



بررسی و امکان‌سنجی فنی - اقتصادی و زیست‌محیطی استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه در ساختمان‌های مسکونی شهر آستارا

سالار ارشادی^{۱*}، اشکان عبدالی سوسن^۲

^۱ دانشجوی دکتری گروه مهندسی انرژی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

salar.ershadi@srbiau.ac.ir

^۲ استادیار گروه فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد آستارا، گیلان، ایران.

a.abdali@srbiau.ac.ir

چکیده

در این تحقیق امکان‌سنجی فنی - اقتصادی و زیست‌محیطی استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک در ساختمان‌های مسکونی شهر آستارا صورت گرفته است. با توجه به مشخصات جغرافیایی و اقلیمی شهر آستارا، و بهره‌گیری از داده‌های هواشناسی ناسا از سال ۲۰۰۵-۱۹۸۳ اقدام به طراحی و شبیه‌سازی سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه در نرم‌افزار Pvsyst نمودیم. سیستم مورد طراحی پس از محاسبات و برآورد منطقی از مصرف برق یک واحد مسکونی در شهر آستارا، متشکل از ۱۳ پنل خورشیدی مدل LG 300NAC-B3 می‌باشد که قادر است روزانه ۳/۹ کیلووات، در حدود نیمی از مصرف برق خانوار را تامین نماید. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد اجرای این پروژه با در نظر گرفتن بهای دلار از ۴۲،۰۰۰ ریال حدود ۲۲۵،۱۲۰،۰۰۰ ریال هزینه در بردارد که در اینصورت تعرفه تولید برق بازای هر کیلووات ساعت ۳،۷۸۰ ریال می‌باشد که در مقایسه با تعرفه مصرفی شرکت برق ایران در مناطق عادی به نرخ متوسط ۷۵۰ ریال بازای مازاد مصرف ماهانه $300-200$ kWh/month بدون در نظر گرفتن هزینه ساخت سیستم در مدت ۵ سال بازگشت سرمایه دارد. از سوی دیگر با وجود ضریب تابش ۳/۸ و ابری بودن شهر آستارا، راندمان عملکردی سیستم مورد طراحی در حدود ۱۶٪ می‌باشد که برای سیستم انرژی خورشیدی مناسب می‌باشد. همچنین بعلمت مصرف کمتر برق شهری و کاهش پیک تولیدی نیروگاه‌های با احتراق سوخت فسیلی، سالانه از انتشار ۷/۳ تن دی‌اکسیدکربن جلوگیری می‌شود.

واژه‌های کلیدی

سیستم فتوولتائیک، شهر آستارا، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تعرفه مصرف برق

۱- مقدمه

در آخر آسان بودن نصب، و نگهداری می‌باشند [۳،۲]. در سال ۲۰۰۴، آنالیزی بر روی سیستم‌های خورشیدی در کشور برزیل انجام شد، نتایج نشان داد، استفاده از سیستم‌های برقی و حرارتی خورشیدی خانگی برای افراد کم درآمد برزیل از نظر اقتصادی بسیار مناسب است [۴]. در کشور لبنان که حدود ۹۹٪ انرژی اولیه مصرفی از سایر کشورها تأمین می‌شود و الکتریسیته مهمترین سوخت مصرفی این کشور می‌باشد، استفاده از سیستم‌های خورشیدی باعث کاهش میزان مصرف برق و صرفه جویی بسیار زیاد اقتصادی شده است [۵]. در تحقیقی در کشور تایوان اثبات گردید که تولید برق توسط سیستم‌های خورشیدی از نظر اقتصادی بسیار مقرون به صرفه بوده و گزینه مناسبی برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در این کشور می‌باشد [۶]. این سیستم تولید انرژی برای اولین بار در نیمه

