اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره وری
مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی
۲۶ و ۲۷ بهمن ۱۴۰۴ هتل المپیک – تهران

بسم الله الرحمن الرحیم

بررسی فنی–اقتصادی و پتانسیل‌سنجی کاهش ردپای کربن از طریق استقرار نیروگاه خورشیدی: مطالعه موردی بر اساس شبیه‌سازی در نرم‌افزار PVsol برای یک کارخانه لبنی

مجید نوری کمری[۱] ،شیرزاد حسن بگی [۲]، سید علی افضلی [۳] حامد غفارنژاد اردهائی[۴]، عرفان غلامزاده[۵]

۱- پژوهشگاه استاندارد ایران ، m.nouri@standard.ac.ir
۲- پژوهشگاه استاندارد ایران ، hassanbegi@standard.ac.ir
۳- شرکت اعتماد پژوهش صنعت البرز، afzalienergyestandard@gmail.com
۴- شرکت االعتماد پژوهش صنعت البرز، hamed.71.eng1@gmail.com
۵- دانشگاه علم و صنعت ایران، gholamzadeh.iam.erfan@gmail.com

کدمقاله: EFAB015831174

اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره وری
مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی
۲۶ و ۲۷ بهمن ۱۴۰۴ هتل المپیک – تهران
ISC

چکیده: "صنایع انرژی‌بر مانند لبنیات، در تقاطع دو چالش عمده قرار دارند: مصرف بالای انرژی و ضرورت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای. این مطالعه به دنبال ارائه یک راه‌حل عملیاتی و کمّی برای این چالش‌ها از طریق استقرار نیروگاه خورشیدی متصل به شبکه است. پژوهش حاضر با رویکردی موردکاوی و با استفاده از شبیه‌سازی دقیق در نرم‌افزار PVsol، به طراحی و ارزیابی فنی-اقتصادی یک سیستم فتوولتائیک ۲۰۳ کیلوواتی بر روی سقف یک کارخانه لبنی در استان البرز پرداخته است. سیستم طراحی‌شده متشکل از ۲۸۲ پنل دوطرفه با توان ۷۲۰ وات از برند ترینا‌سولار است که در ۵ رشته مجزا به سه اینورتر مرکزی ۶۰ کیلوواتی از برند کاکو متصل می‌شوند. پنل‌ها بر روی سقف با زاویه ۳۰ درجه و جهت جنوب‌شرقی نصب می‌شوند. داده‌های اقلیمی از پایگاه مترونوم برای منطقه البرز استخراج شد و مدلسازی سه‌بعدی سایه با دقت انجام پذیرفت. نتایج فنی نشان می‌دهد سیستم می‌تواند سالانه ۳۱۷ هزار و ۹۱۵ کیلووات‌ساعت انرژی تولید کند که معادل ضریب کارایی برابر با ۷۱.۹۶ درصد و تولید ویژه ۱۵۶۵ کیلووات‌ساعت بر کیلووات‌پیک است. کاهش بازده ناشی از سایه‌اندازی ۱۵.۲ درصد محاسبه شد. از جنبه زیست‌محیطی، با استفاده از ضریب انتشار شبکه برق ایران (۰.۵۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن بر کیلووات‌ساعت)، این سیستم سالانه از انتشار ۱۸۱.۲ تن معادل دی‌اکسیدکربن جلوگیری می‌کند که سهمی معادل ۷.۱ درصد از انتشار حوزه برق و ۲.۵ درصد از کل ردپای کربن (۷۱۵۳.۵ تن) کارخانه را خنثی می‌سازد. تحلیل اقتصادی با درنظرگیری هزینه سرمایه‌گذاری ۸۱۲۰ میلیون تومانی، درآمد تضمینی برق به نرخ ۳۸۰۰ تومان بر کیلووات‌ساعت و نرخ تنزیل طیفی مرسوم در بازار ایران ۳۰ الی ۴۰ درصد، نشان می‌دهد در صورت رشد سالانه ۲۰ درصد در نرخ خرید برق (با توجه به شرایط تورمی ایران)، دوره بازگشت سرمایه به حدود ۳.۸ سال کاهش یافته و نرخ بازده داخلی پروژه از نرخ تنزیل فراتر می‌رود. این مطالعه اثبات می‌کند که سرمایه‌گذاری در نیروگاه خورشیدی نه تنها گامی مؤثر در راستای کربن‌زدایی و مسئولیت اجتماعی صنعت لبنیات است، بلکه با توجه به روند صعودی قیمت‌های انرژی، از توجیه اقتصادی قابل‌توجهی برخوردار است."

