غربی در این فصل دریافت می‌کنند. نیروگاه فتوولتاییک شعبه‌ی یزد توان تأمین کل تقاضای برق شعبه را ندارد. اما در ماه‌های فروردین، آذر، دی، بهمن و اسفند نزدیک به نیمی از تقاضای توان خود را می‌تواند تأمین کند. بیش‌ترین مصرف توان الکتریکی در ماه‌های گرم سال می‌باشد. برای بهینه‌سازی این نوع ساختمان‌ها پیشنهاد شد در ماه‌های اردیبهشت تا مهر بنا بر مصرف بهینه‌ی سامانه‌های تهویه‌ی هوای مطبوع اصلاح شود. ساختمان این شعبه برای رسیدن به شعبه‌ی سبز باید اقدامات اساسی صورت دهد، از ماه اردیبهشت تا آبان، شعبه اقدام به استفاده‌ی از سامانه‌های برودتی(کولر اسپیلیت) می‌کند که با تغییر در ساختار برودتی ساختمان می‌تواند ضمن کاهش مصرف توان الکتریکی، به شعبه‌ی سبز نزدیک شود. بدنه‌ی پشتی ساختمان با سایه‌ی تقریباً دائمی امکان استفاده از تابش را ندارد. این نتیجه‌گیری برای تمامی ساختمان‌های با الگوی مشابه قابل تعمیم می‌باشد؛ همچنین بدنه‌ی جنوبی به دلیل قرارگیری در خیابان و استفاده از نمای ساختمان اجازه‌ی نصب پنل‌های خورشیدی را ندارد. آنالیز سایه نشان داد ساختمان غربی بلند، توان سایه‌اندازی بر روی نیروگاه را ندارد. بیش‌ترین اتلاف مربوط به سایه‌اندازی و کمترین مربوط به سیم‌کشی نیروگاه می‌باشد.

دما در شعبه شهرک گلستان در روزهای گرم در ساعات ۱۲ تا ۱۸ بسیار افزایش پیدا می‌کند و این امر موجب کم شدن جریانات همرفتی و نهایتاً اتلاف دمایی بیشینه خواهد شد. شبیه‌سازی‌ها نشان داد، در کمترین تابش در ۳۳۵ روز سال(یکم دسامبر) دما به حدود ۱۰ درجه رسیده و باد با سرعت بالا و الگوی سینوسی می‌وزد، بنابراین برای این نوع ساختمان‌ها پیشنهاد شد، سامانه‌های گرمایشی جایگزین توان الکتریکی تجدید پذیر(مانند آب‌گرم‌کن خورشیدی، دودکش خورشیدی، بیوفیول سوز و ...) استفاده شود.

نیروگاه شعبه‌ی بولوار امیرکبیر شهرک گلستان – تهران در ماه‌های فروردین و اردیبهشت بیش‌ترین تقاضای توان را می‌تواند تأمین کند. درحالی‌که در ماه‌های خرداد و تیر این میزان کاهش‌یافته و در مرداد تا آبان به کمترین میزان قابلیت تأمین توان رسید. این شعبه در شش ماه اول سال توانست بخش زیادی از مصرف برق خود را از نیروگاه فتوولتاییک ساختمان شعبه تأمین کند. با تغییر هندسه‌ی بام شعبه‌ی بولوار سیبویه به شکل نیم‌کره و استفاده از پنل خورشیدی منعطف و استفاده از پارکینگ ساختمان و پوشش دیوارهای جنوبی و جنوب غربی و غربی از طریق ساختمان‌ها و تراکم ساخت‌وساز و فضای غیرقابل‌دسترس، اقدام به افزایش توان نیروگاه شد.

داده‌های مصرف برق سال ۹۴ نشان داد، در ماه‌های فروردین تا تیرماه شعبه می‌تواند تمام تقاضای توان الکتریکی خود را از طریق نیروگاه بام خود تأمین کند و پس‌ازآن بخشی از تقاضای توان خود را از طریق نیروگاه تأمین می‌کند. ساختمان این شعبه برای رسیدن به شعبه‌ی سبز، باید در ۴ ماه ابتدای سال توان الکتریکی کمتری فعالیت داشته باشد.