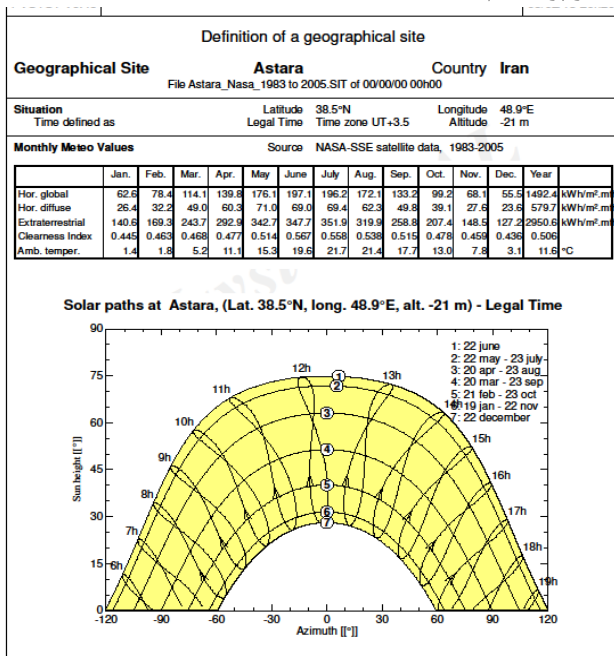
مسأله جهانی بحران انرژی، پایان پذیری سوخت‌های فسیلی و اثرات زیان بار زیست‌محیطی استفاده از این سوخت‌ها، مجامع علمی را به فکر استفاده از منابع انرژی جایگزین وا داشته است. انرژی خورشید بعنوان منبعی پاک و پایان‌ناپذیر و البته رایگان و همچنین به دلیل عدم انتشار گازهای آلاینده و ساختار انعطاف‌پذیر یکی از منابعی می‌باشد که امروزه مورد توجه قرار گرفته است [۱]. از دید فنی سیستم‌های فتوولتائیک دارای مزایایی نظیر امکان تولید در هر مکان و سازگاری با توپولوژی محل‌های نصب، قابلیت تولید در محل مصرف و عدم نیاز به سیستم‌های انتقال و توزیع، توانایی تولید انرژی بدون مصرف سوخت و هزینه مربوطه، توان خروجی متنوع متناسب با نیاز مصرف‌کننده، توانایی ذخیره‌سازی انرژی و



The 1st National Conference on Investment Opportunities & Limitations in Astara
15-16 Feb 2018

۳- مواد و روش

شهرستان مرزی بندر آستارا به مختصات جغرافیایی ۲۷°، ۳۸° عرض شمالی و ۵۳'، ۴۸° طول شرقی و ارتفاع آن از سطح دریا ۲۱۰.۱- از شهرستان های ساحلی استان گیلان در شمال ایران می باشد. در این شبیه سازی کلیه محاسبات بر اساس اطلاعات و داده های هواشناسی موجود در پایگاه ناسا طی سالهای ۲۰۰۵-۱۹۸۳ استفاده گردید. محاسبات مصرف برق واحد مسکونی ابتدا بصورت دستی و با لحاظ میزان الکتریسیته مورد نیاز مصرفی برای یک خانوار طبق جدول (۱) انجام گردید و با این اطلاعات به تعداد و انتخاب پنل های خورشیدی، اینورتر، باتری و کنترلر های شارژ مورد نیاز پرداختیم.



شکل ۲: داده های هواشناسی پایگاه ناسا مربوط به شهرستان آستارا بین سالهای ۲۰۰۵-۱۹۸۳

جدول ۱: میزان توان مصرفی برخی از لوازم برقی

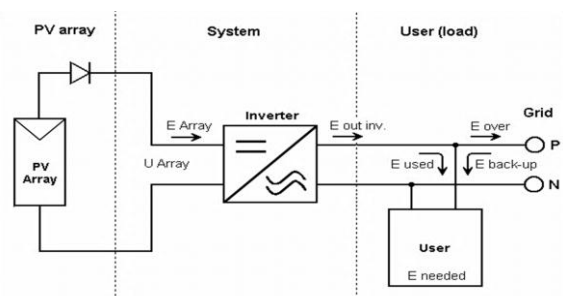
توان مصرفی (W)	نام مصرف کننده
۱۵	لامپ
۲۲۰	یخچال فریزر
۱۲۰	تلویزیون
۳۰۰	ماشین لباسشویی/ظرفشویی

با لحاظ وجود تلفات انرژی در سیستم و اختصاص ضریب تابش ۳.۸ از روی داده های ناسا برای شهرستان آستارا با دسترسی به تامین ۳.۹ kw/h اقدام به محاسبه و شبیه سازی در نرم افزار PVsyst می کنیم.

