

## ارزیابی هم‌زمان قابلیت اطمینان دسترسی به برق و هزینه در سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه (مطالعه موردی: کرمانشاه)

مهدی حاتمی<sup>۱</sup>، علی ناظمی<sup>۲\*</sup>، اعظم دولت‌آبادی<sup>۳</sup>، ناصر رستم‌نیا<sup>۴</sup>

۱. کارشناس ارشد مهندسی صنایع شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب

۲. استادیار اقتصاد دانشگاه علوم اقتصادی

۳. کارشناس ارشد مدیریت بازرگانی دانشگاه پیام‌نور تهران

۴. کارشناس ارشد مهندسی صنایع دانشگاه علوم اقتصادی

(تاریخ دریافت ۹۲/۰۹/۱۶ - تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده ۹۳/۱۱/۲۵ - تاریخ تصویب ۹۴/۰۳/۱۸)

### چکیده

تعداد ساعات آفتابی روزانه، یکی از عوامل تأثیرگذار بر تعداد پنل خورشیدی در یک سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه است. با تغییر ماه‌های مختلف، میزان ساعات آفتابی روزانه نیز تغییر می‌یابد که معمولاً در ماه‌های تابستان، بیشتر از زمستان است. در هنگام طراحی سیستم فتوولتائیک و محاسبه تعداد اجزای سیستم، معمولاً از مقدار متوسط ساعات آفتابی استفاده می‌شود، اما در زمستان به دلیل ساعات آفتابی کمتر از متوسط، با کمبود برق و در تابستان به دلیل ساعات آفتابی بالاتر از متوسط، با برق اضافی و استفاده‌نشده روبه‌رو می‌شویم. در این پژوهش برای شهر کرمانشاه با توجه به ساعات آفتابی روزانه در ۱۲ ماه مختلف سال و نیز با توجه به میانگین ساعات آفتابی روزانه در طول سال، ۱۳ طرح برای طراحی سیستم فتوولتائیک ارائه می‌شود و براساس شاخص‌های قابلیت اطمینان دسترسی به برق و هزینه سیستم، ارزیابی می‌شود که کدام طرح مناسب‌تر است. برای ارزیابی اقتصادی، از روش هزینه چرخه عمر سیستم فتوولتائیک طی ۳۰ سال و در میزان تنزیل ۱۸ درصد استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که در طرح خرداد و تیر، هزینه سیستم فتوولتائیک و قابلیت اطمینان دسترسی به برق کمتر است، اما طرح دی دارای بیشترین هزینه و بیشترین قابلیت اطمینان است.

**واژه‌های کلیدی:** احتمال کمبود برق، انرژی تجدیدپذیر، سیستم فتوولتائیک، قابلیت اطمینان.

### مقدمه

و خورشیدی، از مهم‌ترین منابع تجدیدپذیر محسوب می‌شوند که به‌دلایلی از قبیل بازدهی (راندمان) بالا، منتشر نکردن گازهای آلاینده و ساختار انعطاف‌پذیر، پتانسیل بالایی در تبدیل به منابع انرژی سبز دارند [۲].

کشور ما از نظر جغرافیایی در منطقه گرم‌وخشک قرار دارد و با داشتن بیش از ۲۸۰ روز آفتابی در سال، میزان تابش سالانه خورشیدی آن در حدود ۱۸۰۰ - ۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع تخمین زده می‌شود که از متوسط جهانی بالاتر است [۳]. تلفات تولید، انتقال و توزیع برق و پراکندگی جمعیت کشور، سبب توجه به انرژی خورشیدی شده است. در این میان، استفاده از سیستم فتوولتائیک، به دلیل تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به الکتریسیته، بی‌نیازی از تجهیزات پیچیده و داشتن بازدهی

مطابق آمار شرکت توانیر، علی‌رغم اتمام عملیات برق‌رسانی به روستاهای بالای ۲۰ خانوار کشور، هنوز بیش از ۱۷۰۰۰ خانوار روستایی که در روستاهایی با جمعیت کمتر از ۲۰ خانوار ساکن‌اند، از نعمت دسترسی به برق محروم‌اند [۱].