در بام شعبه‌ی مرکزی بولوار سیبویه شیراز با آب و هوای خاص باید ردیف پنل‌ها به پشت ساختمان برده شود تا اثر سایه به کمینه برسد تا اتلاف دمایی و سایه به کمینه برسد.

در ساختمان شعبه‌ی بولوار امین قم بیشترین اتلاف توان در بخش دما محاسبه شد و این بخش متأثر از شرایط محیطی و هندسه‌ی ساختمان موردنظر و سازه‌های اطراف و همچنین نحوه‌ی چیدمان پنل‌ها می‌باشد. در گرم‌ترین روز سال (روز ۲۰۱ام) بعد از ساعت ۶ صبح دما رو به افزایش رفته و بیش از ۴۰ درجه‌ی سلسیوس رسید. این نوع ساختمان به‌منظور افزایش جذب دما در ساعات ۷ تا ۱۴ به‌خصوص در ساعت میانه ۹ تا ۱۳ باید باز طراحی شود.

نتیجه‌گیری

تحلیل حساسیت معیار مهمی در بررسی ریسک سرمایه‌گذاری به‌حساب می‌آید. در تحلیل حساسیت، با تکرار محاسبات مالی از طریق تغییر متغیرهای اثرگذار بر نتایج ارزیابی، نتایج به دست آمده با نتایج اولیه مورد مقایسه قرار گرفت. اگر تغییرات ایجاد شده در متغیرها، طرح را از توجیه فنی خارج نکند، سرمایه‌گذاری با اطمینان بیش‌تری انجام خواهد شد. جدول (۳) نتایج آزمون تحلیل فنی – اقتصادی نیروگاه‌های فتوولتاییک ساختمان شعب را نشان می‌دهد:

جدول۳- نتایج مطالعات فنی – اقتصادی طراحی نیروگاه‌ها در حالت متصل به شبکه(بی نیاز از باتری)

نام شعبه		دستواره(تهران)	مرکزی(یزد)	امیرکبیر(تهران)	سیبویه(شیراز)	بولوار امین(قم)
مساحت مفید(m^2)		۷۵۰	۲۷۰	۱۶۰	۱۸۲	۳۰۰
عملکرد اسمی(kW)	هواشناسی منطقه	۳۲/۴	۱۸/۲	۷/۸	۷	۱۶/۵
	هواشناسی ناسا	۳۲/۴	۱۸/۲	۷/۸	۷	۱۶/۵
راندمان(٪)	هواشناسی منطقه	۷۰/۳	۶۷/۱	۶۱/۱	۷۰/۲	۷۸/۸
	هواشناسی ناسا	۶۶/۵	۶۶/۳	۵۶/۱	۷۰/۹	۷۸/۹
میانگین مصرف سالانه(MWh)		۲۹/۳۲۶	۱۰۰/۳۹۲	۲۹/۳۲۶	۲۵/۰۱۰	۱۳۰/۰۹۴
انرژی تولیدی سالانه نیروگاه(MWh)		۴۴/۱۹۹	۲۶/۴۷۸	۱۱/۳۷۸	۱۰/۴۷۹۹	۲۸/۲۶۲
سرمایه‌گذاری اولیه(ریال)		۱،۲۴۳،۲۰۰،۰۰۰	۱،۰۰۰،۱۵۶،۸۵۰	۳۲۲،۹۸۷،۷۰۰	۳۴۳،۰۰۰،۰۰۰	۶۷۲،۹۳۳،۱۰۰
نرخ بازده‌ی داخلی(IRR) با تورم(میلیون ریال)		۴۴/۰۴	۳۴/۸۶	۳۵/۳۶	۳۱/۹۷	۴۷/۱۳
خالص ارزش فعلی(NPV) با تورم(ریال)		۴،۵۰۱،۱۵۷،۷۱۷	۲،۳۱۵،۰۶۴،۳۷۱	۹۰۰،۹۹۹،۵۵۳	۷۵۹،۳۱۰،۶۵۷	۲،۸۷۰،۸۳۷،۲۵۱
ارزش فروش برق سال اول(ریال)		۳۵۳،۵۹۲،۰۰۰	۲۱۱،۸۲۴،۰۰۰	۹۱،۰۲۶،۴۰۰	۸۳،۸۳۹،۲۰۰	۲۲۶،۰۹۷،۶۰۰
دوره‌ی بازگشت سرمایه(سال)		۵/۱۶	۷/۰۸	۷/۳۸	۸/۵۱	۴/۸۳
نسبت مساحت به مصرف انرژی فسیلی($\frac{m^2}{\mathrm{MWh}}$)		۲۵/۵۷	۲/۶۸	۵/۴۵	۷/۲۷	۲/۳۰
نسبت مساحت به تولید انرژی فتوولتاییک($\frac{m^2}{\mathrm{MWh}}$)		۱۶/۹۶	۱۰/۲۰	۱۴/۰۶	۱۷/۳۶	۱۰/۶۱
تامین تقاضای توان الکرتیکی(٪)		۱۵۱	۲۶/۳۷	۳۸/۸۰	۴۱/۹۰	۲۱/۷۲