اول دهه ۱۹۵۰، وارد بازار شد و با استقبال قابل ملاحظه‌ای مواجه گشت [۷]. یکی از دلایلی که از سیستم های فتوولتائیک کمتر استفاده می شود، پایین بودن کارایی آنهاست. معمولاً مدول های فتوولتائیک تجاری قابل دسترس فقط توانایی تبدیل ۶ الی ۱۸ درصد از پرتوهای دریافتی را به انرژی الکتریکی دارند و مابقی آن به صورت انعکاس و یا حرارت به هدر می رود و منجر به کاهش کارایی سلول ها می شود [۸]. دمایی که توسط سلولهای فتوولتائیک تولید می شود، بالاتر از دمای محیط است، به همین دلیل نظریه تلفیق سیستم های کلکتور حرارتی خورشیدی و پنل های فتوولتائیک با هدف افزایش کارایی و حل مشکل محل هایی با محدودیت فضای سقف برای نخستین بار در سال ۱۹۷۸، ارائه شد [۹، ۱۰]. در سال ۲۰۰۱، استفاده از سیستم های فتوولتائیک در یک ساختمان به منظور تأمین انرژی مورد ارزیابی فنی و اقتصادی قرار گرفت [۱۱]. دیدگاه های زیست محیطی و اقتصادی سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه در سال ۲۰۰۶، توسط برنال^۲ و دونفو^۳ و آنالیز ابعاد اینورتر در سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه توسط ماندول^۴ و همکاران در سال ۲۰۰۶، مورد مطالعه قرار گرفت [۱۲، ۱۳]. در این تحقیق کاربرد سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه برای یک ساختمان مسکونی در شهر آستارا مورد بررسی فنی- اقتصادی و زیست محیطی قرار گرفت.

۲- سیستم های متصل به شبکه

اینورتر متصل به شبکه، توان DC را دریافت و آن را به توان AC تبدیل می کند و می تواند این توان را به شبکه برق کشور تحویل دهد. فرکانس خروجی اینورتر متصل به شبکه باید با فرکانس برق شهر ۵۰-۶۰ Hz برابر باشد. همچنین نباید بین ولتاژ خروجی اینورتر و ولتاژ شبکه اختلاف فاز وجود داشته باشد. سطح ولتاژ اینورتر و ولتاژ شبکه نیز باید برابر باشد. به وسیله سنسورهای مختلفی که درون اینورتر وصل شده است همه این پارامترها به دقت تنظیم می شود. اینورترهای متصل به شبکه طوری طراحی شده اند که هنگامی که برق سراسری قطع می شود، بعنوان مثال زمانی که برق شبکه به منظور تعمیرات قطع می شود اینورتر نیز باید بطور اتوماتیک خاموش شود تا تکنسین ها در حین کار دچار برق گرفتگی نشوند.



شکل ۱: دیاگرام سیستم پنل خورشیدی متصل به شبکه



The 1st National Conference on Investment Opportunities & Limitations in Astara
15-16 Feb 2018

از جدول شماره (۳) میتوان چنین استنباط کرد که راندمان سیستم بین ۱۵/۳ تا ۱۷/۱۲ درصد تغییر می‌کند و بیشترین راندمان در ماه‌های دی، بهمن و اسفند که هوا سردتر است اتفاق می‌افتد و کمینه راندمان در مردادماه می‌باشد.

۴- شبیه‌سازی سیستم فتولتائیک متصل به شبکه طبق محاسبات ۱۳مدول با توان ۳۰۰واتی مدل LG 300NAC-B3 و اینورتر فرنیوس مدل Symo3.7-3-S برای این طراحی انتخاب شده است.