کلید واژه‌ها: نیروگاه خورشیدی، PVsol، ارزیابی فنی-اقتصادی، کاهش ردپای کربن، صنایع لبنی، انرژی تجدیدپذیر، پنل دوطرفه، ضریب کارایی.

مقدمه "صنایع تبدیلی غذایی، به‌ویژه صنعت لبنیات، به دلیل اتکای شدید بر فرآیندهای حرارتی مداوم (مانند پاستوریزاسیون، استریلیزاسیون و خشک‌کنی پاششی) و همچنین سیستم‌های سرمایشی گسترده (برای نگهداری و انبارش)، در زمره صنایع طبقه‌بندی می‌شوند. در مطالعه‌ای مقدماتی که توسط مؤلفان بر روی یک کارخانه شاخص لبنی در ایران انجام شد، ردپای کربن این واحد با استفاده از چارچوب استاندارد بین‌المللی ایزو ۱۹۶۹۴ (تعیین انتشار گازهای گلخانه‌ای در صنایع انرژی‌بر) کمی‌سازی گردید. نتایج نشان داد کل انتشار سالانه این کارخانه معادل ۷۱۵۳٫۵ تن معادل دی‌اکسیدکربن است. تحلیل این انتشارات حاکی از سلطه مطلق انتشارهای مستقیم (دامنه ۱) با سهم ٪۸۰ (عمدتاً ناشی از احتراق گاز طبیعی در بویلرها) بود. سهم انتشارهای غیرمستقیم ناشی از انرژی خریداری‌شده (دامنه ۲) نیز ٪۲۰ معادل ۲۵۶۰٫۸ تن دی اکسید کربن برآورد شد که منحصراً مرتبط با مصرف برق شبکه سراسری با ضریب انتشار کربن بالا است. این یافته‌ها لزوم اتخاذ راهبردهای دوگانه بهینه‌سازی مصرف انرژی در فرآیندهای حرارتی و جایگزینی منابع انرژی در بخش الکتریکی را برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار در این صنعت آشکار می‌سازد. در سال‌های اخیر، انرژی‌های تجدیدپذیر پراکند به‌ویژه فناوری فتوولتائیک، به عنوان یک راه‌حل عملیاتی و بلوغ‌یافته برای کمک به هر دو هدف فوق مورد توجه قرار گرفته‌اند. استقرار نیروگاه‌های خورشیدی در محل مصرف (سقف یا محوطه واحدهای صنعتی) این امکان را فراهم می‌آورد که بخشی از نیاز الکتریکی واحد، مستقیماً از یک منبع پاک و بومی تأمین گردد. این کار نه‌تنها با کاهش خرید برق از شبکه، باعث کاهش هزینه‌های قابل‌توجه عملیاتی در بلندمدت می‌شود، بلکه به‌طور مستقیم و کمّی، از طریق جایگزینی الکتریسیته با منشأ فسیلی، موجب کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای حوزه ۲ (دامنه ۲) می‌گردد."

مواد و روش

این مطالعه با رویکردی موردکاوی و با بهره‌گیری از روش‌های شبیه‌سازی نرم‌افزاری و تحلیل اقتصادی انجام شده است. چارچوب کلی پژوهش، مبتنی بر استفاده از نتایج مطالعه پایه ردپای کربن [۵] به عنوان داده‌های ورودی، و نرم‌افزار تخصصی PVsol Premium 2023 برای طراحی و شبیه‌سازی سیستم فتوولتائیک است. ارزیابی اقتصادی نیز با توسعه یک مدل مالی مبتنی بر جریان نقدی در محیط اکسل انجام پذیرفته است.