نبود شبکه سراسری برق در مناطق دورافتاده، هزینه بالای احداث خط انتقال جدید به دلیل مسافت طولانی، افزایش مصرف انرژی برق و وجود تعداد زیادی مصرف‌کننده دور از هم، از بزرگ‌ترین مشکل‌های شرکت‌های برق است. افزایش همیشگی تقاضای انرژی، طبیعت تجدیدناپذیر و هزینه‌های سنگین سوخت‌های فسیلی، نگرانی‌ها در زمینه محیط زیست و مشکل‌هایی از این قبیل، گرایش‌های جدیدی به فناوری‌های تولید توان تجدیدپذیر ایجاد کرده است. در این میان، انرژی‌های بادی

## مبانی نظری

### معرفی اجزای سیستم فتوولتائیک

فتوولتائیک فرایندی است که در آن، بدون استفاده از سازوکارهای مکانیکی، انرژی تابشی به الکتریکی تبدیل می‌شود. این پدیده، بر فرضیه ذره‌ای بودن انرژی تابشی بنا نهاده شده است. هر سیستمی که از این خاصیت استفاده کند، فتوولتائیک نام دارد [۵].

سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه، از چهار قسمت اصلی تشکیل شده است که عبارت‌اند از: پنل خورشیدی، شارژ کنترل، باتری و اینورتر. در سیستم فتوولتائیک، برای تبدیل نور خورشید به الکتریسیته، از سلول‌های خورشیدی استفاده می‌شود. ماده اصلی تشکیل دهنده بیشتر سلول‌های خورشیدی موجود در بازار، لایه نازک نیمه‌رسانای سیلیکون است [۶]. سلول‌های فتوولتائیک، به صورت الکتریکی در مدارهای سری یا موازی متصل می‌شوند تا ولتاژ یا جریان بیشتر تولید کنند. به مجموعه‌ای از این سلول‌ها که در کنار یکدیگر براساس طراحی‌های هر کارخانه سازنده در یک لایه محافظت شده از نظر محیطی، سری و موازی می‌شوند و بلوک ساختمان اولیه یک واحد مولد فتوولتائیک را تشکیل می‌دهند، پنل یا ماژول فتوولتائیک و به مجموعه این پنل‌ها آرایه خورشیدی گفته می‌شود [۷]. از شارژ کنترل، به منظور جلوگیری از خراب شدن باتری‌ها استفاده می‌شود. شارژ کنترل، وظیفه کنترل شارژ و دشارژ باتری را برعهده دارد. برای تبدیل برق مستقیم پنل‌های خورشیدی به برق متناوب مورد استفاده وسایل برقی خانگی، از اینورتر استفاده می‌شود.

### محاسبه تعداد اجزای سیستم

برای محاسبه تعداد اجزای مورد نیاز سیستم فتوولتائیک، از روابطی استفاده می‌شود که پارامترهای مورد نیاز آن در جدول ۱ معرفی شده است.

توان مورد نیاز که باید از مجموعه پنل‌ها تأمین شود، از رابطه ۱ به دست می‌آید:

$$W_p = \text{Roundup} \left( \frac{WH * (1+Z)(1+T)}{S} \right) \quad (1)$$

تعداد پنل خورشیدی از رابطه ۲ حاصل می‌شود:

$$NP = \text{Roundup} \left( \frac{WP}{P} \right) \quad (2)$$

متوسط ۶ تا ۱۴ درصد [۴] از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در طراحی سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه، باید دو موضوع، همزمان بررسی شوند:

۱. قابلیت اطمینان و سطح دسترسی به برق؛
۲. هزینه سیستم فتوولتائیک.

در طراحی سیستم فتوولتائیک و محاسبه تعداد تجهیزات آن، عوامل زیادی نقش دارند که یکی از آنها تعداد ساعات آفتابی روزانه است. واضح است که هرچه میزان ساعات آفتابی بیشتر باشد، پنل‌های کمتری برای تولید برق مورد نیاز است و هرچه ساعات آفتابی کمتر باشد، تعداد پنل افزایش می‌یابد و هزینه بالاتر می‌رود. از سوی دیگر، برای افزایش سطح قابلیت اطمینان سیستم فتوولتائیک و دسترسی به برق، باید هزینه بیشتری برای طراحی سیستم فتوولتائیک در نظر گرفته شود. در نتیجه، باید برآورد شود که برای دسترسی به برق در سطوح اطمینان مختلف، چه مقدار باید برای سیستم هزینه شود.

در هنگام طراحی سیستم فتوولتائیک، معمولاً از مقدار متوسط ساعات آفتابی روزانه استفاده می‌شود. در زمستان به دلیل اینکه ساعات آفتابی کمتر از متوسط سالیانه است، سیستم با کمبود برق مواجه می‌شود و در تابستان نیز به دلیل بیشتر بودن ساعات آفتابی نسبت به سطح متوسط، قابلیت تولید مقداری برق مازاد بر نیاز وجود دارد که از آن استفاده‌ای نمی‌شود.