مساحت در دسترس ساختمان‌های شعب دستواره، مرکزی، امیرکبیر، سیبویه و بولوار امین به ترتیب برابر ۷۵۰، ۲۷۰، ۱۶۰، ۱۸۲ و ۳۰۰ مترمربع می‌باشد. بخشی از ساختمان‌ها و بنای مفید با داشتن شکستگی‌ها و یا سایه‌اندازی زیاد مورد استفاده نیروگاه قرار نگرفته است. بیشینه‌ی عملکرد اسمی نیروگاه فتوولتاییک در شرایط واقعی مربوط به ساختمان شعبه دستواره تهران با ۳۲/۴ کیلووات بوده و کمینه‌ی آن مربوط به ساختمان شعبه‌ی سیبویه شیراز می‌باشد. همچنین بیشینه‌ی

راندمان نیروگاه مربوط به نیروگاه شعبه‌ی بولوار امین قم و کمینه‌ی آن مربوط به نیروگاه ساختمان شعبه‌ی امیرکبیر شهرک گلستان تهران می‌باشد. بنابراین نیروگاه‌های فتوولتایک ساختمان شعب: بولوار امین قم، دستواره تهران، سیبویه شیراز، مرکزی یزد و امیرکبیر تهران از لحاظ راندمان فنی امتیاز بندی می‌شوند.

نتایج آنالیز اقتصادی سامانه‌ها نشان می‌دهد که نرخ بازده‌ی داخلی در نیروگاه خورشیدی ساختمان شعبه دستواره تهران برابر ۴۴/۰۴، مرکزی یزد ۳۴/۸۶، امیرکبیر تهران ۳۵/۳۶، سیبویه شیراز ۳۱/۹۷ و بولوار امین قم برابر ۴۷/۱۳ میلیون ریال می‌باشد و خالص ارزش فعلی به ترتیب برابر با ۴۵۰۱، ۲۳۱۵، ۹۰۰، ۷۵۹ و ۲۸۷۰ میلیون ریال است. مثبت بودن خالص ارزش فعلی و نرخ مناسب بازده اقتصادی، نیروگاه‌ها، ضمن داشتن توجیه اقتصادی جهت جذب سرمایه به ترتیب اولویت اقتصادی نیروگاه‌های ساختمان شعب دستواره تهران، بولوار امین قم، مرکزی یزد، امیرکبیر تهران و سیبویه شیراز را طبقه‌بندی کرده است. دوره‌ی بازگشت سرمایه در نیروگاه خورشیدی ساختمان‌های شعب: دستواره تهران، مرکزی یزد، امیرکبیر تهران، سیبویه شیراز و بولوار امین قم به ترتیب برابر ۵/۱۶، ۷/۰۸، ۷/۳۸، ۸/۵۱ و ۴/۸۳ سال می‌باشد. بنابراین شعبه‌ی دستواره‌ی تهران می‌تواند کاملاً مستقل از شبکه‌ی توزیع برق نیاز توان الکتریکی خود را تامین کند(۱۵۱ درصد) و به عنوان شعبه‌ی سبز معرفی می‌گردد. همچنین نیروگاه فتوولتاییک شعب: مرکزی یزد، امیرکبیر تهران، سیبویه شیراز و بولوار امین قم به ترتیب می‌توانند ۲۶/۳۷، ۳۸/۸۰، ۴۱/۹۰ و ۲۱/۷۲ درصد از نیاز ساختمان شعبه را تامین کنند.

