Archive of SID

بررسی اقتصادی صفحات خورشیدی،

نمونهٔ موردی: ساختمان‌های آموزشی شهر کاشان[1]

محمدرضا حافظی[2]

استادیار دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی

کلیدواژگان: سلول‌های فتوولتاییک، بررسی اقتصادی، تأمین برق خورشیدی، ساختمان‌های آموزشی، مدل‌سازی سلول‌های خورشیدی.

چکیده

توسعهٔ پایدار یکی از مهم‌ترین مباحث در طراحی و مدیریت شهری در عصر کنونی است. در همین خصوص چگونگی و روش‌های مدیریت انرژی در ساختمان‌های عمومی و خدماتی یکی از شاخص‌ترین مباحثی است که توجه محققین و قانون‌گذاران را به‌شدت به خود جلب کرده است. کشورهای مختلف بهره‌برداری از انرژی خورشیدی به جای سوخت‌های فسیلی در ابعاد و سطوح مختلف را یکی از راهکاری مناسب و پربازده دانسته و به طور ویژه به آن توجه کرده‌اند. علی‌رغم توجیهات مختلف، اعم از زیست‌محیطی و اجرایی، جانشینی و استفاده از این انرژی سرشار و بی‌انتهای خورشیدی هنوز با موانعی جدی روبه‌رو است که نداشتن صرفهٔ اقتصادی در رأس آن است. در این مقاله با ذکر و تحلیل اقتصادی- تجربه‌ای عملی، در زمینهٔ اجرای سیستم‌های فتوولتاییک در مدارس شهر کاشان، این موضوع بررسی و پیشنهاداتی عملی بر پایهٔ تحلیل انجام‌شده عرضه شده است. نتایج نشان می‌دهد که دورهٔ بازگشت سرمایه برای یک سیستم ۵ کیلوواتی، با در نظر گرفتن قیمت واقعی برق، بین ۱۰ تا ۱۲ سال است. در حالی که دورهٔ بازگشت سرمایه، با در نظر گرفتن تعرفهٔ یارانه‌ای برق، بین ۴۶ تا ۵۰ سال متغیر است. با در نظر گرفتن قیمت واقعی برق بازده سرمایه‌گذاری نیز ۲/۶ تا ۳/۲ است. این در حالی است که، با در نظر گرفتن تعرفهٔ برق یارانه‌ای، درآمد حاصل از سرمایه‌گذاری حتی هزینه‌های دورهٔ بهره‌برداری را پوشش نمی‌دهد درنتیجه جریان خالص نقدی و ارزش خالص فعلی هر دو منفی هستند. به طور کلی نتایج نشان داده است که به‌کارگیری سیستم‌های فتوولتاییک در شرایط فعلی با تعرفه‌های یارانه‌ای برق به‌صرفه نیست، در حالی که، با توجه به قیمت واقعی انرژی، از نظر اقتصادی به صرفه هست. بنا بر این با تداوم قوانین و سیاست‌های جاری، عملکرد اقتصادی سیستم‌های فتوولتاییک مانع به‌کارگیری این سیستم در بخش خصوصی و مدارس خواهد بود. همچنین بررسی نشان می‌دهد که تخصیص مساحت بیشتری از بام، بالأخص به مقداری حداقل دوبرابر و یا بیش از سطح مورد نیاز برای تأمین انرژی مصرفی خود بنا، افزایش توجیه‌پذیری را به‌همراه خواهد داشت. به همین دلیل، می‌توان دریافت که در درجهٔ اول کاربری‌های تجاری، که عموماً دارای سطوح گستردهٔ بام و قیمت برق مصرفی قابل توجهی هستند، سپس ساختمان‌های اداری کوتاه‌مرتبه، و بعد ساختمان‌های مسکونی کوتاه‌مرتبه، در مقایسه با ساختمان‌های آموزشی و فرهنگی، پتانسیل بیشتری برای بهره‌گیری از این نوع سلول‌های خورشیدی دارند.

۱. این مقالــه برگرفته از یک تحقیق شخصی اســت که برای *نشریهٔ صفه* ارسال شده است.

2. m_hafezi@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

پرسش‌های تحقیق

۱. آیا استفاده از صفحات خورشید در ساختمان‌های آموزشی از دیدگاه اقتصادی توجیه‌پذیر است؟

۲. سیاست‌های تشویقی و برنامه‌ریزی برای افزایش استفاده از انرژی‌های پاک، بالأخص صفحات خورشیدی، چیست؟

۳. استفاده از صفحات خورشید در کدام کابری‌ها بیشترین توجیه اقتصادی را دارد؟

۱. مقدمه

استفاده و بهره‌برداری از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر در سال‌های اخیر افزایش چشمگیری داشته است که دلایل آن را می‌توان، از یک سو، به رشد تقاضای انرژی و محدودیت منابع و از سوی دیگر، به الزامات زیست‌محیطی، از جمله نیاز جدی به کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای و آلودگی‌های محیط طبیعی نسبت داد[۳]. طبعاً در مسیر تحقق این امر باید توجه داشت که هم صرفهٔ اقتصادی برای سرمایه‌گذاری و هم امکان بهره‌وری مناسب در تولید مؤثر انرژی از عوامل مهم و تعیین‌کنندهٔ طراحی، انتخاب، و بهره‌برداری موفق از انواع انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر به‌شمار می‌روند[۴]. یکی از روش‌هایی که در سال‌های اخیر، با نگاهی مجدد به خورشید، در شکل ساختاری جدید به مثابهٔ جانشینی مناسب برای سوخت‌های فسیلی، توجه سرمایه‌گذاران، قانون‌گذاران، و متخصصین را به خود جلب کرده است، استفاده از صفحات خورشیدی یا فتوولتاییک‌ها[۵] است[۶]. محققین نشان داده‌اند که این روش با ایدهٔ استفاده از انرژی خورشیدی، به مثابهٔ یک منبع لایزال انرژی پاک، در عین کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای[۷] و سایر آلاینده‌های هوا و آب، کاهش آلاینده‌هایی نظیر آلودگی صوتی را نیز به‌همراه خواهد آورد[۸]. همچنان که مطالعات دیگر مبین آن است که، علی‌رغم انتشار گازهای گلخانه‌ای در مرحلهٔ تولید صنعتی این صفحات،[۹] تولید برق در این روش، در مقایسه با شبکهٔ سراسری موجود، حداقل به میزان ۸۹٪ کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را در کرهٔ زمین سبب می‌شود[۱۰]. لازم به ذکر است که این اختلاف در انتشار گازهای گلخانه‌ای، عمدتاً در مراحل تولید اولیهٔ برق در مقیاس صنعتی، تبدیل به برق قابل مصرف در مقاصد مختلف، و در شبکهٔ توزیع سراسری برق است[۱۱].

از سوی دیگر، باید به خاطر داشت که بهره‌گیری از چنین روش‌هایی در توسعه و بهره‌بری از انرژی‌های پاک مستلزم فرهنگ‌سازی در بستر عمومی جامعه و تصدیق ذهنی جامعه به لزوم پایبندی به روش‌های پایدار مصرف انرژی برای توسعهٔ پایدار است. از این رو توسعهٔ این نوع سیستم‌ها در بناهایی نظیر مدارس، با نگاه به نقش تربیتی آن، در خصوص جلب توجه محصلین و دانشجویان به اهمیت و راهکارهای موضوع اهمیت ویژه‌ای دارد[۱۲]. هرچند این نوع نگاه در انتخاب مدارس، به منزلهٔ مصداق بهره‌گیری از انرژی خورشیدی، ممکن است، بالاخص از نگاه اقتصادی، کفایت دستاوردی کافی را نداشته و درنهایت،

3. A.Demiroren & U. Yilmaz, "Analysis of Change in Electric Energy Cost with Using Renewable Energy Sources in Gökceada", p. 322; H. Ren & W. Gao, & Y. Ruan, "Economic Optimization and Sensitivity Analysis of Photovoltaic System in Residential Buildings", p. 883.
4. A. Orioli & A. Di Gangi, "Review of the Energy and Economic Parameters Involved in the Effectiveness of Grid-connected PV Systems Installed in Multi-storey Buildings", p. 955.
۵. Photo Voltaic یا PV Panels
6. Liu, X., et al, Lifecycle climate impacts and economic performance of commercial-scale solar PV systems, p. 561.
7. Ibid
8. A. Al-Salaymeh, et al, "Technical and Economical Assessment of the Utilization of Photovoltaic Systems in Residential Buildings", p. 1719.
9. H. Kim, et al, "Life Cycle Assessment of Cadmium Telluride Photovoltaic (CdTe PV) Systems", p. 78; R. Kannan, et al, "Life Cycle Assessment Study of Solar PV Systems: an Example of a 2.7 kW p Distributed Solar PV System in Singapore", p. 555.