در این پژوهش، برای تأمین برق خانواری در شهر کرمانشاه، با استفاده از داده‌های آب‌وهوایی ۴۵ سال اخیر، با توجه به متوسط ساعات آفتابی روزانه در ۱۲ ماه سال و نیز متوسط ساعات آفتابی روزانه در طول سال، ۱۳ سناریو طراحی می‌شود که در هر سناریو، هزینه سیستم فتوولتائیک و قابلیت اطمینان سطح دسترسی به برق بررسی می‌شود. شاخص مورد استفاده در این پژوهش برای قابلیت اطمینان، احتمال کافی بودن برق است و بر مبنای ۱۳ سناریو موجود، به تصمیم‌گیری در مورد انتخاب گزینه برتر پرداخته می‌شود. برای انجام محاسبه‌ها از نرم‌افزار اکسل و ویژوال بیسیک استفاده شده است. قیمت‌ها بر حسب دلار و مربوط به سال ۱۳۹۱ است. نتایج به کمک نمودار و جدول نشان داده می‌شود.

## هزینه‌های سیستم فتوولتائیک و محاسبه قیمت هر کیلووات ساعت برق فتوولتائیک

هزینه‌های سیستم فتوولتائیک عبارت‌اند از:

۱. هزینه خرید تجهیزات سیستم نظیر باتری و اینورتر و شارژ کنترل و پنل
  ۲. هزینه نصب: از حاصل ضرب مجموع توان پنل‌های نصب‌شده در ۱۲ سنت به دست می‌آید
  ۳. هزینه نگهداری و تعمیرهای سالیانه
- طول عمر سیستم فتوولتائیک را ۳۰ سال در نظر می‌گیریم و مطابق کاتالوگ فنی باتری‌ها، با توجه به عمق دشارژ ۳۰ درصد برای باتری‌های مورد استفاده، باید آن‌ها هر چهار سال یک‌بار تعویض شوند. شایان ذکر است که چون همه هزینه‌ها، در تمام عمر سیستم فتوولتائیک در نظر گرفته می‌شود، باید هزینه‌ها با توجه به میزان مناسب تنزیل، براساس رابطه ۷ به سال پایه آورده شود.

$$PC = C_0 + C_S + \sum_{t=0}^{t=7} \frac{C_{bt}}{(1+i)^t} \quad (7)$$

در رابطه ۷، PC ارزش زمان حال هزینه‌های سیستم،  $C_0$  هزینه خرید تجهیزات در سال پایه، یعنی مجموعه هزینه خرید پنل خورشیدی و شارژ کنترل و باتری و اینورتر،  $C_S$  هزینه نصب سیستم،  $C_{bt}$  هزینه تعویض باتری در سال  $t$  و  $i$  میزان تنزیل است که در این مقاله ۱۸ درصد در نظر گرفته می‌شود.

اگر فرض شود که در سال  $t$ ، به‌اندازه  $w_t$  کیلووات ساعت، برق خورشیدی مصرف می‌شود، می‌توان قیمت هر کیلووات ساعت برق را با توجه به رابطه ۸ به دست آورد

(۸)

$$P = \frac{PC}{\sum_{t=1}^{t=30} \frac{W_t}{(1+i)^t}}$$

## قابلیت اطمینان سیستم

قابلیت اطمینان سیستم، احتمال عملکرد رضایت‌بخش آن در شرایط کار مشخص برای مدت معین است [۸]. در این پژوهش، برای ارزیابی قابلیت اطمینان، از شاخص احتمال کافی بودن برق استفاده می‌کنیم.

## جدول ۱. پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه تعداد اجزای سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه

WH:	جمع وات ساعت مصرفی در شبانه‌روز
Z:	تعداد روزهای ذخیره (بری)
T:	تلفات سیستم
V:	ولتاژ سیستم
S:	ساعات آفتابی روزانه
P:	توان اسمی پنل
VP:	ولتاژ اسمی پنل
NP:	تعداد پنل
IC:	جریان اتصال کوتاه پنل
NC:	تعداد شارژ کنترل
VC:	ولتاژ ورودی شارژ کنترل
Round up:	گرد کردن عدد به سمت کوچک‌ترین عدد بزرگ‌تر از خودش
WI:	کمترین توان الکتریکی مناسب برای اینورتر
JC:	جریان ورودی شارژ کنترل
WP:	توان لازم برای مجموعه پنل‌ها
NB:	تعداد باتری
D:	عمق دشارژ باتری
ZB:	ظرفیت باتری
VB:	ولتاژ باتری
BB:	حداقل ظرفیت مورد نیاز برای باتری بانک
ZN:	ظرفیت نامی باتری بانک
WN:	مجموع مصرف انرژی در شب
W:	مجموع توان هم‌زمان وسایل
TI:	درصد تلفات اینورتر
Int:	جزء صحیح عدد
HP:	حداکثر تعداد پنل قابل اتصال به هر شارژ کنترل