۱. واحد مورد مطالعه و داده‌های انرژی پایه

پارامتر	مقدار عددی	واحد	منبع/توضیح
مصرف سالانه برق	۴،۴۹۲،۶۸۴	کیلووات‌ساعت (kWh)	صورتحساب‌های برق کارخانه
ضریب انتشار شبکه برق ایران	۰،۵۷	کیلوگرم معادل CO_2eبر کیلووات‌ساعت ($kgCO_2e/kWh$)	مرجع [۱۱]
انتشار گازهای گلخانه‌ای حوزه ۲ (ناشی از برق)	۲،۵۶۰،۸	تن معادل دی‌اکسیدکربن (tCO_2e)	محاسبه شده (حاصلضرب دو ردیف بالا)
توضیح محاسبه : حوزه انتشار ۲ = (ضریب انتشار × مصرف برق) / ۱۰۰۰ $= (۴,۴۹۲,۶۸۴\ kWh \times ۰.۵۷\ kgCO_2e/kWh) / ۱۰۰۰$ $= ۲,۵۶۰.۸\ tCO_2e$			

مواد و روش

۲. نرم‌افزار و روش‌شناسی شبیه‌سازی PVsol

مدلسازی سه‌بعدی سایت: ابتدا هندسه دقیق ساختمان اصلی کارخانه (با ابعاد ارائه شده در نقشه‌های فنی) و همچنین ساختمان‌ها و سازه‌های بلند مجاور که پتانسیل سایه‌اندازی داشتند، در ماژول سه‌بعدی نرم‌افزار بازسازی شدند (شکل تعریف سطوح مولد: سطح سقف ساختمان اصلی به عنوان محل نصب پنل‌ها تعریف گردید. جهت جغرافیایی (آزیموت) و زاویه شیب بهینه این سقف با توجه به موقعیت سایت، به ترتیب ۱۳۹ درجه (جنوب‌شرقی) و ۳۰ درجه اندازه‌گیری و در نرم‌افزار وارد شد.

انتخاب و چیدمان تجهیزات: پنل‌ها و اینورترهای موجود در پایگاه داده نرم‌افزار که معادل مدل‌های پیشنهادی فروشنده بودند، انتخاب گردیدند.

محاسبات و شبیه‌سازی: نرم‌افزار با استفاده از الگوریتم ردیابی نقطه حداکثر توان و درنظرگیری تمام تلفات (حرارتی، کابلی، سایه، خاک، عدم تطابق و راندمان اینورتر)، تولید ساعتی و سالانه سیستم را محاسبه نمود.