جدول ۲: مشخصات پانل‌های سیستم فتولتائیک ۳.۹ کیوواتی

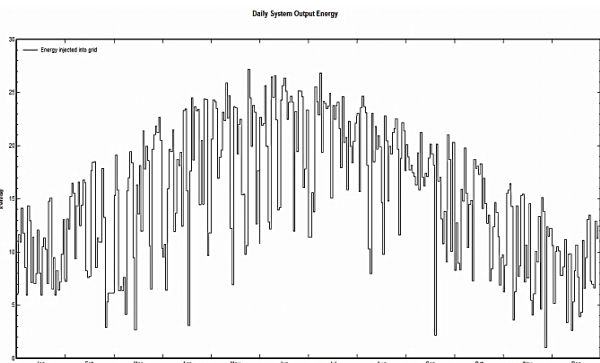
۳۰۰	حداکثر توان (W_{max})
۹/۳۹۰	حداکثر جریان (I_{mp})
۳۱/۹۶	حداکثر ولتاژ (V_{mp})
۹/۹۷۰	جریان اتصال کوتاه (I_{sc})
۳۹/۷۴	ولتاژ مدار باز (V_{oc})

جدول ۳: نتایج شبیه‌سازی پانل‌های ثابت شده

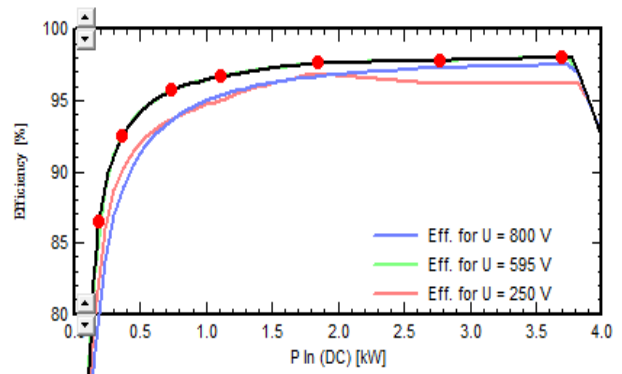
Balances and main results

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EApGrid	EffSysR
	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	MVAh	%
January	62.6	1.39	81.8	77.2	0.309	0.299	0.299	17.12
February	78.4	1.84	95.3	90.8	0.357	0.345	0.345	17.00
March	114.1	5.22	128.7	122.8	0.471	0.456	0.456	16.62
April	139.8	11.14	148.8	142.1	0.530	0.514	0.514	16.19
May	176.1	15.34	180.2	172.4	0.628	0.608	0.608	15.82
June	197.1	19.56	197.3	189.4	0.670	0.649	0.649	15.42
July	196.2	21.70	198.8	190.7	0.669	0.647	0.647	15.27
August	172.1	21.35	180.8	173.3	0.612	0.592	0.592	15.36
September	133.2	17.67	148.2	141.7	0.515	0.499	0.499	15.79
October	99.2	13.00	117.8	112.3	0.421	0.407	0.407	16.21
November	68.1	7.79	86.8	82.3	0.318	0.307	0.307	16.59
December	55.5	3.09	74.2	70.0	0.279	0.269	0.269	17.00
Year	1492.4	11.64	1638.7	1564.9	5.779	5.591	5.591	16.00

کنترل کننده شارژ برای کنترل انرژی ورودی از پانل خورشیدی و تقسیم آن بین مصرف کننده و باتری به کار می‌رود. بطور کلی شارژ کنترلر باتری‌ها در مقابل شارژ و دشارژ بیش از اندازه است. پر شدن بیش از حد باتری به میزان قابل توجهی طول عمر باتری را کاهش داده و حتی بدتر، ممکن است موجب خرابی باتری گردد به گونه‌ای که باتری به طور کلی غیرقابل استفاده شود. اینورتر در این طرح راندمان ۹۸ درصدی دارد.



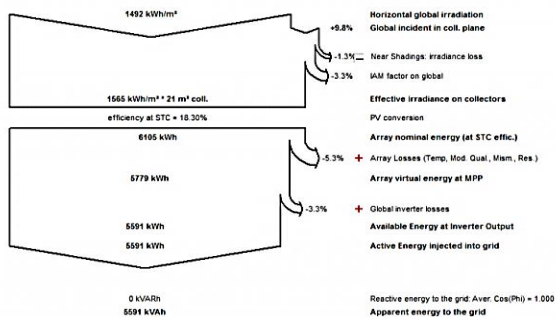
شکل ۵: پراکندگی تولید انرژی در ماه‌های مختلف