حداقل ظرفیت مورد نیاز باتری بانک، از رابطه ۳

به دست می‌آید:

(۳)

$$BB = \text{Roundup}\left(\frac{WN + (Z * WH)}{V} * (2 - D)\right)$$

تعداد باتری از رابطه ۴ حاصل می‌شود:

$$NB = \frac{V}{VB} \text{Roundup}\left(\frac{BB}{ZB}\right) \quad (4)$$

تعداد شارژ کنترل، از رابطه ۵ به دست می‌آید:

$$NC = \text{Roundup}\left(\frac{NP}{\frac{VC}{VP}}\right) / HP \quad (5)$$

کمترین توان الکتریکی مناسب برای اینورتر، از رابطه ۶

حاصل می‌شود:

$$WI = \text{Roundup}(W * TI) \quad (6)$$

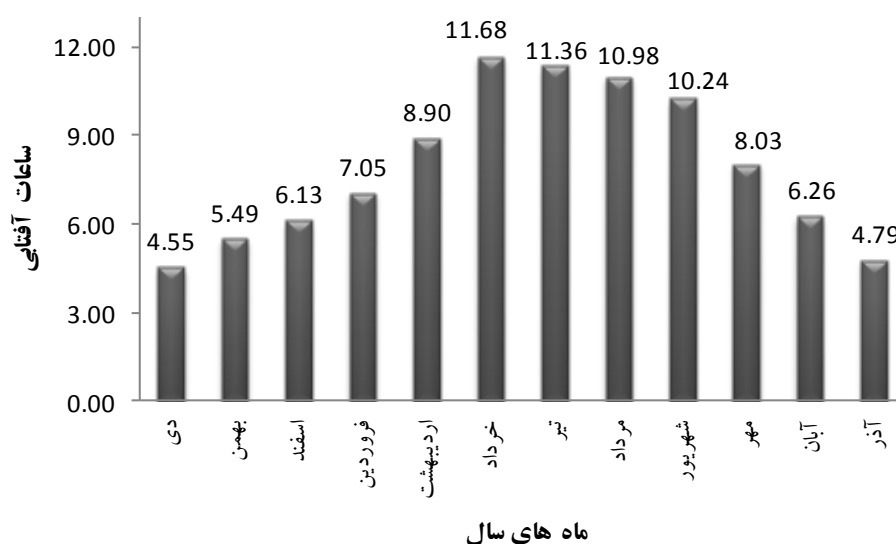
$$R_i = 1 - \frac{LOLi}{W_y} \quad (10)$$

در رابطه ۱۰،  $W_y$  در واقع، میزان وات ساعت نیاز برق سالیانه است.

## مدل سازی و نتایج تجربی

### موقعیت مکانی و ساعات آفتابی کرمانشاه

شهرستان کرمانشاه در غرب ایران طول جغرافیایی ۴۷°۹'E، عرض جغرافیایی ۳۴°۲۱'N و ارتفاع ۱۳۱۸/۶ متر از سطح دریا را دارد. براساس داده‌های آب‌وهوایی مربوط به یک دوره زمانی ۴۵ ساله در سایت هواشناسی، متوسط ساعات آفتابی روزانه این شهر مطابق شکل ۱ است [۹].



شکل ۱. نمودار متوسط ساعات آفتابی روزانه در ماه‌های مختلف در کرمانشاه

حداکثر مجموع توان هم‌زمان وسایل برقی (مانند یخچال و کولر و تلویزیون و اتو) که در خانه مورد مطالعه استفاده می‌شوند، ۲۱۲۹ وات است. میزان مصرف برق در هر روز زمستان ۵۳۰۳ وات ساعت است. ولتاژ سیستم ۱۲ و در روزهای ابری متوالی صفر، تلفات سیستم ۸/۲۰ درصد و میزان تنزیل ۱۸ درصد است. با توجه به تعداد ساعات آفتابی ماه‌های مختلف، نتایج مربوط به هزینه سیستم و سطح قابلیت اطمینان در بخش‌های بعدی ارائه می‌شود.