www.SID.ir

Archive of SID

برخلاف انتظار، نتیجهٔ مطلوب مورد نظر را به‌همراه نداشته باشد. از این رو صرف نظر از اهمیت ابعاد اجتماعی و فرهنگی فوق، در این مقاله کوشش می‌شود که با تکیه بر تحلیل ابعاد اقتصادی بهره‌گیری از این نوع انرژی، به مثابهٔ اصلی‌ترین محرک و عامل در ترویج و ترغیب به توسعه و با تکیه بر اطلاعات مأخوذ از برداشت ممتد میدانی هفده نمونهٔ مطالعاتی، ابعاد مغفولی از وجوه مؤثر بر سیاست‌گذاری‌های بهره‌گیری از این روش بررسی شود. همچنین، به‌موازات و با تکیه بر روش مدل‌سازی و تحلیل هزینه‌ـ فایده، وجوه گره‌خورده با معماری این صفحات بررسی و نظراتی در خصوص الزامات معماری و برنامه‌ریزی طراحی تبیین می‌شود.

۲. پیشینهٔ تحقیق

ورود فناوری‌های جدید موجب شده که اشکال مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر از لحاظ اقتصادی امکان‌پذیر و از دیدگاه بهره‌وری سرمایه‌گذاری تضمین یافته باشند. بر طبق مطالعات، علی‌رغم هزینه‌های اولیهٔ نصب، بهره‌برداری، و جانشینی در مرحلهٔ تعمیر و نگهداری، تکنولوژی سبب می‌شود که استفاده از پنل‌های خورشیدی فتوولتاییک در طی سال‌های آتی به درجه‌ای از عمومیت دست یابد که، بدون هر نوع حمایتی در همهٔ نقاط جهان، با صرفهٔ اقتصادی و فراتر از هرگونه تردیدی، به صورت تضمین‌شده بازده داشته باشد (ت ۱)[۱۳].

گرچه نگاه یک‌جانبهٔ اقتصادی به این سیستم‌ها علمی و صحیح نیست، لیکن برخلاف نیاز به توسعه و مقبولیت این روش، برخی از مطالعات و تحقیقات مقرون به صرفه بودن آن‌ها را در حال حاضر زیر سؤال برده‌اند و این مسئله مانع بزرگی در توسعه و ترویج این تجهیزات شناخته می‌شود. به طور مثال، بر اساس تحقیقی در کنیا، هزینه‌های پنل‌های خورشیدی و سرمایه‌گذاری بر روی آن‌ها توان رقابت با انرژی‌های دیگر مانند زغال‌سنگ و باد را ندارد[۱۴]. همچنین در مطالعه و بررسی موردی بر روی مجتمعی مسکونی در کشور اردن ادعا می‌شود که نصب این پنل‌ها در واحدهای مسکونی، به علت هزینهٔ اولیهٔ بسیار بالا، سودآور نخواهند بود. بر اساس مطالعه‌ای مشابه، هزینهٔ پنل‌های نصب‌شده در برخی کشورهای اتحادیهٔ اروپا نسبت به منابع متداول تولید برق بسیار بیشتر است و تداوم استفادهٔ غالب سیستم‌های استفاده‌شده در این کشورها به‌شدت تحت تأثیر یارانه‌ها است و یا از لحاظ اقتصادی کارایی ندارند. مطالعات قبلی بر روی بهرهٔ اقتصادی این پنل‌ها برای سرمایه‌گذاران خصوصی در ایران نیز نشان می‌دهد که حتی اگر ۵۰٪ سرمایه با عنوان کمک‌هزینه در اختیار قرار گیرد، باز هم سودآوری اقتصادی نخواهند داشت[۱۵]. این واقعیت در شرایطی است که با توجه به ابعاد بسیار مهم دیگر، نیاز به انرژی‌های تجدیدپذیر و تشویق به استفاده از آن‌ها رو به افزایش است[۱۶] و هم‌زمان هزینهٔ این سیستم‌ها در طول سال‌های اخیر کاسته شده است[۱۷]، ولی متأسفانه در مقایسه با سیستم‌های متداول شبکه‌ای برق، هزینهٔ اولیهٔ بسیار بالایی برای مصرف‌کننده‌ها دارند. این مطالعات همچنین نشان می‌دهند که برای افزایش سود مشتری، باید قیمت برق افزایش و قیمت سیستم‌های فتوولتاییک کاهش یابد[۱۸]. دیگر بررسی‌ها نشان می‌دهد که تعرفه یا سود حاصل از تولید و تزریق انرژی به شبکهٔ سراسری برق از مازاد انرژی برق تولیدشده توسط این پنل‌ها، کمک‌های مالی، و یارانه‌های دولتی نیز می‌تواند بخش‌های عمومی و خصوصی را به منظور نصب این سیستم‌ها تشویق کند[۱۹]. از این رو به نظر می‌رسد که مطالعات تکمیلی راهکارهای معماری‌ـ اقتصادی، تؤامان در سیاست گذاری‌های طراحی، می‌تواند در حد خود راهگشا و نیز الزامی باشد.

نتایج تحقیقات فوق الذکر در حالی است که مطابق مطالعه‌ای متفاوت در اسپانیا، با استفاده از سیستم فتوولتاییک به صورت شبکه‌ای به هم پیوسته، و با فرض اعمال تعرفهٔ محلی (قیمت منطقه‌ای) جاری، سرمایه‌گذاری بر روی این سیستم کاملاً مقرون به صرفه گزارش شده است[۲۰]. نکتهٔ قابل توجه در این خصوص آن است که سودآوری و دورهٔ بازگشت

10. V.M. Fthenakis & H.C. Kim & E. Alsema, "Emissions from Photovoltaic Life Cycles", p. 2168.
11. M. Oliver & T. Jackson, "Energy and Economic Evaluation of Building-integrated Photovoltaics", p. 431.
12. J. Coughlin & A. Kandt, "Solar Schools Assessment and Implementation Project", p. 275; A. Kandt, A. *Solar for Schools: A Case Study in Identifying and Implementing Solar Photovoltaic (PV) Projects in Three California School Districts*.
13. Orioli & Di Gangi, ibid.
14. A.M. Rose, *Prospects for Grid-connected Solar PV in Kenya*, p. 275.
15. M. Abbaspour & P. Hennicke, *Climate Policy and Sustainable Development: Opportunities for Iranian-German Cooperation, Case Study: Solar Thermal Energy in Iran*, p. 85.
16. K. Branker & M. Pathak & J.M. Pearce, "A Review of Solar Photovoltaic Levelized Cost of Electricity", p. 4470.
17. D. Feldman, *Photovoltaic (PV) Pricing Trends: Historical, Recent, and Near-term Projections*, p. 60; A. Curthoys, *Solar Energy Generation Potential of Tompkins County*.

www.SID.ir

Archive of SID

سرمایه در سرمایه‌گذاری و استفاده از این نوع از انرژی عمدتاً تحت تأثیر نوع بهره‌برداری، هزینهٔ برق محلی، و از همه مهم‌تر سیاست‌ها و هزینه‌های کلان یا ملی است. در مطالعات مرکز تحقیقات کویری نوادا اثبات شد که هرچه سیستم‌ها بزرگ‌تر باشند، صرفهٔ اقتصادی بیشتر است، و دورهٔ بازپرداخت کوتاه‌تر با سود بیشتر برای سرمایه‌گذاری خواهند بود. درمجموع می‌توان از مطالعات انجام‌شده نتیجه گرفت که عملکرد اقتصادی این صفحه‌ها یا همان پنل‌های فتوولتاییک به اندازه و ابعاد سیستم اجراشده، محل اجرا، تنظیمات آن‌ها، تعرفه‌های برق، دسترسی به منابع سوختی، و سیاست‌ها و حمایت‌های دولت وابستگی فراوانی دارند.