نقشه راه نیل به شعب سبز بانک‌ها

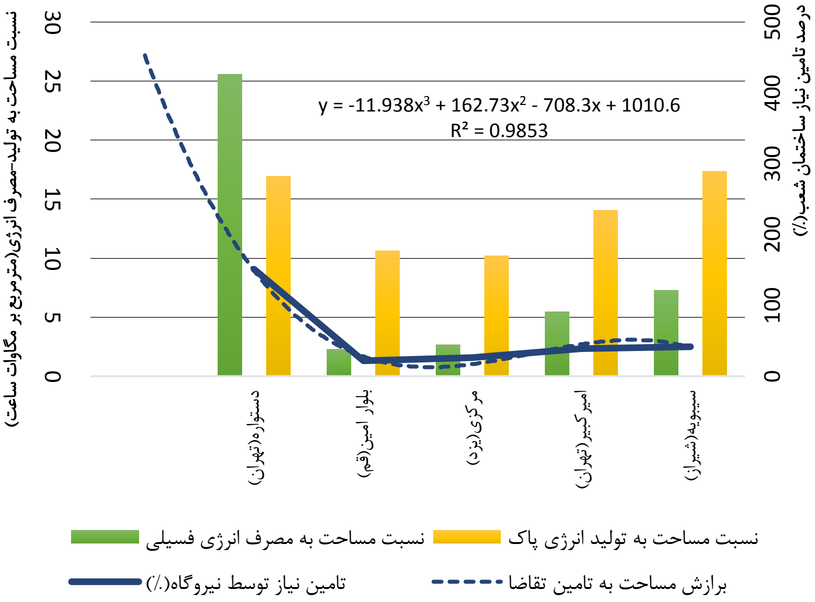
شعبه سبز طرحی بر آینده‌ی آگاه از انرژی و محیط زیست بوده که بر استفاده از معماری پایدار بومی تاکید دارد؛ این نگاه چنین مطرح می‌شود که تمام موضوعات وابسته به یکدیگر هستند، و هر تصمیم‌گیری باید از تمام جنبه‌های آن بررسی شود. شعبه سبز بانک به گونه‌ای ساخته(یا انتخاب) می‌شود که نیاز آن به سوخت فسیلی(مستقیم – غیر مستقیم) حداقل ممکن باشد. ساختمان شعب باید به گونه‌ای طراحی(یا باز طراحی) شوند که قادر به استفاده از اقلیم و منابع انرژی محلی باشند. هر شعبه سبز باید استفاده از منابع جدید را به حداقل برساند و در پایان عمر مفید، منبعی برای ایجاد سازه‌های دیگر به وجود بیاورد (چرخه زیست محیطی کامل داشته باشد.). این شعب به تمام افراد استفاده کننده از خود احترام می‌گذارد. در شعبه سبز بانک انتظار می‌رود که ساختمان کارایی بالا در مدیریت هزینه‌های انرژی داشته و مصرف انرژی ضمن تامین نیازهای متعارف کارکنان و مشتریان بانک، کمینه باشد. بنابراین بر اساس استانداردهای جهانی و طراحی پایدار باید موارد زیر در این ساختمان‌ها رعایت شود(33).

۱- مدیریت مصرف انرژی و آب
۲- وزن کلی ساختمان کمینه و فضاهای کاری بیشینه
۳- نور طبیعی کافی و شفافیت ساختمان بانک
۴- کمینه‌سازی اثرات زیست محیطی، توانایی تعامل با طبیعت و معماری منطقه
۵- محیطی راحت، زیبا و سالم برای کارکنان و مشتریان
۶- نزدیکی به محیط‌های عمومی و خدمات حمایتی شهر مانند ایستگاه مترو، اتوبوس، مراکز خرید و ...