یعنی اینکه اگر محاسبه‌های طراحی سیستم براساس تعداد ساعات آفتابی روزانه ماه  $i$  باشد ( $i=1 \dots 12$ ) و میزان برق تولیدی روزانه از سیستم فتوولتائیک در ماه  $j$   $W_{ij}$  وات ساعت و میزان نیاز به برق مصرفی در ماه  $j$   $W_j$  وات ساعت باشد، میزان کمبود برق سالانه سیستم فتوولتائیکی - که براساس ساعات آفتابی ماه  $i$  طراحی شده - از رابطه ۹ به دست می‌آید که در آن،  $D_j$  تعداد روز ماه  $j$  است:

$$LOLi = \sum_{j=1}^{j=12} D_j (W_j - W_{ij}) \quad (9)$$

قابلیت اطمینان دسترسی به برق براساس ساعات آفتابی روزانه ماه  $i$ ، از رابطه ۱۰ به دست می‌آید:

### مشخصات تجهیزات سیستم فتوولتائیک و وسایل برقی خانگی

مشخصات تجهیزات سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه در جدول ۲ مشاهده می‌شود. در این پژوهش فرض بر آن است که از اتو و جاروبرقی در دو روز مختلف استفاده می‌شود. مشخصات وسایل برقی خانوار در جدول ۳ نشان داده شده است. مجموع مصرف در شبانه‌روز ۹۴۱۰ وات ساعت است.

جدول ۲. مشخصات تجهیزات سیستم فتوولتائیک

نام وسیله	مشخصات
پنل خورشیدی	مدل: LG240M1C
	توان اسمی ۲۴۰ W
	قیمت \$ ۳۸۱
	ولتاژ مدار باز ۳۶/۹ V
شارژ کنترل	مدل ENS12/24-20-1 CarSpa
	باتری شرکت فاران
	مدل CarSpa 2500 W
	قیمت \$ ۴۱۳
باتری	ولتاژ ۱۲ V
	ظرفیت ۲۰۰ Ah
	قیمت \$ ۶۸۳
	درصد تلفات ۱۰
اینورتر	ولتاژ ۱۲ V
	ظرفیت ۲۰۰ Ah
	قیمت \$ ۶۸۳
	درصد تلفات ۱۰

جدول ۳. مشخصات توان و زمان کارکرد وسایل برقی در یک خانوار

نام وسیله	توان (وات)	زمان استفاده در روز (ساعت)	زمان استفاده در شب (ساعت)
لامپ	اتاق نشیمن و مطالعه (۲۰۰ وات)	۰	۵/۸۷
	حمام و آشپزخانه و دستشویی (۹۸ وات)	۰	۱ ساعت
یخچال فریزر	۴۶/۷	۱۲/۴۲	۱۱/۵۸
تلویزیون	۱۱۲	۳/۷۷	۳/۷۱
کولر آبی	۳۷۰	۳/۶۱	۷/۴۹
لباشویی	۸۰۰	۱/۱۸	۰
صوتی و تصویری	۱۲۰	۱/۸۸	۱/۸۷
جاروبرقی	۱۶۰۰	۱۵ دقیقه	۰
اتو	۱۶۰۰	۱۵ دقیقه	۰
سشوار	۱۶۰۰	۱۲ دقیقه	۰

## محاسبه قابلیت اطمینان و هزینه و دیگر شاخص‌های

## سیستم فتوولتائیک در ۱۳ سناریو

اگر در هر سناریو، تعداد ساعات آفتابی را براساس تعداد ساعات آفتابی یک ماه خاص قرار دهیم، اگر ساعات آفتابی کمتر باشد، با کمبود برق و اگر بیشتر باشد، با مازاد برق روبه‌رو می‌شویم. در این پژوهش، حالت‌های کمبود بار را بررسی می‌کنیم. پیش از انجام محاسبات باید به این نکته دقت کرد که در تابستان، اگرچه ساعات آفتابی بیشتر است، مصرف برق به‌خاطر مصرف کولر آبی بیشتر است و در زمستان، اگرچه تعداد ساعات آفتابی کمتر است، مصرف برق به‌دلیل استفاده نکردن از کولر کاهش می‌یابد. برای نمونه، محاسبات مورد نیاز برای حالتی که طراحی سیستم فتوولتائیک بر مبنای تعداد ساعات آفتابی فروردین‌ماه است، ارائه می‌شود و برای ۱۲ سناریو دیگر، فقط نتایج در جدول ۴ می‌آید.