موانع اصلی توسعهٔ پنل‌های فتوولتاییک در ایران یارانه‌های انرژی‌های قابل توجه برای مصرف‌کننده هستند که منجر به کاهش تولید فناوری انرژی‌های پاک می‌شوند و بدین ترتیب مشکلات زیست‌محیطی ایجاد و بار مالی سنگینی را بر دولت تحمیل می‌کنند[۲۱]. با احتساب یارانه‌های دولتی به حامل‌های انرژی، قیمت برق در ایران بسیار ارزان‌تر از سایر کشورهای دنیا است[۲۲]. با توجه به عواملی نظیر فناوری، بهره‌وری، سهولت دسترسی، و منابع، بهترین منبع برای تولید برق در ایران گاز طبیعی است که ۸۷٪ کل برق کشور را تأمین می‌کند[۲۳] و در مجمع صادرکنندگان گاز (اپک) ایران دومین کشوری است که امکان صادرات گاز طبیعی به اروپا و آسیا را نیز دارد.

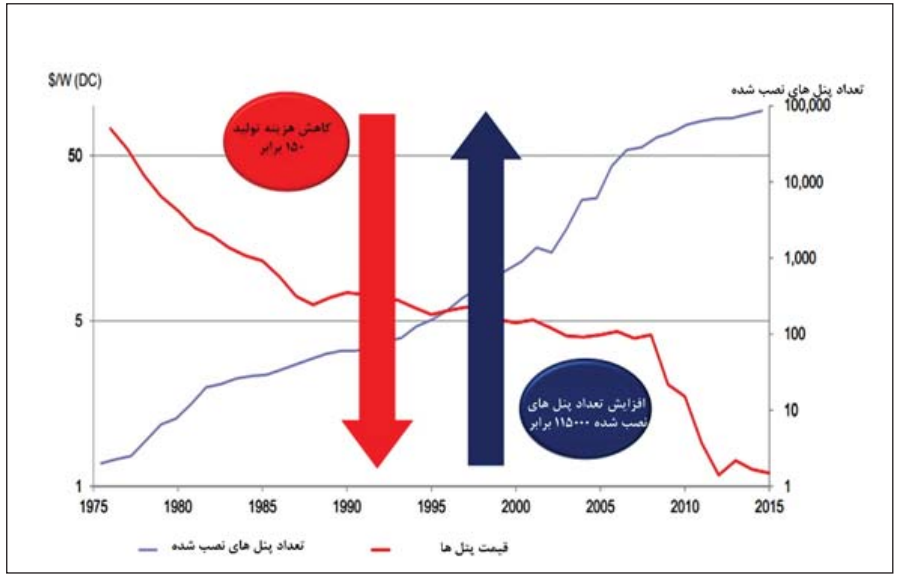
بر اساس تحقیقات، زمانی پنل‌ها سودآور خواهند بود که قیمت یارانهٔ برق به قیمت واقعی تمام‌شده نزدیک باشد. این فرایند نشان می‌دهد که تعرفهٔ برق بسیار کمتر از آن چیزی است که واقعاً برای تولید آن هزینه می‌شود[۲۴]. به‌علاوه در ایران ذخایر نفتی و گازی دولتی است و درنتیجه تولید، توزیع، و سیاست‌های قیمت‌گذاری همگی متمرکز است. علاوه بر تملک دولتی و نیمه‌دولتی، بخشی از صنعت و مزایای تولید برق نیز متعلق به بخش خصوصی است[۲۵]. همچنین علاوه بر یارانه‌ها، دسترسی محدود به بازار جهانی، نرخ تورم بالا، و سطح دانش و آگاهی کم دربارهٔ فناوری و نصب این پنل‌ها همگی موانعی برای توسعهٔ آن‌ها در ایران است.

علی‌رغم مسائل محیط زیستی و لزوم افزایش قابلیت رقابتی صدور گاز، سرعت رشد نیاز به انرژی موجب خواهد شد تا کشور در دهه‌های آینده در صادرات سوخت‌های فسیلی دچار مشکل جدی شود. از این رو در ارزیابی بلندمدت و با وجود افزایش قیمت برق و نیاز بی‌وقفه به انرژی، انتظار می‌رود که سیستم‌های فتوولتاییک بسیار سودمند و ضروری باشند[۲۶]. بالأخص با کمبود منابع فسیلی راهکاری به‌جز توسعهٔ چنین روش‌هایی، بالأخص در مقیاس مصرف‌کننده‌های توزیع‌شدهٔ خرد و نیز شهرهای آلوده، منطقی به نظر نمی‌رسد.

عوامل بالقوهٔ مؤثر در توسعهٔ انرژی خورشیدی، همچون تابش ۳۰۰روزه در سال بر حداقل دوسوم مساحت ایران و تابش خورشیدی که به طور متوسط برابر ۱۹/۲۳ مگاژول بر متر مربع است با ۲۹۰۰ ساعت تابش در سال، اهمیت و قابلیت استفاده از این انرژی را در کشور و طبعاً جایگاه واقعی انرژی‌های

18. G.G. Pillai, et al, "Near-term Economic Benefits from Grid-connected Residential PV (photovoltaic) Systems", p. 832.
19. C.-W. Hsu, "Using a System Dynamics Model to Assess the Effects of Capital Subsidies and Feed-in Tariffs on Solar PV Installations", p. 205; *Enabling PV Iran: The Emerging PV Market in Iran*.

ت ۱. مقایسهٔ هزینه تولید پنل‌های خورشید و تعداد پنل‌های نصب‌شده از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۵ در جهان، مأخذ: http://vivopower.com/introduction-to-grid-parity-and-levelised-cost-of-electricity/



www.SID.ir

Archive of SID

خورشیدی را نشان می‌دهند (ت ۲). در برخی ایستگاه‌ها مقادیر متوسط سالیانهٔ تابش‌های افقی بیشتر از ۵۰۰ وات بر متر مربع است که از لحاظ اقتصادی توجیه کاربرد پنل‌های فتوولتاییک را دوچندان می کند.[۲۷] علی‌رغم پتانسیل بالا و نیاز جدی به استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در آینده‌ای نزدیک و شرایط اقتصادی و سیاست‌های فعلی، سیستم‌های خورشدی فتوولتاییک در ایران گسترش نیافته و در سطح عمومی معرفی نشده است. به این دلیل لازم است اولاً این سیستم‌ها، بر اساس ارزش واقعی سهام، دورهٔ بازپرداخت و بازگشت سرمایهٔ ارزیابی و سپس سیاست‌های اجرایی توسعه‌ای بررسی شود.