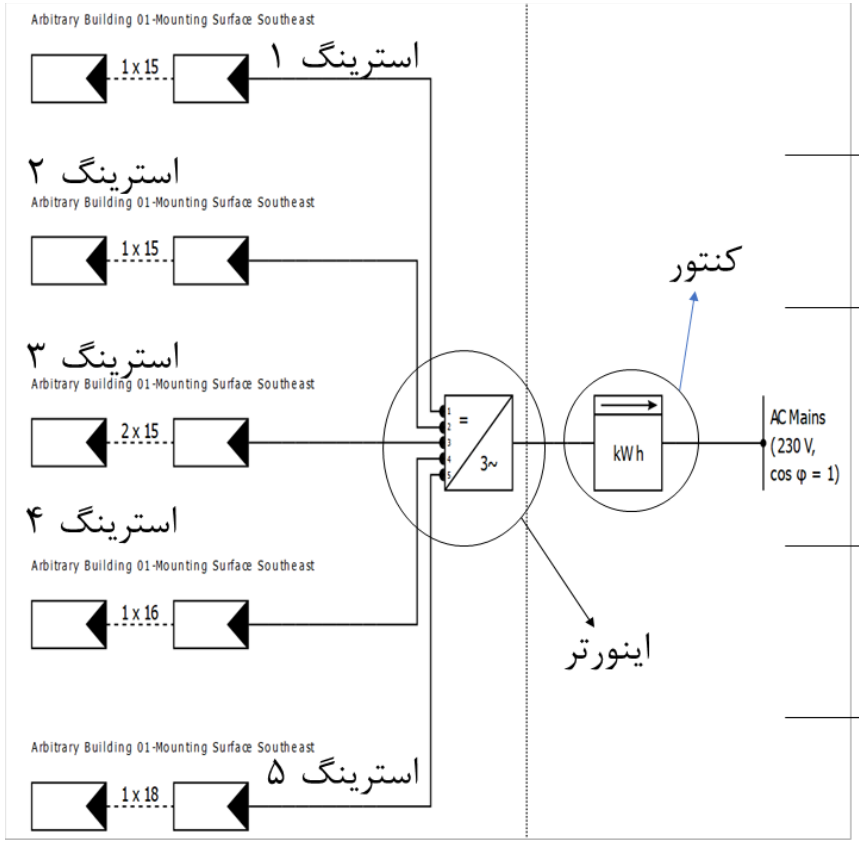
۳. طراحی سیستم فتوولتائیک

سیستم پیشنهادی یک سیستم متصل به شبکه با تزریق توان به پست فشار ضعیف کارخانه است.

از نظر تعداد و نوع ۲۸۲ عدد پنل خورشیدی دوطرفه ترینا سولار با توان اسمی ۷۲۰ وات ((Wpدر شرایط استاندارد (STC)) انتخاب پنل دوطرفه به دلیل امکان جذب تابش بازتابی از سطح سقف و افزایش تولید انرژی تا ۵-۱۵٪ بود.

مواد و روش

شکل ۱ـ دیاگرام تک‌خطی سیستم فتوولتائیک، نشان‌دهنده اتصال استرینگ‌ها به اینورترها



استرینگ ۱: ۱۵ پنل سری

استرینگ ۲: ۱۵ پنل سری

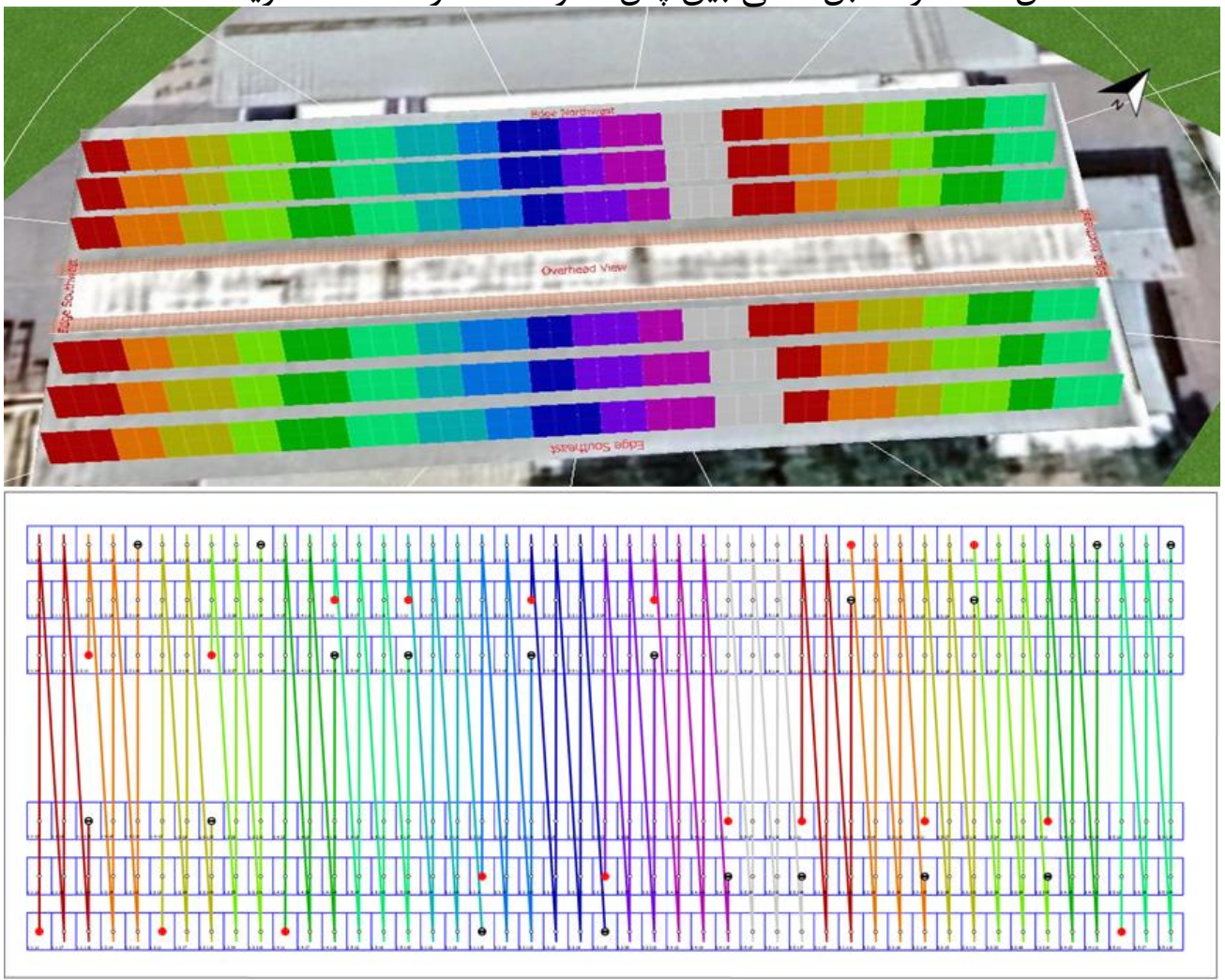
استرینگ ۳: ۳۰ پنل سری
(حاصل از اتصال موازی دو رشته ۱۵ تایی)