توان مورد نیاز برای مجموعه پنل‌ها ۱۴۴۵ وات است:

$$WP = \text{Roundup} \left( \frac{WH * (1 + Z)(1 + T)}{S} \right)$$

$$= \text{Roundup} \left( \frac{9410 * (1 + 0)(1 + 0.0820)}{7.05} \right) = 1445$$

هفت پنل خورشیدی وجود دارد:

$$NP = \text{Roundup} \left( \frac{WP}{P} \right) = \text{Roundup} \left( \frac{1445}{240} \right) = 7$$

حداقل ظرفیت مورد نیاز باتری بانک، ۷۴۱ آمپر ساعت

است:

$$BB = \text{Roundup} \left( \frac{WN + (Z * WH)}{V} * (2 - D) \right)$$

$$= \text{Roundup} \left( \frac{5227 + (0 * 9410)}{12} * (2 - 0.3) \right)$$

$$= 741$$

$$NPC = C_o + C_s + \sum_{t=1}^{t=N} \frac{C_{bt}}{(1+i)^t}$$

$$= (7*381 + 9*69 + 1*683 + 4*413) + 202$$

$$+ \sum_{t=1}^{t=7} \frac{4*413}{(1+0.18)^{4t}} = 7567\$$$

$$P = \frac{NPC}{\sum_{t=1}^{t=N} \frac{W_t}{(1+i)^t}} = \frac{7567}{\sum_{t=1}^{t=30} \frac{2428}{(1.18)^t}} = 0.56 \$$$

$R=100\%$

مطابق شکل ۲ واضح است با افزایش قابلیت اطمینان سیستم در دسترسی به برق، قیمت هر کیلووات ساعت برق فتوولتائیک افزایش می‌یابد؛ یعنی هزینه سیستم بالا می‌رود.

مطابق شکل ۳ هنگامی که سیستم طوری طراحی شود که برق اضافی تولیدی دست‌نخورده بالا باشد، هزینه سیستم هم بالا می‌رود.

چهار عدد باتری وجود دارد:

$$NB = \frac{V}{VB} * Roundup\left(\frac{BB}{ZB}\right)$$

$$= \frac{12}{12} * Roundup\left(\frac{741}{200}\right) = 4$$

نه شارژ کنترل وجود دارد:

$$NC = Roundup\left(\frac{NP}{VC} / \frac{HP}{VP}\right)$$

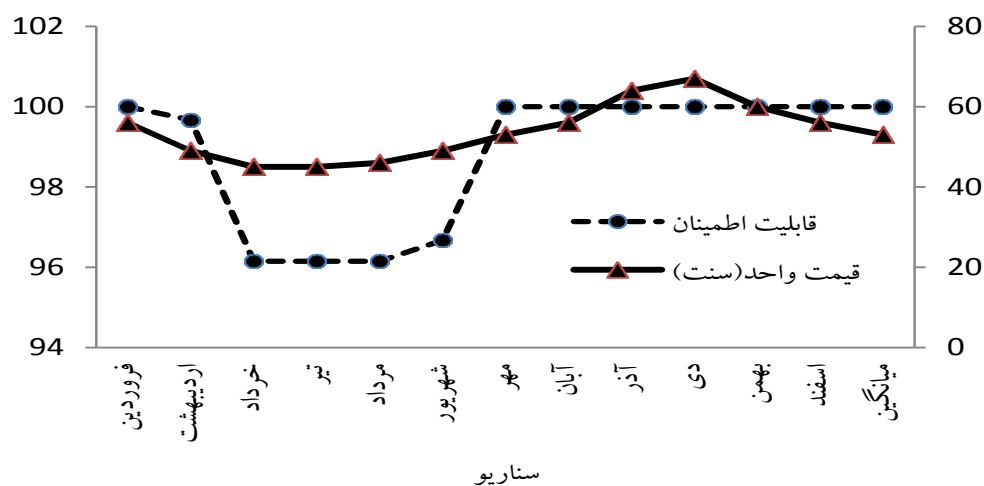
$$= Roundup\left(\left(\frac{7}{\frac{12}{29.7}}\right) / 2\right) = 9$$

کمترین توان الکتریکی مناسب برای اینورتر ۲۲۶۰ وات است که در این پژوهش، از اینورتر ۲۵۰۰ وات استفاده می‌شود.