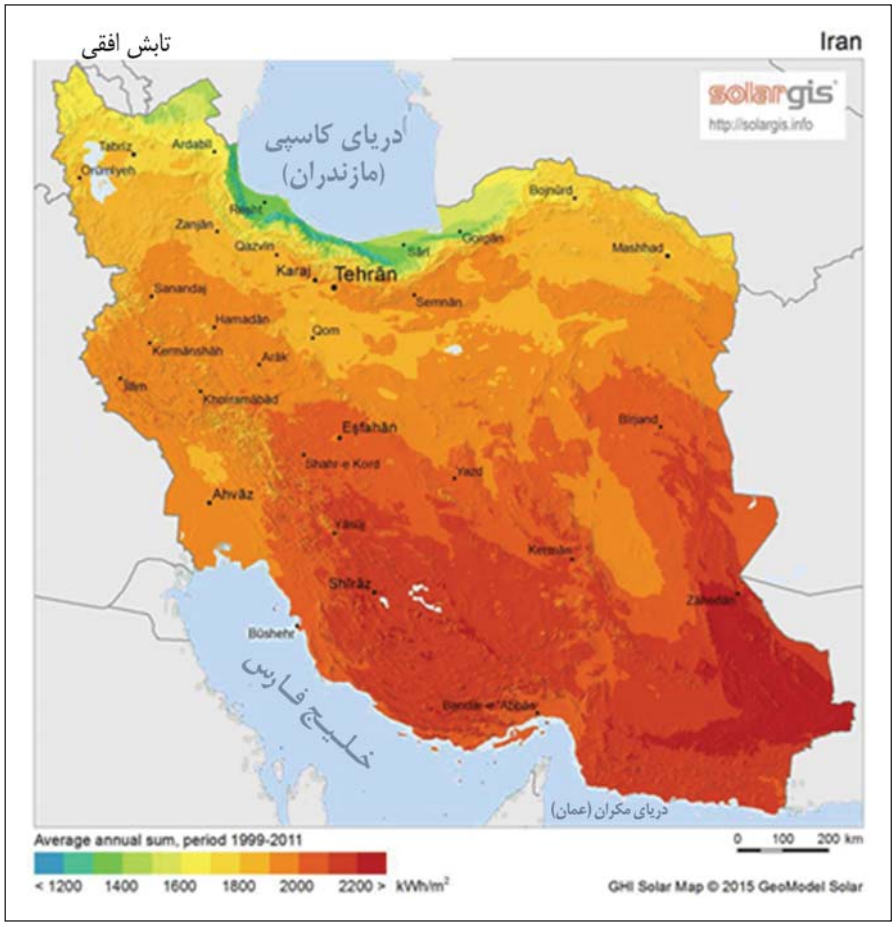
۳. روش‌شناسی تحقیق

روش انجام این مطالعه دو بخش اصلی دارد: بخش اول شامل برداشت و تحلیل اطلاعات سلول‌های خورشیدی نصب‌شده بر بام ۱۷ مدرسه در شهر کاشان و تحلیل اقتصادی و سرمایه‌گذاری به منظور بررسی توجیه‌پذیری آن است. در بخش دوم برخی ویژگی‌های معماری و برنامه‌ریزی‌های طراحی برآمده از نتایج این تحلیل‌ها در معماری، از طریق مدل‌سازی یک نمونه در شرایط اقلیمی بستر مطالعه و نیز برخی جزئیات اجرایی مرتبط، بررسی خواهد شد. در مرحلهٔ مطالعات آموزشی مشخص می‌شود ساختمان‌های بررسی‌شده بر اساس کارکرد، میزانی از انرژی تولیدی صفحات فتوولتاییک را استفاده می‌کنند و مازاد آن از سوی سهام‌دار اصلی (شرکت توزیع برق) خریداری می‌شود.

به علت موقعیت جغرافیایی کاشان و قرارگیری آن در منطقهٔ «۳۳° ۵۸' ۵۹" N / ۵۱° ۲۵' ۵۶E» میانی ایران و میزان تابش ۱۰/۵ ساعت در روز (نظیر بسیاری از مناطق کشور در نواحی با عرض جغرافیایی متوسط)، آسمان آن عموماً صاف و بدون ابر است و پتانسیل بسیار خوبی برای بهره‌گیری از انرژی تابشی دارد. آب‌وهوای این شهر بر اساس تقسیم‌بندی کوپن- گایگر در گروه BWh یا همان خشک و کویری دسته‌بندی می‌شود. آمارها و گزارش‌های ایستگاه‌های هواشناسی حاکی از آن است که آسمان کاشان در طول سال ۶۷٪ صاف، ۲۴٪ نیمه‌ابری، و تنها ۹٪ ابری است.[۲۸]

۳. ۱. نمونه‌های موردی: برداشت میدانی

در سال ۱۳۹۳ برای اجرای فتوولتاییک در ساختمان‌های آموزشی سراسر کشور، که شامل ۱۷ مدرسه در کاشان و آران است («ت ۳» چگونگی چیدمان پنل‌ها بر روی بام یکی از این مدارس را نشان می‌دهد)، بودجه‌ای از طرف دولت اختصاص



ت ۲. پتانسیل بهره‌گیری از انرژی خورشیدی در ایران، برگرفته از: http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/iran

www.SID.ir

Archive of SID

داده شد. مدارس در این پروژه هیچ‌گونه سرمایه‌گذاری نکرده و مسئولیتی در قبال هزینه‌های اجرا و نگهداری آن نداشته‌اند. طبعاً در شرایط واقعی این امر فرض مناسبی نخواهد بود و چنان که بعداً نیز اشاره می‌شود موضوع تعمیر و نگهداری خود می‌تواند از عوامل مؤثر بر تصمیم‌گیری‌ها باشد.

ت ۳ (بالا). چگونگی چیدمان پنل‌ها بر روی بام مدرسهٔ شمارهٔ ۱۰، مأخذ: نگارنده.

ت ۴ (پایین). مشخصات ایستگاهی و ویژگی‌های پنل‌های خورشیدی، مأخذ: نگارنده.

مشخصات ایستگاهی		مشخصات صفحه‌ها یا پنل‌ها			
قاره	آسیا	ظرفیت پنل (w)	۲۵۰	جریان مدار کوتاه (A)	۸/۷۹
کشور	ایران	نوع پنل	YL250P-29b	حداکثر ولتاژ سیستم (V)	۱۰۰۰
استان	اصفهان	حداکثر انرژی نسبی (w)	۲۵۰ (۵+۰~)	میزان بازدهی (٪)	۱۳/۶۵
شهر	کاشان	ولتاژ نسبی (V)	۴/۳۰	میزان تخریب (٪)	۰/۷
عرض جغرافیایی	98/33	جریان نسبی (A)	۲۴/۸	عمر مفروض پروژه	۲۵ سال
طول جغرافیایی	40/51	حداکثر فیوز سری (A)	۱۵	شرایط تست	5/1 AM, 25 0C, 1000 w/ m2
ارتفاع از سطح دریا	37/946 M	ولتاژ مدار باز (V)	۴/۳۸	نوع مبدل	5 KW SMA Germany

پنل‌های سیلیکون چندبلوری، که متداول‌ترین نوع موجود در بازار است، با مشخصاتی که در جدول «ت ۴» ذکر شده است، در مدارس استفاده و بهره‌برداری شده‌اند. این پنل‌ها ۳ تا ۵ کیلوواتی هستند و روی بام‌های بدون سایهٔ این مدارس با زاویهٔ ۳۳ درجه، معادل عرض جغرافیایی کاشان، نصب شده‌اند تا حداکثر تابش را درتابستان و زمستان دریافت کنند[۲۹].

عملکرد سیستم‌های فتوولتاییک (کل انرژی تولیدشده) در طی یک سال، از مرداد ۱۳۹۳ تا تیر ۱۳۹۴، ثبت شده است. قبض‌های برق مصرفی هر مدرسه به انضمام برق تولیدشده توسط پنل‌های فتوولتاییک در طی یک سال (مرداد ۹۳ تا ۹۴) در جدول «ت ۵» ارائه شده است.

ملاحظه می‌شود که اکثر پنل‌های فتوولتاییک اجراشده در مدارس ظرفیت ۵ کیلوواتی دارند. با این حال چگونگی چیدمان و ترتیب قرارگیریشان سبب تفاوت در خروجی سیستم‌ها شده است. به گونه‌ای که سلول‌های اجراشده در یک ردیف ۲۰تایی، نسبت به دو ردیف ۱۰تایی و یا چهار ردیف ۵تایی، عملکرد بهتری از نظر میزان تولید برق داشته‌اند. غیر از افزایش تعداد پنل‌ها برای کارایی بهتر، چگونگی قرارگیری آن‌ها نیز می‌تواند عامل مؤثری در انرژی تولیدشدهٔ نهایی باشد که بر اساس شکل و اندازهٔ سقف مدارس و چگونگی قرارگیریشان بسیار متفاوت است. به طور کلی سیستم‌های ۵ کیلوواتی که در ردیف‌های ۲۰تایی قرار گرفته‌اند (مانند مدارس ۲، ۱۰، و ۱۶ در جدول «ت ۵») با هزینهٔ اولیهٔ کمتری، انرژی بیشتری تولید کرده و بازدهی بیشتری داشته‌اند، با توجه به این نکته که کمتر بودن هزینه‌های نصب و مداربندی عامل بسیار مهمی است.

علاوه بر این در برخی موارد، نظیر مدرسهٔ شمارهٔ ۱۱ (نمونه مشخص) اختلاف درصد برق سالانه (درصد برق تولیدی پنل‌ها از کل مقدار مصرف مدرسه) و به بیان دیگر اختلاف جریان برق تولیدی و جریان مصرفی مدارس قابل توجه است. همهٔ

20. J.L. Bernal-Agustín & R. Dufo-López, "Economical and Environmental Analysis of Grid Connected Photovoltaic Systems in Spain", p. 1107.

www.SID.ir

Archive of SID

موارد مطالعه‌شده ساختمان‌های آموزشی یک تا سه‌طبقه هستند که بام‌های بدون سایه دارند و قابلیت نصب تعداد بیشتری از پنل‌های فتوولتاییک را دارند. طبعاً اگر تعداد بیشتری پنل نصب شوند، درصد برق سالانه نیز به‌مراتب بیشتر خواهد شد.