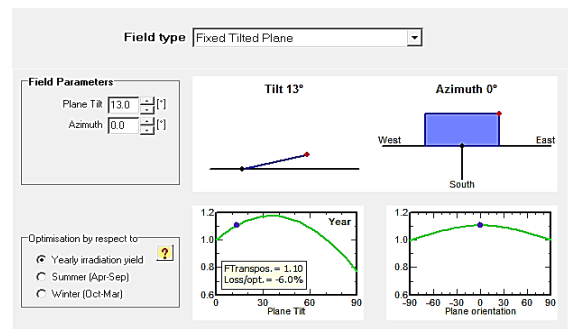
شکل ۳: نمودار عملکرد اینورتر مدل فرنیوس

مقداری از توان که توسط آرایه‌ها و اینورتر تلف می‌شود، در شکل (۶) و (۷) قابل مشاهده است. طبق این اشکال، توانی که توسط آرایه‌ها تلف می‌شود بیشتر از توانی است که توسط اینورتر و سایر اجزا تلف می‌شود.

با اجرای نرم افزار Pvsyst، اطلاعات آب و هوایی و تابش محل، پانل‌ها با زاویه ۱۳^o و بصورت ثابت نصب گردید. شکل (۴) طرح پانل ثابت نصب شده را نشان می‌دهد.



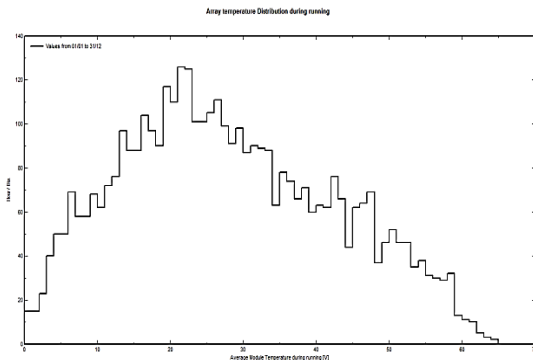
شکل ۶: دیاگرام توان تلف شده سیستم در سال



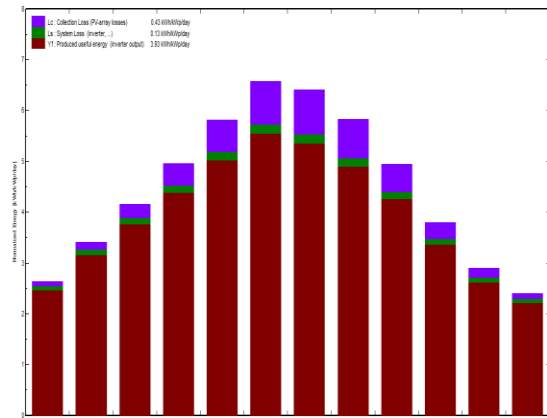
شکل ۴: طرح پانل نصب شده بصورت ثابت با زاویه ۱۳^o



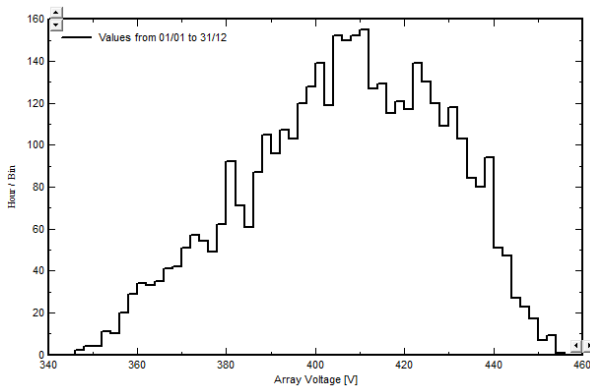
The 1st National Conference on Investment Opportunities & Limitations in Astara
15-16 Feb 2018