استرینگ ۴: ۱۶ پنل سری

استرینگ ۵: ۱۸ پنل سری

مواد و روش

شکل ۲ـ نحوه کابل کشی بین پنل ها و ساخت رشته‌ها (استرینگ)



مواد و روش

۴. شاخص‌های ارزیابی فنی

برای تحلیل عملکرد سیستم، شاخص‌های کلیدی زیر از گزارش نرم‌افزار استخراج گردید:

تولید انرژی سالانه E_AC که کل انرژی تزریقی به شبکه در یک سال (بر حسب کیلووات ساعت) است.

تولید ویژه Specific Yield که نسبت تولید سالانه به ظرفیت نصب‌شده kWh/kWpاست که نشان‌دهنده بهره‌وری سیستم در یک موقعیت جغرافیایی خاص می‌باشد.

ضریب عملکرد PRکه معیاری بی‌بعد و مهم برای قضاوت درباره کیفیت طراحی و راندمان کلی سیستم است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$PR = \frac{Yf}{Yr} = \frac{EAC/PDC,STC}{H/GSTC}$$

که در آن Yf بازده نهایی سیستم، Yr بازده مرجع و EAC انرژی تولیدی ACو PDC,STCتوان DC پنل‌ها در STCو H تابش فرورفته بر پنل‌ها kWh/m^2 و GSTC تابش در شرایط STC (1 kW/m^2) است.

۵.روش محاسبه کاهش ردپای کربن

میزان کاهش سالانه انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از عملکرد نیروگاه خورشیدی با استفاده از روش جایگزینی و بر مبنای ضریب انتشار شبکه محاسبه شد:

$$\Delta CO2e = EAC \times EFGrid$$

که در آن ΔCO2e کاهش انتشار سالانه kgCO2e و EFGrid ضریب انتشار شبکه ۰.۵۷ (kgCO2e/kWh) است. این عدد سپس به تن تبدیل و سهم آن از کل انتشار و انتشار حوزه ۲ کارخانه محاسبه گردید.

مواد و روش

۶.روش‌شناسی تحلیل اقتصادی

برای ارزیابی مالی پروژه، یک مدل جریان نقدی تنزیل‌شده بر مبنای عمر مفید ۲۰ ساله (مطابق مدت قرارداد خرید تضمینی) توسعه داده شد. مدل بر اساس مفروضات زیر بنا شده است:

هزینه سرمایه‌گذاری اولیه ۸۱۲۰ میلیون تومان (بر اساس پیش‌فاکتور فروشنده، شامل خرید تجهیزات، حمل و نصب).

درآمد سالانه (سال اول) حاصل از فروش کل تولید سالانه EAC به نرخ تضمینی ۳,۸۰۰ تومان بر کیلووات‌ساعت است.

هزینه عملیاتی و نگهداری سالانه معادل ۱٪ از هزینه سرمایه‌گذاری اولیه (یعنی ۸۱.۲ میلیون تومان در سال) در نظر گرفته شد. این هزینه شامل نظافت دوره‌ای پنل‌ها، بازرسی‌های فنی و هزینه‌های اداری می‌شود.