با لحاظ قیمت واقعیِ سوخت، هزینهٔ تولید هر یک کیلو وات برق در ایران حدوداً معادل ۷۵۶۰ ریال است که ۲۵ برابر مبلغی است (در حدود ۳۹۶ ریال) که مدارس به طور متوسط در زمان انجام این مطالعه پرداخت می‌کردند. این در حالی است که قیمت تمام‌شدهٔ هر کیلوات برق تولیدشده در مدارس حدوداً معادل ۱۰۵۰۰ تومان است.

با مقایسه و در نظر گرفتن قیمت برق در هر واحد تحت سیاست‌های موجود در خصوص تعرفهٔ یارانه‌ای انرژی و همچنین در شرایط فقدان تعرفه‌های یارانه‌ای، تحلیل اقتصادی با مفروضات مستخرج از منابع مطالعاتی مدون و به شرح زیر انجام پذیرفته است:

ـ برق تولیدی پنل‌های فتوولتاییک در بازهٔ مرداد ۹۳ تا ۹۴ و

ت ۵. اطلاعات ۱۷ مدارس در شهرهای کاشان و آران و بیدگل که پنل‌های فتوولتاییک در آن‌ها نصب شده، مأخذ: نگارنده.

مدارس	شمارهٔ پروژه	نحوهٔ چیدمان	پتانسیل ظرفیتی سیستم *(KW)*	انرژی کل تولید شده (KWh), Array output	هزینهٔ اولیه‌ـ قیمت (هزار تومان) بر ظرفیت خرید و نصب	هزینه هر واحد– *قیمت (هزار تومان بر kW)* (Price/kW)	درآمد سالانه (برحسب هزار تومان)	برق سالانه *(Current Usage)* kwh	درصد برق سالانه
مدارس کاشان	۱	۱۰ ،۱۰	۵	۸۸۷۸	۵۲۷۴۷	۱۰۵۴۸	۷۵۶۴	۱۷۴۰۹	٪۵۱
	۲	۲۰	۵	۹۲۶۷	۵۰۶۴۸	۱۰۱۳۰	۷۸۹۵	۲۱۷۲	٪۳۴
	۳	۵، ۱۰، ۵	۵	۸۲۷۶	۵۲۸۵۹	۱۰۵۷۳	۷۰۴۹	۱۱۵۴۴	٪۷۵
	۴	۴، ۴، ۴	۳	۴۹۸۷	۳۱۶۰۴	۱۰۵۳۴	۴۲۴۸	۱۰۰۶۶	٪۵۱
	۵	۲۰	۵	۸۸۵۱	۵۲۶۷۵	۱۰۵۳۴	۷۵۳۸	۲۴۵۶۶	٪۳۸
	۶	۱۵، ۵	۵	۸۸۲۷	۵۲۷۳۳	۱۰۵۴۸	۷۵۱۷	۲۴۵۶۰	٪۳۹
	۷	۱۰ ،۱۰	۵	۸۳۸۹	۵۲۷۷۶	۱۰۵۵۵	۷۱۴۶	۲۳۰۷۵	٪۴۰
	۸	۴، ۴، ۴، ۴، ۴	۵	۸۵۵۰	۵۲۹۲۰	۱۰۵۸۴	۷۲۸۳	۱۴۵۱۷	٪۵۸
	۹	۱۰، ۵، ۵	۵	۸۷۵۸	۵۲۸۲۶	۱۰۵۶۶	۷۴۵۹	۱۶۲۹۲	٪۵۹
	۱۰	۲۰	۵	۹۲۸۷	۵۲۶۷۵	۱۰۵۳۴	۷۹۰۹	۳۶۶۴۰	٪۲۵
	۱۱	۵، ۵، ۵، ۵	۵	۸۵۶۹	۵۲۸۴۸	۱۰۵۷۰	۷۲۹۷	۵۱۲۶۰	٪۱۸
	۱۲	۱۰ ،۱۰	۵	۸۹۴۹	۵۲۷۹۴	۱۰۵۵۹	۷۶۲۱	۵۰۸۵	٪۱۸۶
مدارس اران و بیدگل	۱۳	۸ ،۸	۴	۷۰۸۹	۴۲۱۴۲	۱۰۵۳۷	۶۰۳۷	۱۳۰۹۹	٪۵۸
	۱۴	۱۰، ۵، ۵	۵	۸۳۴۹	۵۲۸۴۱	۱۰۵۷۰	۷۱۱۰	۹۹۱۶	٪۹۰
	۱۵	۱۰ ،۱۰	۵	۸۴۵۲	۵۲۷۸۳	۱۰۵۵۵	۷۲۰۰	۱۶۶۵۰	٪۵۵
	۱۶	۲۰	۵	۹۴۰۰	۵۲۶۷۵	۱۰۵۳۴	۸۰۰۶	۸۲۸۰	٪۱۲۵
	۱۷	۱۶	۴	۷۱۵۰	۴۲۱۰۶	۱۰۵۲۶	۶۰۹۱	۶۴۱۴	٪۱۲۱

www.SID.ir

Archive of SID

با تعمیم تخمینی تخریب سالیانهٔ پنل‌ها و بازدهی نهایی آن‌ها مطابق با جدول «ت ۵» در نظر گرفته شده است. از این رو تولید برق توسط پنل‌ها با تخمین ثابت سالیانه ۰/۷٪ بابت تخریب کاهش می‌یابد.

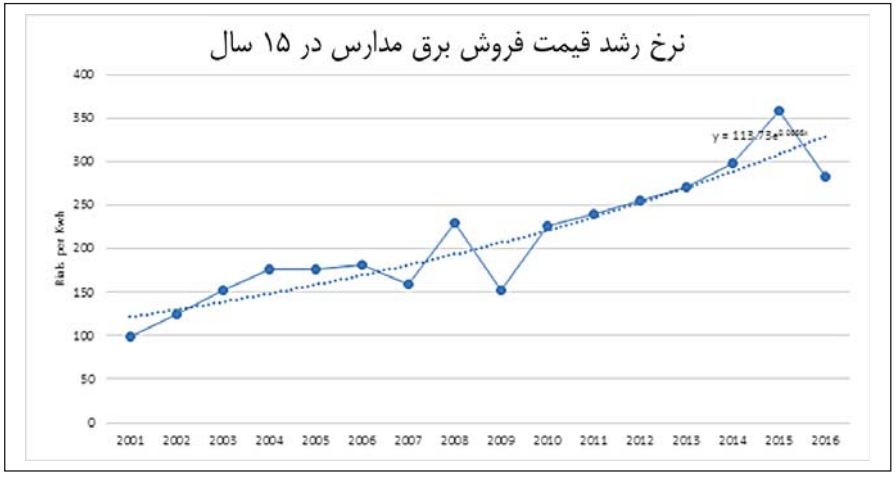
ـ هزینه‌های مدیریت و نگهداری ۱/۰٪ هزینه‌های سرمایه‌گذاری تخمین زده می‌شود و سالیانه ۲٪ نیز افزایش می‌یابد.

ـ جانشینی ۱٪ پنل‌های فتوولتاییک در هر سال و اینورتر هر ۵ سال یک بار فرض می‌شود. در مجموع سالانه ۱۱٪ افت سرمایه از سال ۹۴ نیز در نظر گرفته شده است.

ـ هزینهٔ تولید ۱ کیلو وات برق در طول ۲۵ سال ثابت فرض شده است، با توجه به اینکه تخمین نرخ تورم و روند سالانهٔ نوسانات قیمت صادرات و افزایش بازدهی نیروگاه‌ها ممکن به نظر نمی‌رسد، اما به صورت هم‌زمان و با شیب تورمی یکسان رشد خواهد کرد.

ـ با در نظر گرفتن مبلغ هر کیلو وات برق در قبض‌های مدارس در طی ۱۵ سال گذشته، که در «ت ۶» نشان داده شده، می‌توان تخمین زد که هر سال قیمت برق فروخته‌شده حدود ۶/۶٪ افزایش می‌یابد.

ـ نرخ تنزیل در ایران قابل تعیین نیست.



ت ۶. نمودار افزایش سالیانه ۶/۶درصدی قیمت برق، مأخذ: نگارنده.