شکل ۹: توزیع دما بروی پنل‌ها در طول عملکرد سیستم



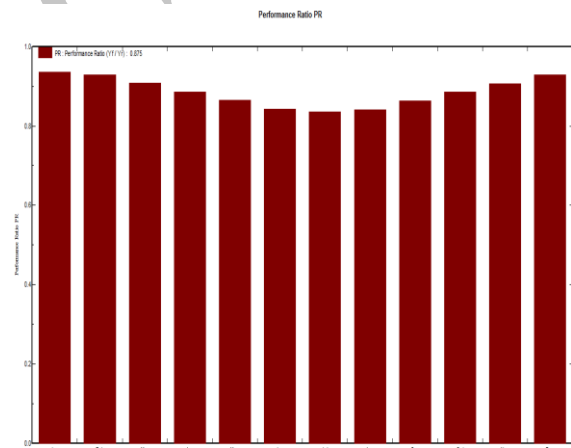
شکل ۷: توان تلف شده در ماه‌های مختلف



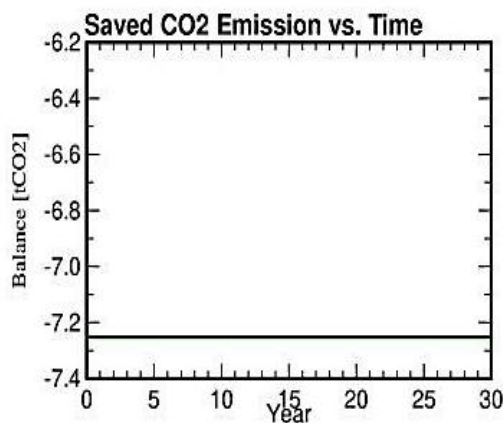
شکل ۱۰: توزیع ولتاژ بر روی سطح آرایه‌های پنل

نکته مورد توجه در این پژوهش کاهش چشمگیر آلاینده CO₂ در بکارگیری و استفاده از این حجم انرژی خورشیدی و جلوگیری از تولید انرژی حاصل از احتراق سوخت فسیلی در نیروگاه‌ها می‌باشد که در شکل (۱۱) کاهش ۷/۳ تن دی اکسیدکربن بازای هر یکسال استفاده از سیستم فتوولتائیک را نشان می‌دهد. در مدت ۳۰ سال عملکرد سیستم طراحی انرژی خورشیدی ۲۱۹ تن کاهش را شاهد خواهیم بود.

در شکل (۸) افت اینورتر تقریباً در ماه‌های مختلف یکسان است فقط در ژانویه (بهمن ماه) بیشترین مقدار را دارا می‌باشد اما افت آرایه‌ها در ماه‌های دی، بهمن و اسفندماه بعلت سردی هوا به کمترین مقدار می‌رسد.



شکل ۸: نسبت عملکرد پنل به اینورتر



شکل ۱۰: میزان کاهش CO₂ در مدت بکارگیری سیستم خورشیدی

در شکل (۹ و ۱۰) توزیع دما و ولتاژ بروی پنل‌های سیستم فتوولتائیک مورد طراحی را نشان می‌دهد که بیشترین دمای ثبت شده ۶۵°C در حد دوساعت و مینیمم دمای ثبت شده ۳°C می‌باشد. بیشترین مدت دمایی ثبت شده بر روی پنل‌ها در شرایط آب و هوایی شهر آستارا ۲۳°C ثبت شده که دمای ایده آلی می‌باشد چرا که با افزایش دمای محیط، ولتاژ خروجی کاهش می‌یابد. در نتیجه افزایش دما در نهایت موجب کاهش ولتاژ مدار باز می‌شود. در اکثر پنل‌های از جنس سیلیکونی توان خروجی حدود ۰/۵ درصد بازای افزایش دما کاهش می‌یابد و در پنل‌های از جنس کریستال با راندمان بالا حدود ۰/۳۵ درصد و در نوع آمورفوس این مقدار بین ۰/۲ تا ۰/۳ است. خروجی متوسط راندمان ۱۶ درصدی در طراحی انجام شده در شرایط اقلیمی شهر آستارا ناشی از دمای نرمال و جذب حداکثری تشعشعات خورشید توسط پنل‌ها می‌باشد.