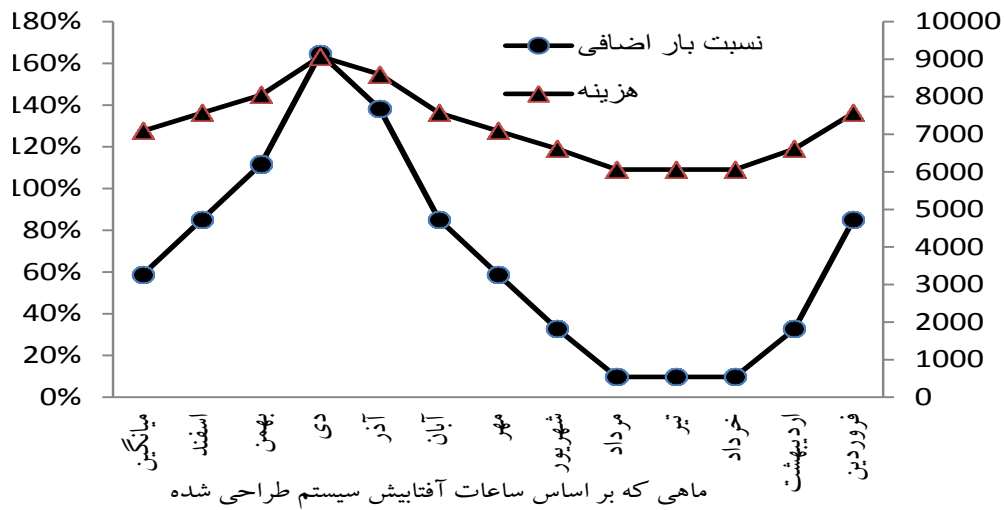
$$WI = Roundup(W * TI)$$

$$= Roundup(2128 * 1.06) = 2260$$

هزینه سیستم ۷۵۶۷ دلار است.



شکل ۲. نمودار قابلیت اطمینان و هزینه سیستم فتوولتائیک در سناریوهای مختلف



شکل ۳. رابطه میان برق اضافی تولیدی استفاده نشده و هزینه سیستم

در جدول ۴ سناریوهای مختلف ساعات آفتابی که به همراه با شاخص هزینه و شاخص قابلیت اطمینان طراحی‌های متفاوتی برای سیستم فتولتائیک منجر دسترسی به برق و اطلاعات دیگر مشاهده می‌شود.

جدول ۴. شاخص‌های محاسبه شده برای ۱۳ سناریو در میزان تنزیل ۱۸ درصد و ۰ روز ابری متوالی

ماه شمسی	ساعات آفتابی	مصرف روزانه (وات ساعت)	تعداد پنل	تعداد شارژ کنترل	تعداد باتری	هزینه نصب (دلار)	نسبت بار اضافی	قیمت واحد (سنت)	اینورتر (وات)	هزینه سیستم (دلار)	ماه های کمبود برق	حداکثر وات ساعت کمبود روزانه	قابلیت اطمینان
فروردین	۷.۰۵	۵۳۰۳	۷	۹	۴	۲۰۲	۸۵.۲۶%	۵۶	۲۵۰۰	۷۵۶۷	-	-	۱۰۰٪
اردیبهشت	۸.۹	۵۳۰۳	۵	۷	۴	۱۴۴	۳۲.۶۶%	۴۹	۲۵۰۰	۶۶۱۰	۱۰	۲۵۷	۹۹.۶۷٪
خرداد	۱۱.۶۸	۹۴۱۰	۴	۵	۴	۱۱۵	۹.۷۱%	۴۵	۲۵۰۰	۶۰۶۲	۶-۹-۱۰-۱۱	۱۲۶۶	۹۶.۱۵٪
تیر	۱۱.۲۶	۹۴۱۰	۴	۵	۴	۱۱۵	۹.۷۱%	۴۵	۲۵۰۰	۶۰۶۲	۶-۹-۱۰-۱۱	۱۲۶۶	۹۶.۱۵٪
مرداد	۱۰.۹۸	۹۴۱۰	۴	۵	۴	۱۱۵	۹.۷۱%	۴۶	۲۵۰۰	۶۰۶۲	۶-۹-۱۰-۱۱	۱۲۶۶	۹۶.۱۵٪
شهریور	۱۰.۲۴	۹۴۱۰	۵	۷	۴	۱۴۴	۳۲.۶۶%	۴۹	۲۵۰۰	۶۶۱۰	۱۰	۲۵۷	۹۹.۶۷٪
مهر	۸.۰۳	۵۳۰۳	۶	۸	۴	۱۷۳	۵۸.۸۰%	۵۳	۲۵۰۰	۷۰۸۸	-	-	۱۰۰٪
آبان	۶.۲۶	۵۳۰۳	۷	۹	۴	۲۰۲	۸۵.۲۶%	۵۶	۲۵۰۰	۷۵۶۷	-	-	۱۰۰٪
آذر	۴.۷۹	۵۳۰۳	۹	۱۲	۴	۲۵۹	۱۳۸.۲۰%	۶۴	۲۵۰۰	۸۵۹۴	-	-	۱۰۰٪
دی	۴.۵۵	۵۳۰۳	۱۰	۱۳	۴	۲۸۸	۱۶۴.۶۶%	۶۷	۲۵۰۰	۹۰۷۳	-	-	۱۰۰٪
بهمن	۵.۴۹	۵۳۰۳	۸	۱۰	۴	۲۳۰	۱۱۱.۷۳%	۶۰	۲۵۰۰	۸۰۴۶	-	-	۱۰۰٪
اسفند	۶.۱۳	۵۳۰۳	۷	۹	۴	۲۰۲	۸۵.۲۶%	۵۶	۲۵۰۰	۷۵۶۷	-	-	۱۰۰٪
میانگین	۷.۹۵	-	۶	۸	۴	۱۷۳	۵۸.۸۰%	۵۳	۲۵۰۰	۷۰۸۸	-	-	۱۰۰٪