در مقاله‌های مختلف روش‌های برآورد عوامل عملکردی و اقتصادی مختلف و متنوعی معرفی و پیشنهاد شده‌اند. در این مقاله ارزش جاری واقعی، دورهٔ بازپرداخت، و بازگشت سرمایه برای ارزیابی بهره‌وری اقتصادی پنل‌های فتوولتاییک انتخاب شده است. ارزش جاری واقعی تفاوت بین هزینهٔ اولیه و جریان مالی است تا بتوان بررسی کرد سود تولیدشده چه میزان بیشتر یا کمتر از هزینه‌ها است. از این رو هرچه ارزش جاری بیشتر باشد، سرمایه‌گذاری بیشتر مقرون به صرفه خواهد بود. جریان مالی نیز تفاوت بین پول تولیدشده از سوی سرمایه‌گذار (افزایش تولید هر سال به احتساب تولید ۱ کیلو وات برق تولیدشده) و هزینه‌ای است که این سرمایه‌گذاری در بر داشته است (هزینه‌های مدیریت، نگهداری، جایگزینی، و بازگردانی پنل‌ها هر ۵ سال یک بار).

با کم کردن جریان مالی از هزینهٔ اولیه تا سال تراز، دورهٔ بازپرداخت را می‌توان محاسبه کرد، و طبعاً هرچه این مقدار کمتر باشد، سرمایه‌گذاری بهتری صورت پذیرفته است. همچنین بازگشت سرمایه طبق طول عمر پنل‌ها را نیز می‌توان بر اساس نسبت هزینه‌های پس‌اندازشده به هزینهٔ اولیه محاسبه کرد، بالاتر بودن آن نشانگر سرمایه‌گذاری بهتر است.

۳. ۲. مدل‌سازی

به منظور مطالعهٔ سطح معادل لازم برای تأمین انرژی مورد نیاز ساختمان از این پنل‌ها و نیز مقدار سطح مازاد برای تولید برق مازاد و امکان فروش آن به شبکه، بررسی و با کسر مساحت مورد نیاز برای نصب کلکتورهای خورشیدی و نیز سایر تجهیزات و عوارض معمول ساختمانی و تأسیساتی بام، نظیر شفت‌ها و بازشوها و خرپشته‌ها، و...، یکی از مدارس پایش‌شده (مدرسهٔ شمارهٔ ۱۰) منطبق بر شرایط واقعی مدل‌سازی شده و میزان مصرف برق و گاز برای روشنایی، سرمایش، گرمایش، و آب گرم مصرفی محاسبه شده است (ت ۷). مدل‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر (رابط گرافیکی نرم‌افزار انرژی پلاس) صورت گرفته

21. S. Moshiri, "Energy Price Reform and Energy Efficiency in Iran", p. 202.
۲۲. نک:
H. Kazemi & A. Zahedi, "Wind and Solar Energy Developments in Iran".
۲۳. نک:
Ibid.
24. A.H. Fanney & B.P. Dougherty & M.W. Davis, "Measured Performance of Building Integrated Photovoltaic Panels", p. 187.
25. *Enabling PV Iran: The Emerging PV Market in Iran*.
26. Ibid; S. Moshiri, ibid.

www.SID.ir

Archive of SID

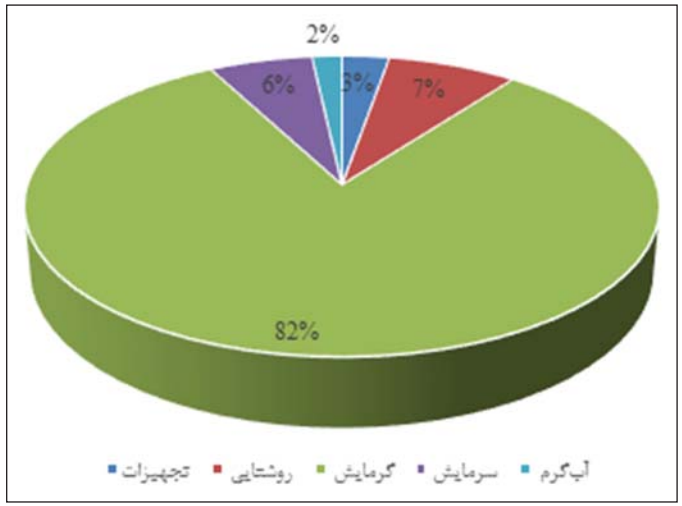
است. میزان انرژی محاسبه‌شده با میزان انرژی مصرفی مدرسه بر اساس قبوض برق مقایسه شده و اعتبار مدل تأیید شده است. همان‌طور که در «ت ۸» دیده می‌شود، ۲٪ از میزان مصرف انرژی مربوط به آب گرم مصرفی و ۱۶٪ مربوط به مصرف برق است. در خصوص افزایش تولید برق، مدرسهٔ شمارهٔ ۱۰ در دو حالت مدل‌سازی شده است: اول، با در نظر گرفتن پنل‌ها صرفاً در بام و دوم، با در نظر گرفتن پنل‌ها بر بام و نمای ساختمان. همچنین برای تأمین آب گرم مصرفی قسمتی از فضای بام به کلکتورهای خورشیدی اختصاص داده شده است.

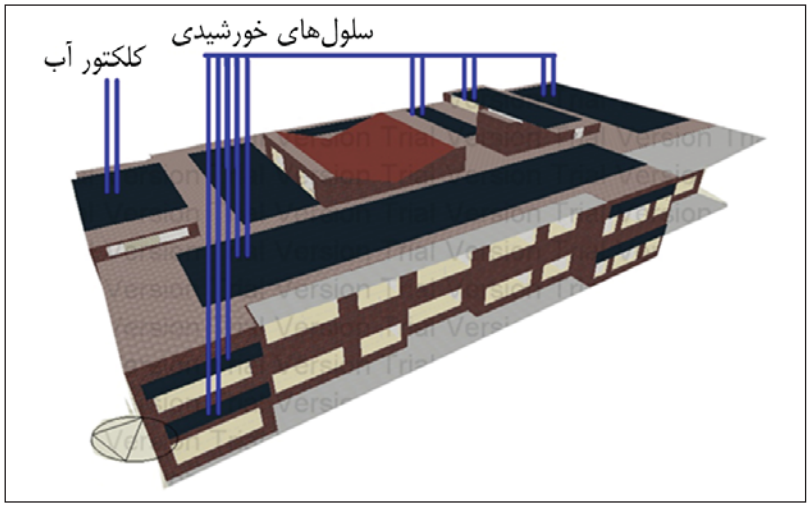
۴. نتایج

نتایج حاصل از برق تولیدشده در هر واحد از پنل‌های فتوولتاییک، با در نظر گرفتن قیمت واقعی و بدون یارانه، نشان می‌دهد که دورهٔ بازپرداخت برای سیستم‌های ۵ کیلو واتی بین ۵/۱۰ تا ۳/۱۲ سال و به طور متوسط ۶/۱۱ سال است. به بیان دیگر ۶/۱۱ سال طول می‌کشد تا هزینه‌های اولیه بازگشت یا جبران شوند. ارزش واقعی جاری نیز بر اساس «ت ۱۰» بین ۶/۲ تا ۲/۳ سال و به طور میانگین ۹/۲ سال برای سیستم‌های ۵ کیلوواتی محاسبه می‌شود و به این معنی است که این سیستم‌ها سه‌برابر هزینهٔ اولیه صرفه‌جویی می‌کنند. این نتایج درواقع مناسب بودن (کارآمدی) این سیستم‌ها را با وجود ظرفیت پایینشان نشان می‌دهد.

جدول «ت ۱۱» استفاده از این تکنولوژی را با لحاظ تعرفه‌های یارانه‌ای بخش انرژی به قدری غیراقتصادی نشان می‌دهد که مصرف‌کننده‌ها و مدارس را به هیچ‌وجه نسبت به به‌کارگیری آن‌ها تشویق نمی‌کند. این نتایج نشان می‌دهد که با سود یا پول حاصله از سرمایه‌گذاری حتی نمی‌توان هزینه‌های لازم برای سرمایهٔ ۲۵ سال را نیز تأمین کرد. بر همین اساس جریان گردش مالی و ارزش خالص کنونی هر دو منفی هستند، و طبعاً استفاده از این سیستم‌ها طبق تعرفهٔ متوسط یارانه‌ای به هیچ‌وجه مقرون به صرفه نیست. با سرمایه‌گذاری سیستم‌های

	گاز kwh/m 2	برق kwh/m 2	کل kwh/m 2
مصرف ممیزی‌شدهٔ ساختمان موجود	۹/۵۰	۵/۸	۴/۵۹
مصرف مدل شبیه‌سازی‌شده	۵/۴۷	۳/۹	۸/۵۶
ضریب مصرف (ممیزی/ مدل)	۰۷/۱	۹۱/۰	۰۴/۱





ت ۷ (راست، بالا). میزان مصرف انرژی برق و گاز بر اساس قبوض و مدل‌سازی انرژی در مدرسهٔ شمارهٔ ۱۰، مأخذ: نگارنده.
ت ۸ (راست، پایین). سهم مصرف انرژی در بخش‌های مختلف در مدرسهٔ شمارهٔ ۱۰، مأخذ: نگارنده.
ت ۹ (چپ). پرسپکتیو مدرسهٔ مدل‌سازی‌شده با پنل‌های فتوولتاییک در بام و نما، ۸۳٪ سطح قابل بهره‌برداری بام جهت نصب پنل استفاده شده است، مأخذ: نگارنده.