در بخش‌های گوناگون زیست محیطی از جمله مدیریت پسماند و انرژی در کشور، قوانین و مقررات مناسبی تصویب و ابلاغ شده است، اما مواد قانونی مشخصی برای ساختمان‌های تجاری و اقتصادی در زمینه‌ی مدیریت مصرف انرژی، بهره‌وری و کاهش مصرف آب و مدیریت پسماند در قوانین توسعه‌ی اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشور در نظر گرفته نشده است. در این زمینه، مقررات ملی ساختمان به صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان‌ها می‌پردازد، اما معمولا توجه مهندسان ناظر به بخش‌های دیگر همچون سازه‌ی ساختمان‌ها معطوف می‌گردد. ضعف وجود قوانین و مقررات جامع در زمینه‌ی سازگاری ساختمان‌های تجاری با محیط زیست و عدم وجود سامانه‌ی ملی رتبه‌بندی ساختمان سبز از موانع و محدودیت‌های احداث شعب بانکی سبز در کشور می‌باشد که توجه جدی دستگاه‌های مسئول و قانون‌گذار را می‌طلبد. بر اساس آمار

ترازنامه انرژی، سهم بخش خانگی، تجاری و عمومی کشور در تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن ٪۲۵ تا ٪۳۰ بوده که در مقایسه با دیگر بخش‌ها، سهم زیادی را به خود اختصاص داده است. بانک‌ها با جامعه مشتریان و تاثیرگذاری بالای فرهنگی تبلیغاتی باید هرچه بیش‌تر در استفاده از شعب سبز و مدیریت انرژی در ساختمان‌های شعب در جامعه موثر باشند. بر این اساس ساختمان‌های شعب از لحاظ معماری پایدار نیاز به بهینه‌سازی و یا تغییر کلی هستند. بطوری که برای مدیریت و رتبه‌بندی ساختمان‌های تجاری و شعب بانکی برای نیل به شعب سبز ۲ معیار نسبت مساحت ساختمان شعبه به مصرف انرژی فسیلی ($\frac{m^2}{\mathrm{MWh}}$) و نسبت مساحت ساختمان شعبه به تولید انرژی فتوولتاییک($\frac{m^2}{\mathrm{MWh}}$) به عنوان الگوی ارزیابی و نیل به شعب سبز بانکی معرفی می‌گردد (نمودار ۳).

بر این اساس نیروگاه‌های ساختمان شعب بهینه‌سازی گردید.



نمودار۲- الگوی ارزیابی شعب بانکی

شعبه سبز ساختمان دستواره تهران با فضای کافی در اختیار توانست تقاضای توان الکتریکی را بیش از ۱۵۰ درصد تامین کند و همزمان نسبت مساحت به مصرف انرژی فسیلی نشان داد ساختمان شعبه از نظر مدیریت انرژی در شرایط بهینه قرار ندارد. نسبت مساحت به تولید انرژی خورشیدی در این شعبه نشان داد ساختمان در شرایط مناسب دریافت انرژی بوده اما به لحاظ دیگر شعب از اولویت بهره‌گیری از انرژی خورشیدی پایین‌تری قرار دارد. بنابراین شعب بانک سیبویه شیراز، دستواره تهران، امیرکبیر، بولوار امین و مرکزی یزد از لحاظ نسبت مساحت به تولید انرژی خورشیدی طبقه‌بندی می‌شوند. ساختمان‌های واقع در تهران(عرض جغرافیایی مشابه) به منظور بهره‌گیری بیشینه از مساحت برای تولید انرژی نیروگاهی فتوولتاییک بهتراست شمالی باشند. دیوارهای جنوبی بیش‌ترین تابش را در مهرماه به میزان ۹۰ کیلووات ساعت بر مترمربع و کمترین مقدار آن در خردادماه به میزان ۲۱ کیلووات ساعت بر مترمربع دریافت کردند. این دیوارها از شهریور تا اسفند، تابش آفتاب را از طلوع تا غروب دریافت می‌کنند و ضمن ایجاد روشنایی زیاد، نیاز به مصرف انرژی بیش‌تر برای تهویه مطبوع را افزایش می‌دهند. ساختمان شعبه دستواره تهران جنوبی بوده و بخشی از پایین بودن نسبت مساحت به تولید انرژی مربوط به مصرف انرژی سامانه‌های تهویه مطبوع برای دفع گرما و ایجاد شرایط مطبوع دمایی محیط می‌باشد.