نرخ تنزیل r با توجه به نرخ بازده بدون ریسک (اخزا) و ریسک‌های ویژه پروژه‌های تجدیدپذیر در ایران، سه نرخ تنزیل ٪۳۰، ٪۳۵ و ٪۴۰ برای تحلیل در نظر گرفته شد.

نرخ رشد سالانه درآمد: با توجه به ماهیت غیرقابل پیش‌بینی افزایش نرخ تضمینی برق در ایران، تحلیل تحت دو سناریو انجام گرفت: سناریوی محافظه‌کارانه (بدون رشد نرخ) و سناریوی واقع‌بینانه (با رشد مرکب سالانه ٪۲۰ در نرخ برق). این نرخ رشد با استناد به سابقه افزایش ~۷۳٪ی نرخ در یک سال گذشته و نرخ تورم ساختاری اقتصاد ایران (~۴۳٪) تعیین شده است [۱۷].

خالص ارزش فعلی (NPVکه در آن CFtجریان نقدی خالص در سال tو nعمر پروژه (۲۰ سال) است. پروژه زمانی توجیه‌پذیر است که $NPV > 0$باشد.

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{CFt}{(1+r)^t} - CAPEX$$

دوره بازگشت سرمایه PBPمدت زمانی که طول می‌کشد تا مجموع جریان‌های نقدی ورودی (درآمدها) با سرمایه اولیه برابر شود.

یافته های تحقیق

۱.عملکرد فنی سیستم و تحلیل شبیه‌سازی

بر اساس شبیه‌سازی دقیق انجام‌شده در نرم‌افزار PVsol، سیستم فتوولتائیک ۲۰۳ کیلوواتی طراحی‌شده، قادر خواهد بود سالانه ۳۱۷،۹۱۵ کیلووات‌ساعت انرژی الکتریکی خروجی ACبه شبکه داخلی کارخانه تزریق نماید. این مقدار تولید، معادل تولید ویژه ۱،۵۶۵ کیلووات‌ساعت به ازای هر کیلووات‌پیک نصب‌شده است. این شاخص، عملکرد خوب سیستم در اقلیم منطقه البرز را نشان می‌دهد.

۲. پتانسیل کاهش ردپای کربن

با اعمال ضریب انتشار شبکه برق ایران ۰.۵۷ کیلوگرم (CO_2e/kWh) بر انرژی تولیدی سالانه سیستم (۳۱۷،۹۱۵ کیلووات ساعت، میزان کاهش انتشار سالانه ناشی از عملکرد نیروگاه خورشیدی ۱۸۱،۲۱۲ کیلوگرم یا ۱۸۱.۲ تن معادل دی‌اکسیدکربن محاسبه گردید. برای درک اهمیت این رقم، آن را در بستر کل انتشارات کارخانه قرار می‌دهیم و در جدول ۳ و شکل ۷ جزئیات آن نمایش داده شده است.

یافته های تحقیق

جدول ۱ـ محاسبه سهم کاهش انتشار ناشی از نیروگاه خورشیدی

پارامتر	مقدار عددی	واحد	توضیح / منبع
الف) داده‌های پایه انتشار کارخانه			
کل انتشار گازهای گلخانه‌ای (حوزه‌های ۱ و ۲)	۷،۱۵۳،۵	تن معادل CO_2در سال (tCO_2e/yr)	مطالعه پایه [۵].
انتشار حوزه ۲ (ناشی از مصرف برق شبکه)	۲،۵۶۰،۸	تن معادل CO_2 در سال (tCO_2e/yr)	مطالعه پایه [۵].
ب) عملکرد سیستم فتوولتائیک			
کاهش سالانه انتشار توسط نیروگاه (ΔCO_2e)	۱۸۱،۲	تن معادل CO_2در سال (tCO_2e/yr)	حاصل از شبیه‌سازی PVsolو ضریب انتشار شبکه
ج) سهم کاهش (نسبت کاهش)			
سهم کاهش از کل انتشار کارخانه	≈ ۲،۵۳	(%) درصد	$(181.2 / 7,153.5) \times 100$
سهم کاهش از انتشار (حوزه ۲) برق	≈ ۷،۰۸	(%) درصد	$(181.2 / 2,560.8) \times 100$