27. P. Alamdari & O. Nematollahi & A.A. Alemrajabi, "Solar Energy Potentials in Iran: A Review", p. 778.

www.SID.ir

Archive of SID

۵ کیلوواتی برای مدارس، به طور متوسط معادل ۶/۵۴۳میلیون ریال لازم است و در صورتی که این رقم را دولت پرداخت نکند، به طور متوسط حدود ۵/۹۸۴میلیون ریال سوددهی قابل پیش‌بینی است. دورهٔ بازپرداخت بین بازهٔ ۶/۴۶ تا ۵/۵۰ سال تحت تعرفهٔ متوسط یارانه خواهد بود که خود این زمان حدوداً معادل ۲برابر عمر مفید پنل‌های فتوولتاییک است.

در نمودارهای «ت ۱۲ و ۱۳» دید کلی و مقایسه‌ای از عملکرد اقتصادی پنل‌های فتوولتاییک در شرایط اعمال تعرفه‌های واقعی برق و یارانه‌ای نمایش داده شده است.

بررسی نتایج فوق و مقایسهٔ آن با سطح گستردهٔ پنل‌ها نشان می‌دهد که علاوه بر مواردی که از مطالعات قبلی نیز بدان اشاره گردید، اولاً افزایش مساحت پنل‌ها، بالأخص با فرض امکان بهره‌گیری بیشتر از تابش خورشید و تولید برق بیشتر، و ثانیاً استفاده از پنل‌های با ظرفیت بالاتر به صورت متمرکز و با آرایش تجمعی بیشتر، نظیر ترکیبات بیست‌تایی به جای ترکیب چهار واحد پنج‌تایی، نیز موجب افزایش بهره‌وری اقتصادی خواهد بود. به بیان دیگر، به خاطر شکل ترکیب‌بندی و طبعاً کاهش مداربندی‌ها لازم و اتصالات و مصالح و تجهیزات مصرفی نظیر اینورتر و کابل، مجموعه این قابلیت را خواهد داشت که با هزینهٔ اولیهٔ کمتری انرژی بیشتری تولید کند و بازدهی اقتصادی بیشتری داشته باشد. این امر چند نتیجه به‌همراه خواهد داشت، اولاً طبعاً راهکار معماری اصلی، که به ذهن متبادر خواهد شد، استفاده از این تجهیزات در حداکثر فضاهای قابل نصب، نظیر بام، دست‌اندازها، سایه‌بان‌ها، سطوح نما، و امثال آن، است. مطالعات اقتصادی اخیر نیز مؤید این امر است و نشان می‌دهد که ادغام این پنل‌ها با عناصر ساختمانی تأثیر قابل توجهی بر امکان‌پذیری اقتصادی این‌گونه پروژه‌ها دارد[۳۰]. بنا بر این، باید از مرحلهٔ طراحی ساختمان‌ها امکان سنجی این مهم به صورت جدی صورت پذیرد. البته نصب پنل در بام به دلایل مختلف، بالأخص امکان تنظیم زاویه، فارغ از جهت‌گیری بنا و نیز دسترسی لازم برای تعمیر و نگهداری، از دید بهره‌برداری و هزینه‌های مربوطه امکان بهتری فراهم خواهد ساخت. از سوی دیگر این بررسی نشان می‌دهد که تخصیص مساحت بیشتری از بام، بالأخص به مقداری حداقل برابر و یا بیش از سطح مورد نیاز برای تأمین انرژی مصرفی خود بنا، که با شاخص سطح پنل به نسبت سطح زیربنا بررسی گردیده است، افزایش توجیه‌پذیری را به‌همراه خواهد داشت. این شاخص در ترکیب با واحد برق تولیدی به نسبت سطحْ دورهٔ بازگشت سرمایه را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد و چنان‌که در «ت ۱۴» ملاحظه می گردد، افزایش سطح در نمونه‌های متمرکز تجمعی می‌تواند مشوق

28. L. El Chaar & L.A. Lamont, "Global Solar Radiation: Multiple on-site Assessments in Abu Dhabi, UAE", p. 1596.

ت ۱۰. عملکرد واقعی پنل‌های خورشیدی با در نظر گرفتن قیمت واقعی قیمت برق در صورت پرداخت نکردن یارانه، مأخذ: نگارنده.

منطقه‌ی مدرسه	شماره	تخمین مجموع انرژی برق تولید شده در ۲۵ سال (kWh)	درآمد تولیدشده توسط سرمایه‌گذار در طول ۲۵ سال	جریان خالص مالی (NCF)	ارزش خالص فعلی (NPV)	نرخ بازده	بازگشت سرمایه (ROI)
مدارس کاشان	۱	۲۰۴۲۵۱	۱۷۳۹۷۰	۱۵۳۲۰۲	۱۰۰۴۵۴	۵/۱۱	۹/۲
	۲	۲۱۳۱۸۷	۱۸۱۵۸۴	۱۶۰۸۷۷	۱۱۰۲۲۸	۵/۱۰	۲/۳
	۳	۱۹۰۴۰۴	۱۶۲۱۷۶	۱۴۱۴۰۴	۸۸۵۴۶	۴/۱۲	۷/۲
	۴	۱۱۴۷۲۲	۹۷۷۱۵	۸۱۷۳۱	۵۰۱۲۶	۳/۱۲	۶/۲
	۵	۲۰۳۶۲۱	۱۷۳۴۳۴	۱۵۲۶۶۵	۹۹۹۹۰	۵/۱۱	۹/۲
	۶	۲۰۳۰۵۸	۱۷۲۹۵۵	۱۵۲۱۸۶	۹۹۴۵۴	۶/۱۱	۹/۲
	۷	۱۹۳۰۰۱	۱۶۴۳۹۰	۱۴۳۶۱۸	۹۰۸۴۲	۱/۱۲	۷/۲
	۸	۱۹۶۶۹۶	۱۶۷۵۳۷	۱۴۶۷۶۱	۹۳۸۴۱	۱۲	۸/۲
	۹	۲۰۱۴۸۶	۱۷۱۶۱۶	۱۵۰۸۴۴	۹۸۰۱۷	۷/۱۱	۹/۲
	۱۰	۲۱۳۶۵۷	۱۸۱۹۸۴	۱۶۱۲۱۵	۱۰۸۵۴۰	۱۱	۱/۳
	۱۱	۱۹۷۱۳۱	۱۶۷۹۰۸	۱۴۷۱۳۶	۹۴۲۸۸	۹/۱۱	۸/۲
	۱۲	۲۰۵۸۶۷	۱۷۵۳۴۹	۱۵۴۵۷۷	۱۰۱۷۸۳	۴/۱۱	۹/۲
مدارس آران و بیدگل	۱۳	۱۶۳۰۷۵	۱۳۸۸۹۹	۱۱۸۷۶۰	۷۶۶۱۹	۵/۱۱	۸/۲
	۱۴	۱۹۲۰۶۵	۱۶۳۵۹۱	۱۴۲۸۱۹	۸۹۹۷۸	۲/۱۲	۷/۲
	۱۵	۱۹۴۴۵۳	۱۶۵۶۲۵	۱۴۴۸۵۳	۹۲۰۷۰	۱/۱۲	۷/۲
	۱۶	۲۱۶۲۴۸	۱۸۴۱۹۰	۱۶۳۴۲۲	۱۱۰۷۴۷	۸/۱۰	۱/۳
	۱۷	۱۶۴۴۹۲	۱۴۰۱۰۸	۱۱۹۹۷۴	۷۷۸۶۸	۴/۱۱	۸/۲

www.SID.ir

Archive of SID

مناسبی برای توسعهٔ این فناوری باشد.