بنابراین شعبه‌های سبز بانک در تهران در شرایط بهینه باید شمالی بوده (شعبه امیرکبیر) و از دیوار جنوبی همزمان برای تامین سطح مورد نیاز نیروگاه فتوولتایک بهره‌گرفته شود.

بیش‌ترین مصرف انرژی در شعب مربوط به سامانه‌های تهویه مطبوع بوده (کولر اسپیلت) و ساختمان‌های مستقل (نداشتن همجوار) مانند شعبه دستواره نیاز به مصرف بیش‌تری از انرژی در بخش تهویه مطبوع دارند. درحالی که ساختمان شعب بولوار امین قم و مرکزی یزد از چهار طرف همجوار داشته و انرژی کمتری صرف دفع گرمای دیوارهای جانبی شده است. در حالت کلی عایق‌کاری دیوارهای غیر مشترک و سرمایه‌گذاری بر ساختمان‌های شمالی و دیوار مشترک دار برای شعبه سبز بانک پیشنهاد می‌گردد. ساختمان‌های شمالی که در دیوارهای جنوبی یا شرقی یال بلند دارند و یا ساختمان همجوار بلندتری در جنوب یا شرق آن‌ها وجود دارد مناسب انتخاب شعبه سبز بانک نمی‌باشند، چراکه اثر سایه‌اندازه عملکرد نیروگاه فتوولتاییک را تا حد زیادی محدود خواهد کرد. همچنین انتخاب ساختمان‌هایی که دیوارهای جنوبی و غربی آن دارای شکستگی‌هایی باشد (سطح دیوار افزایش یافته نتیجتاً دما افزایش می‌یابد.) برای شعبه سبز بانک‌ها پیشنهاد نمی‌شود. منحنی تامین نیاز ساختمان شعب از طریق نیروگاه فتوولتاییک (منحنی نمودار۲) نشان داد استفاده از ساختمان‌هایی با مساحت بزرگ در شعبه سبز بانکی بهینه نبوده و بهتر است از فضای پارکینگ، حیاط و ... که همزمان نیاز به سیستم تهویه‌ی مطبوع ندارند، برای تامین سطح نیروگاه فتوولتاییک استفاده شود. منحنی برازش سطح به تامین نیاز شعبه سبز توسط نیروگاه فتوولتاییک با نسبت رگرسیون ۰/۹۸ تصدیق کننده‌ی این مهم بود.

منابع

1- Europe SP. Global market outlook for solar power 2015–2019. Euoropean Photovolt Ind Assoc Bruxelles, Tech Rep. 2015;

2- tng. Tianjin Jinneng Solar Cell Co. Ltd [Internet]. 2017 [cited 2017 Jun 18]. Available from: http://www.globalsources.com/si/AS/Tianjin-Jinneng/6008815379287/Showroom/3000000149681/ALL.htm

3- Prasad D, Snow M. Designing with Solar Power: A Source Book for Building Integrated Photovoltaics (BIPV) [Internet]. Images; 2014 [cited 2017 Jul 2]. Available from: https://books.google.com/books/about/Designing_with_Solar_Power.html?id=_sC32NrngP8C

4- Graff KM, Eng B. Environmental Effects on the Operation of Triple-Junction Flexible Photovoltaic Panels. 2014;

۵- انرژی ت. **ترازنامه انرژی**. (۱۳۹۴). ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۴. وزارت نیرو. معاونت امور برق و انرژی دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی. نشانی وب‌سایت: http://www.cbi.ir/showitem/16085.aspx

6- Zohoori M. Exploiting Renewable Energy Sources in Iran. Interdiscip J Contemp Res Bus [Internet]. 2012 [cited 2017 Jul 2];4(7):849–62. Available from: http://journal-archieves25.webs.com/849-862.pdf

7- Solangi KH, Islam MR, Saidur R, Rahim NA, Fayaz H. A review on global solar energy policy. Renew Sustain Energy Rev [Internet]. 2011 [cited 2018 Feb 15];15:2149–63. Available from: http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/biodiversity/sahyadri_enews/newsletter/issue45/bibliography/A review on global solar energy policy.pdf