## نتیجه گیری

بعضی از نتایج این پژوهش را می توان به صورت زیر بیان کرد:

۱. قابلیت اطمینان دسترسی به برق فتوولتائیک و قیمت برق فتوولتائیک با یکدیگر نسبت مستقیم دارند؛ یعنی هرچه قابلیت اطمینان بالاتر رود، قیمت برق افزایش می یابد.

۲. اگر محاسبه ها براساس ماه های گرم سال باشد (فصل های بهار و تابستان غیر از فروردین)، قیمت برق کمتر است، اما وقتی محاسبه ساعات آفتابی براساس ماه های پاییز و زمستان و فروردین باشد، قابلیت اطمینان دسترسی به برق ۱۰۰ درصد و قیمت برق فتوولتائیک بالاتر است.

۳. کمترین قیمت برق فتوولتائیک براساس محاسبه ساعات آفتابی در ماه های خرداد و تیر است که قابلیت اطمینان دسترسی به برق ۹۶/۱۵ درصد و قیمت برق ۴۵ سنت است، اما بیشترین قیمت برق فتوولتائیک

براساس محاسبه ساعات آفتابی در ماه دی است که قیمت برق فتوولتائیک ۶۷ سنت است.

۴. کمبود برق، فقط در ماه های شهریور و آذر و دی و بهمن اتفاق می افتد که باید مصرف کننده به مدیریت مصرف برق در خانه بپردازد.

۵. درصد بار اضافی تولیدشده، وقتی محاسبه ها براساس ماه دی باشد، بیشترین مقدار است؛ به طوری که به ۱۴۶/۶۶ درصد میزان برق مصرفی سالیانه می رسد، اما هنگامی که محاسبه ها براساس ماه های خرداد و تیر باشد ۹/۷۱ درصد است؛ به طوری که هرچه قابلیت اطمینان سیستم بالاتر باشد، قیمت برق بالاتر و بار اضافی تولیدی نیز بیشتر است.

۶. سیستم فتوولتائیک باید طوری طراحی شود که بار اضافی زیادی تولید نشود و هزینه سیستم بالا نرود. بهتر است که از سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه استفاده شود تا کمبود بار شبکه را جبران کند و بار اضافی را به شبکه بفروشد.

## مراجع

1. Department of Energy, Office of Energy Planning, "Energy Balance in 2011"
2. Caisheng, W. and Nehrir, M. (2008), "Power Management of a Stand-Alone Wind/Photovoltaic/Fuel Cell Energy System." IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 23.
3. <http://ifco.ir/building/renew/sun.asp>(Iranian fuel conservation company)
4. Masters Gilbert M. (2004). Renewable and efficient electric power.
5. Short, W., Packey, D. and Holt T. (1995). "A manual for economic evaluation of energy efficiency and renewable energy technologies. National Renewable Energy Laboratory. PP. 1-120
6. Velosa A III. What is inside your LCOE assumptions? SEMI PV group – the grid; April 2010. [http://www.pvgroup.org/NewsArchive/ctr\\_036226](http://www.pvgroup.org/NewsArchive/ctr_036226).
7. Branker, K. and Pathak, M.J.M. (2011). "A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity." Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 4470- 4482
8. Biliinton, R. and Allan, R(2001). Reliability evaluation of engineering systems: concepts and techniques, translation: Razaean, M., Tehran: Amirkabir university.
9. [www.chaharmahalmet.ir/iranarchive.as](http://www.chaharmahalmet.ir/iranarchive.as)