یافته های تحقیق

جدول ۲ـ نتایج شاخص‌های اقتصادی پروژه تحت سناریوهای مختلف درآمدی و نرخ‌های تنزیل

سناریو / نرخ تنزیل	دوره بازگشت سرمایه (سال)	خالص ارزش فعلی - NPV (میلیون تومان)	نرخ بازده داخلی - IRR	توجیه‌پذیری (NPV > 0)
الف) سناریوی محافظه‌کارانه (درآمد ثابت)				
با نرخ تنزیل ٪۳۰ -	۷,۲	-۱،۹۸۵	~۱۳٪	خیر
با نرخ تنزیل ٪۳۵ -	۷,۲	-۲،۸۷۰	~۱۳٪	خیر
با نرخ تنزیل ٪۴۰ -	۷,۲	-۳،۵۸۰	~۱۳٪	خیر
ب) سناریوی واقع‌بینانه (درآمد با رشد ٪۲۰ سالانه)				
با نرخ تنزیل ٪۳۰ -	۳,۸	+۱۲،۴۵۰	~۵۴٪	بله
با نرخ تنزیل ٪۳۵ -	۳,۹	+۸،۹۲۰	~۵۴٪	بله
با نرخ تنزیل ٪۴۰ -	۴,۰	+۶،۲۱۰	~۵۴٪	بله

بحث و نتیجه گیری

- از لحاظ فنی و زیستمحیطی سیستم طراحی‌شده متشکل از ۲۸۲ پنل دوطرفه ترینا‌سولار و سه اینورتر کاکو، با ضریب عملکرد معادل ٪۷۱.۹۶، قادر به تولید سالانه ۳۱۷،۹۱۵ کیلووات‌ساعت انرژی پاک است. با استفاده از ضریب انتشار شبکه برق ایران، محاسبه شد این میزان تولید، سالانه از انتشار ۱۸۱.۲ تن معادل دی‌اکسیدکربن جلوگیری می‌کند. این مقدار، حدود ٪۷ از انتشارات بخش برق (حوزه ۲) و ٪۲.۵ از کل ردپای کربن کارخانه را خنثی می‌سازد. این رقم، اگرچه کل نیاز را پوشش نمی‌دهد، اما گامی ملموس، قابل اندازه‌گیری و کاملاً عملی در مسیر کربن‌زدایی این واحد صنعتی است.

۲- از لحاظ اقتصادی (مهم‌ترین یافته) توجیه‌پذیری مالی این پروژه به شکلی قاطع به سناریوی آتی قیمت انرژی وابسته است. تحت فرض ایستایی قیمت خرید تضمینی برق، نرخ بازده داخلی پروژه (~٪۱۳) به طور قابل توجهی پایین‌تر از نرخ‌های تنزیل مرسوم در بازار ایران (۳۰ تا ٪۴۰) قرار می‌گیرد. در این حالت، پروژه از دیدگاه استانداردهای مالی ارزش آفرین نبوده و توجیه نمی‌شود. با این حال، تحت فرض رشد سالانه ٪۲۰ در نرخ خرید برق (فرضی که با سابقه تورم ساختاری و افزایش قیمت حامل‌ها در ایران همخوانی دارد)، تصویر به کلی دگرگون می‌شود. در این سناریو، نرخ بازده داخلی پروژه به حدود ٪۵۴ صعود می‌کند که حتی از بدبینانه‌ترین نرخ تنزیل (٪۴۰) نیز بسیار فراتر است. این امر منجر به خالص ارزش فعلی (NPV)مثبت و قابل توجه و دوره بازگشت سرمایه‌ای کوتاه (حدود ۴ سال) می‌گردد. تحلیل حساسیت نیز نشان داد که جذابیت پروژه بیش از هر چیز به نرخ رشد آتی قیمت برق وابسته است.