۸- رئوفی راد م. طراحی سیستمهای خورشیدی ساختمان در ایران .فدک ایساتیس; ۱۳۸۶، صفحات ۴۲۰

9- Tina GM, Grasso AD. Remote monitoring system for stand-alone photovoltaic power plants: The case study of a PV-powered outdoor refrigerator. Energy Convers Manag [Internet]. 2014;78:862–71. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2013.08.065

10- IEA. Sustainable Technology at the Brundtland Centre Denmark. Int Energy Agency [Internet]. 2017 [cited 2017 Jul 2];9. Available from: http://www.caddet-re.org/assets/no89.pdf

11- Buker MS, Mempouo B, Riffat SB. Performance evaluation and techno-economic analysis of a novel building integrated PV/T roof collector: An experimental validation. Energy Build [Internet]. 2014;76:164–75. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.078

۱۲- م، ربیعی. (۱۳۹۱)، تأمین سه درصد از کل انرژی کشور با منابع تجدید پذیر، ماهنامه بین‌المللی آموزشی، پژوهشی تحلیل و اطلاع‌رسانی پیام سبز، شماره ۱۰۶، ۶۸-۵۳.

۱۳- م، جوادی. ا، جلیل وند. ر، نوروزیان. م، ولی زاده. (۱۳۸۹)، طراحی بهینه و مدیریت هوشمند انرژی سیستم هیبرید مستقل از شبکه برای مناطق روستایی، نشریه انرژی ایران، جلد ۱۳، شماره ۴، ۵۸-۴۰.

۱۴- س، صالحی قلعه سفید. م، دهقانی. ع، توکلی. م، ارفاق. (۱۳۹۰-۱۳۹۱)، مطالعه تأثیر شرایط محیطی بر روی بازده سلول¬های خورشیدی در استان خوزستان و ارائه راهکارهایی برای بهبود عملکرد آن‌ها، پروژه تحقیقاتی شرکت برق منطقه‌ای خوزستان، ۹۳-۴۱.

۱۵- م، شفیعی. ر، فیاض. ش، حیدری. (۱۳۹۲)، فرم مناسب ساختمان بلند برای دریافت انرژی تابشی در تهران، نشریه انرژی ایران، جلد ۱۶، شماره ۴، ۴۷-۶۰

۱۶- ح، کاظمی کارگر. م، نوروزی. (۱۳۸۹)، پنل‌های فتوولتاییک آشنایی اصول و طراحی، انتشارات آراد کتاب، ۱۱۵-۶۹.

۱۷- ف، عتابی. ا، موسی زاده نمینی. آ، رسولی. (۱۳۹۰)، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از سیستم‌های فتوولتاییک در ساختمان‌های مسکونی، نخستین همایش ملی انرژی باد و خورشید، ۳۶-۲۴.

۱۸- م. بهادری نژاد. ح، صفرزاده. (۱۳۸۱)، طراحی یک ساختمان بی‌نیاز از انرژی فسیلی در تهران(ساختمان سبز)، در دومین همایش بین‌المللی بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، ۱۰۰-۱۲۲

19- Bany J, Appelbaum J. The effect of shading on the design of a field of solar collectors. Sol Cells. 1987;20(3):201–28.

20- Soulayman S, Hammoud M. Optimum tilt angle of solar collectors for building applications in mid-latitude zone. Energy Convers Manag [Internet]. 2016 [cited 2017 Jul 2];124:20–8. Available from: https://offcamp.modares.ac.ir/+CSCO+0h756767633A2F2F6E702E7279662D7071612E70627A++/S0196890416305556/1-s2.0-S0196890416305556-main.pdf?_tid=685cff14-5f11-11e7-b1b3-00000aab0f6b&acdnat=1498991583_c5da4f504eab5fa4d394660c89128745

21- Fara L, Craciunescu D. ScienceDirect Sustainable Solutions for Energy and Environment, EENVIRO Output Analysis of Stand-Alone PV Systems: Modeling, Simulation and Control.