The 1st National Conference on Investment Opportunities & Limitations in Astara
15-16 Feb 2018

- [10] Kernec, J.R. Russel, M.C., 1978, "Combined Photovoltaic & Hybrid Collector Systems", In Proceeding of The 13th IEEE Photovoltaic Special Lists, Washington DC, USA, P.1153-57.
- [11] Oliver, M. Jackson, T., 2001, "Energy & Economic Evaluation of Building Integrated Photovoltaics", Energy ;26(4):431-9.
- [12] Bernal-Agustin Jose, L. Dufo- Lopez R., 2006, "Economical and Environmental Analysis of Grid Connected Photovoltaic Systems in Spain", Renewable Energy ;31(8): 1107-28.
- [13] Mondol, J.D. et al., 2006, "Optimal Sizing of Array & Inverter for Grid Connected Photovoltaic Systems", Solar Energy 80, 1517-1539.

بازگشت سرمایه انرژی خورشیدی مورد طراحی در موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی شهرستان آستارا با رویکرد ۳۰۰ کیلووات مصرف ماهانه برای واحدهای مسکونی با لحاظ تعرفه متوسط ۷۵۰ ریال و قیمت ۳۷۸۰ ریال برای انرژی خورشیدی در آستارا بازگشت سرمایه در حدود ۵ سال دارد.

۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

نتایج این تحقیق نشان داد که اجرای این پروژه با در نظر گرفتن بهای دلار از ۴۲,۰۰۰ ریال حدود ۲۲۵,۱۲۰,۰۰۰ ریال هزینه در بردارد که در اینصورت تعرفه تولید برق بازای هر کیلووات ساعت ۳,۷۸۰ ریال می باشد که در مقایسه با تعرفه مصرفی شرکت برق ایران در مناطق عادی به نرخ ۱,۱۲۵ ریال بازای مازاد مصرف ماهانه $300 - 200 \text{ KWh/month}$ توجه اقتصادی خوبی دارد. از سوی دیگر با وجود ضریب تابش ۳.۸ و ابری بودن شهر آستارا، راندمان عملکردی سیستم مورد طراحی در حدود ۱۶٪ می باشد که برای سیستم انرژی خورشیدی مناسب می باشد. همچنین بعلا مصرف کمتر برق شهری و کاهش پیک تولیدی نیروگاه های با احتراق سوخت فسیلی، سالانه از انتشار ۷,۳ تن کربن دی اکسید جلوگیری می شود. جهت مقایسه فنی - اقتصادی بهتر است COP انرژی بادی در شهرستان آستارا هم تعیین شود.

مراجع

- [1] Kernec, J.R. Russel, M.C., 1978, "Combined Photovoltaic & Hybrid Collector Systems", In Proceeding of The 13th IEEE Photovoltaic Special Lists, Washington DC, USA, P.1153-57.
- [2] Tselepis, S., 2002, "Economic Analysis of Hybrid Photovoltaic/Thermal Solar Systems & Comparison With Standard PV Modules", Proceedings of the Integrated Conference PV in Europe, Rome, p. 856-9.
- [3] Elazari, A., 1998, "Multi Solar System In Proceedings of The 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic", Solar Energy Conversion, Vienna, Austria, p.2430-330.
- [4] Kalogirous, S., 2004, "Environmental Impact of Domestic Solar Water & Space Heating Systems", Inproceeding of World Renewable Energy Congress (VREC) Denver, Colorado, USA, August-September (CDROM).
- [5] Hour, A., 2005, "Solar Water Heating in Lebanon Current Status and Future Prospects", Renewable Energy 31, 663-675.
- [6] Tsilingiridis, G. Martinopoulos, G., 2009, "Thirty Years of Domestic Solar Hot Water Systems Use in Greece-Energy & Environmental Benefits-Future Perspectives", Renewable Energy 35,490-497.
- [7] Fraas, Lewis. Partain, Larry, "Solar Cells and Their Applications", New Jersey. Published simultaneously in Canada, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., (2010).
- [8] Bazilian, M.D. et al., 2002, "Thermographic Analysis of a Building Integrated Photovoltaic System", Renewable Energy 26(3), 449-461.
- [9] Van Helden, W.G.J. et al., 2004, "PV Thermal Systems: PV Panels Supplying Renewable Electricity & Heat", Progress In Photovoltaic: Research & Applications 12, 415-426.

اولین همایش ملی فرصت‌ها و محدودیت‌های سرمایه‌گذاری در آستارا

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۶



The 1st National Conference on Investment Opportunities & Limitations in Astara
15-16 Feb 2018

Archive of SID