جمع‌بندی نهایی بیان می‌کند که استقرار نیروگاه خورشیدی در این کارخانه لبنی، یک راهبرد دوگانه است. از یک سو، دستاورد زیستمحیطی مستقیم و کمّی دارد. از سوی دیگر و مهم‌تر، در صورت تداوم روند افزایش قیمت‌های انرژی، به یک سرمایه‌گذاری مالی بسیار جذاب با عملکردی فراتر از بازارهای متعارف تبدیل می‌شود. بنابراین، این پروژه نه یک هزینه، بلکه یک ابزار هوشمند مدیریت ریسک در برابر نوسانات آتی هزینه‌های عملیاتی و یک اقدام پیش‌دستانه برای آینده‌ای با قوانین سخت‌گیرانه‌تر کربنی قلمداد می‌شود.

منابع و ماخذ

1. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). Accelerating clean energy technological innovation for industry. Vienna: UNIDO; 2019. Available from: https://www.unido.org/our-focus-cross-cutting-services/clean-energy-industrial-energy-efficiency-0
2. Food and Agriculture Organization (FAO). The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome: FAO; 2017.
3. Verma P, Patel N, Nair N-KC, Brent AC. Improving the energy efficiency of the food industry: A systematic review and meta-analysis. Energy Efficiency. 2021;14(8):88.
4. International Organization for Standardization (ISO). ISO 19694-1:2021. Stationary source emissions — Determination of greenhouse gas emissions in energy-intensive industries — Part 1: General aspects. Geneva: ISO; 2021.
5. [Seyyed Ali Afzali et Al]. Systematic assessment of carbon footprint and energy productivity based on ISO 19694-1: A case study in a dairy factory. [Journal Name]. (Under Review). 2024. Persian.
6. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report. Cambridge, UK: Cambridge University Press; 2022.
7. International Renewable Energy Agency (IRENA). Renewable Power Generation Costs in 2022. Abu Dhabi: IRENA; 2023.

منابع و ماخذ

8. Zhang H, Wu K, Qiu Y, Chan G, Wang S, Zhou D, et al. Solar photovoltaic interventions have reduced rural poverty in China. Nat Commun. 2020;11(1):1969.
9. Mermoud A, Wittmer B, Lejeune C. Performance Assessment of Photovoltaic Systems: A Framework for a Standardized Procedure. 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition; 2013; Paris, France.
10. Valentin Software GmbH. PV*SOL® premium 2023: Reference Manual. Berlin: Valentin Software; 2023.
11. Iran Grid Management Company (IGMC). Annual Report on Electricity Statistics and Carbon Intensity of the National Grid - Year 1402 (2023-2024). Tehran: Ministry of Energy; 2024. Persian.
12. Huld T, Müller R, Gambardella A. A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. Sol Energy. 2012;86(6):1803-15.
13. Trina Solar. White Paper: Bifacial Solar Technology and its Application. Changzhou: Trina Solar; 2023.

منابع و ماخذ

14. Boyd MT, Klein SA, Reindl DT. Evaluation and validation of equivalent inverter loading ratios for photovoltaic system design. IEEE Journal of Photovoltaics. 2015;5(2):578-85.
15. Remund J, Müller S, Schilter C, Rihm B. The Use of Meteonorm Weather Generator for Climate Change Studies. 12th EMS Annual Meeting & 9th European Conference on Applied Climatology; 2012; Łódź, Poland.
16. Damodaran A. Equity Risk Premiums (ERP): Determinants, Estimation, and Implications – The 2024 Edition. New York: Stern School of Business; 2024. Available from: https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/
17. Tehran Securities Exchange Technology Management Co. (TSETMC). Market Data and Indicators: Historical Yields of Islamic Treasury Bills (اخزا) and Corporate Bond Rates. [Database]. Tehran: TSETMC; 2024. Persian. Available from: https://www.tsetmc.com
18. Brealey RA, Myers SC, Allen F. Principles of Corporate Finance. 13th ed. New York: McGraw-Hill Education; 2019.
19. International Energy Agency (IEA). World Energy Outlook 2023. Paris: IEA; 2023.

منابع و ماخذ

20. Khalili S, Rantanen E, Bagheri M, Sharifi A. Financing renewable energy projects: A critical review of barriers and solutions in the Iranian context. Energy Policy. 2022;169:113185.

تشکر بی پایان از کمیته اجرایی و علمی اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره وری مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی و همچنین پژوهشگاه و سازمان عالی قدر استاندارد ملی ایران

پایان