Energy Procedia [Internet]. 2017 [cited 2017 Jul 2];112:595–605. Available from: https://offcamp.modares.ac.ir/+CSCO+0h756767633A2F2F6E702E7279662D7071612E70627A++/S187661021731250X/1-s2.0-S187661021731250X-main.pdf?_tid=8e71faca-5f15-11e7-8f05-00000aab0f26&acdnat=1498993364_560f76890524237236671e7d662d9c22

۲۲- ع، اکرامی. م، صادقی. (۱۳۸۷)، ارزیابی اقتصادی توسعه نیروگاه‌های خورشیدی با توجه به ملاحظات زیست محیطی، فصل‌نامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، شماره ۱۰، ۵۱-۴۴.

23- Ekoe A Akata AM, Njomo D, Agrawal B. Assessment of Building Integrated Photovoltaic (BIPV) for sustainable energy performance in tropical regions of Cameroon. Renew Sustain Energy Rev [Internet]. 2017;80(September 2016):1138–52. Available from: http://www.sciencedirect.com.ezproxy.unal.edu.co/science/article/pii/S1364032117307992

24- Tomar V, Tiwari GN. Techno-economic evaluation of grid connected PV system for households with feed in tariff and time of day tariff regulation in New Delhi ??? A sustainable approach. Renew Sustain Energy Rev [Internet]. 2017;70(November 2016):822–35. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.263

25- Sheikhi A, Ranjbar AM, Oraee H. Financial analysis and optimal size and operation for a multicarrier energy system. Energy Build [Internet]. 2012 [cited 2017 Jul 2];48:71–8. Available from: https://offcamp.modares.ac.ir/+CSCO+0h756767633A2F2F6E702E7279662D7071612E70627A++/S0378778812000138/1-s2.0-S0378778812000138-main.pdf?_tid=5901bffe-5f1c-11e7-b70e-00000aacb360&acdnat=1498996281_b9dbb8a26ae0b517cbf05e9e544086b3

26- Deline C, Marion B, Granata J, Gonzalez S, Buker MS, Mempouo B, et al. A performance and economic analysis of distributed power electronics in photovoltaic systems. Contract [Internet]. 2011 [cited 2017 Jun 17];303(January):275–3000. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.078

27- Zubi G, Dufo-L??pez R, Pasaoglu G, Pardo N. Techno-economic assessment of an off-grid PV system for developing regions to provide electricity for basic domestic needs: A 2020-2040 scenario. Appl Energy [Internet]. 2016;176:309–19. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.05.022

28- Biyik E, Araz M, Hepbasli A, Shahrestani M, Yao R, Shao L, et al. Engineering Science and Technology , an International Journal A key review of building integrated photovoltaic (BIPV) systems. Eng Sci Technol an Int J [Internet]. 2017; Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.jestch.2017.01.009

29- Bloem JJ, Lodi C, Cipriano J, Chemisana D. An outdoor Test Reference Environment for double skin applications of Building Integrated PhotoVoltaic Systems.

Energy Build [Internet]. 2012;50:63–73. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.03.023

۳۰- بانک مرکزی. (۱۳۹۶). بررسی تحولات تورم طی سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۵. سایت بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران. نشانی وب‌سایت: http://www.cbi.ir/showitem/16085.aspx

۳۱- ساتبا. (۱۳۹۶). تعرفه خرید تضمینی برق از نیروگاه‌های تجدید پذیر و پاک. سایت سازمان انرژی‌های تجدید پذیر و بهره‌وری انرژی برق(ساتبا). نشانی وب‌سایت: http://www.satba.gov.ir/Components/News/View/NewsPDF

32- Hossain Mondal MA. Economic viability of solar home systems: Case study of Bangladesh. Renew Energy [Internet]. 2010 [cited 2017 Jun 17];35(6):1125–9. Available from: https://offcamp.modares.ac.ir/+CSCO+0h756767633A2F2F6E702E7279662D7071612E70627A++/S096014810900531X/1-s2.0-S096014810900531X-main.pdf?_tid=52250ae0-539d-11e7-9764-00000aab0f6c&acdnat=1497732261_fa034f1d1726fcc723391b00468bc32a