محصول این بخش از مطالعه نشان می‌دهد که، اولاً از بعد اقتصادی بهره‌وری سیستم کلکتور خورشیدی و تولید آب گرم مصرفی، حداقل به صورت ترکیب[۳۱] با سیستم تأسیسات گرمایشی و آب گرم مصرفی بنا، بیش از سیستم سلول‌های خورشیدی است، پس می‌توان به‌موازات نتایج این مقاله به اهمیت بهره‌گیری از سیستم‌های با فناوری پایین[۳۲] در وجه اقتصادی بهینه‌سازی انرژی تأکید کرد. به‌علاوه به صوت میانگین حدود ۷۴٪ از سطح بام متوسط قابل دسترس برای فروش برق مازاد در حالت پیک مصرف مدرسه نشان می‌دهد که با افزایش سرمایه‌گذاری اولیه و پوشش سطح، با استفاده از این سلول‌ها، روش توجیه‌پذیر خواهد بود.

همچنین با بررسی مقدار برق تولیدی در دو حالت مختلف «بام» و «بام و نما» به ترتیب با ۳۲٪ و ۳۹٪ کاهش شاخص هزینهٔ تولید هر کیلووات برق در واحد سطح، شامل همهٔ هزینه‌های پیش‌گفته مواجه است که از منظر بازگشت سرمایه هر دو مورد را در شرایط فعلی غیر اقتصادی و دورهٔ بازگشت سرمایه را بیش از ۲ تا ۲/۵برابر عمر مفید پنل‌ها خواهد کرد. مضافاً این مقدار کاهش در بهترین حالت زاویهٔ مناسب تابش و به شرط نبود سایه و موانع نظیر آن است. گرچه برخلاف مورد بام، در نما افزایش سطح تأثیر چندانی بر تغییر توجیه‌پذیری اقتصادی استفاده از پنل‌های خورشیدی نخواهد داشت. از آنجا که با بررسی محاسبات هزینه فایدهٔ ترکیبات فوق صرفاً ترکیب بام را تأیید می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که کاربری‌هایی که در برنامه‌ریزی و طراحی معماری نسبت بالاتری از «حاصل ضرب قیمت برق مصرفی نوع کاربری در سطح قابل بهره‌برداری بام» تقسیم بر «سطح ناخالص مجموع کاربری‌های زیربنا ضربدر مقدار برق مصرفی نوع کاربری واحد سطح» هستند، بهره‌وری اقتصادی بهتری خواهند داشت. به این دلیل می‌توان دریافت کاربری تجاری، که عموماً سطوح گستردهٔ بام و قیمت برق مصرفی قابل توجه (در حدود ۴۹۵۰ ریال در برابر ۳۹۶ ریال برق مصرفی مدرسه، و ۵۰۰ ریال برق مصرفی مسکونی، و ۲۰۰۰ ریال برق مصرفی اداری) است، پتانسیل بیشتری برای بهره‌گیری از این نوع سلول‌های خورشیدی دارد. در این حالت و با توجه به نوع و مقدار متوسط مصرف و نیز شرایط معمولِ این نوع کاربری‌ها (وقوع در طبقات تجاری معمول یک زیرزمین، همکف، و طبقهٔ مثبت یک، به‌علاوهٔ پارکینگ‌ها) دورهٔ بازگشت تقریبی بین ۶ تا ۱۲ سال است که گرچه از فناوری‌های ارزان‌قیمت شناخته نمی‌شود، اما زمان منطقی آن توجیه‌پذیر خواهد بود. در درجهٔ بعد می‌توان ساختمان‌های اداری با تراکم پایین (کوتاه‌مرتبه) را

ت ۱۱. عملکرد پنل‌های خورشیدی با در نظر گرفتن قیمت برق در صورت پرداخت یارانه، مأخذ: نگارنده.

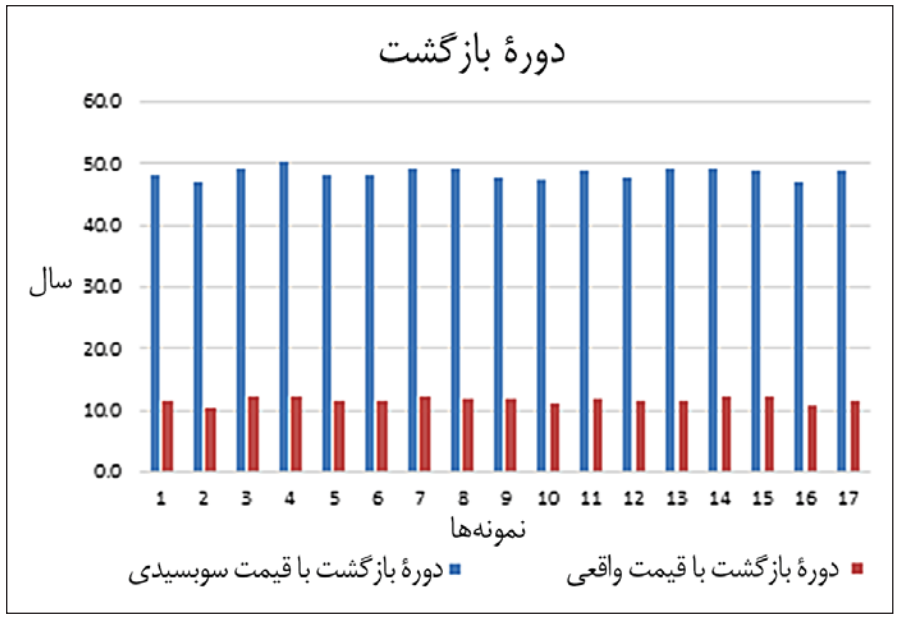
منطقهٔ مدرسه	شماره	تخمین مجموع انرژی برق تولیدشده در ۲۵ سال (kWh)	درآمد تولیدشده توسط سرمایه‌گذاری در طول ۲۵ سال	جریان خالص مالی (NCF)	ارزش خالص فعلی (NPV)	نرخ بازده
مدارس کاشان	۱	۴۵۲۸	۲۰۷۶۸	۴۴۶۸-	۵۷۲۱۵-	۰/۴۸
	۲	۴۷۲۶	۲۰۷۰۷	۳۶۹۴-	۵۴۳۴۲-	۹/۴۶
	۳	۴۲۲۱	۲۰۷۷۲	۵۵۷۶-	۵۸۴۳۵-	۲/۴۹
	۴	۲۵۴۳	۱۵۹۸۴	۶۸۲۹-	۳۸۴۳۴-	۵/۵۰
	۵	۴۵۱۴	۲۰۷۶۸	۴۵۱۸-	۵۷۱۹۳-	۲/۴۸
	۶	۴۵۰۱	۲۰۷۶۸	۴۵۶۵-	۵۷۲۹۸-	۲/۴۸
	۷	۴۲۷۹	۲۰۷۷۲	۵۳۶۸-	۵۸۱۴۴-	۱/۴۹
	۸	۴۳۶۰	۲۰۷۷۶	۵۰۸۰-	۵۸۰۰۰-	۲/۴۹
	۹	۴۴۶۷	۲۰۷۷۲	۴۶۹۱-	۵۷۵۱۷-	۸/۴۷
	۱۰	۴۷۳۶	۲۰۷۶۸	۳۷۱۹-	۵۶۳۹۴-	۳/۴۷
	۱۱	۴۳۷۰	۲۰۷۷۲	۵۰۴۰-	۵۷۸۸۸-	۷/۴۸
	۱۲	۴۵۶۴	۲۰۷۷۲	۴۳۴۲-	۵۷۱۳۶-	۹/۴۷
مدارس آران و بیدگل	۱۳	۳۶۱۵	۲۰۱۳۸	۷۱۲۴-	۴۹۲۶۶-	۱/۴۹
	۱۴	۴۲۵۸	۲۰۷۷۲	۵۴۴۳-	۵۸۲۸۴-	۲/۴۹
	۱۵	۴۳۱۱	۲۰۷۷۲	۵۲۵۲-	۵۸۰۳۶-	۹/۴۸
	۱۶	۴۷۹۴	۲۰۷۶۸	۳۵۱۰-	۵۶۱۸۵-	۱/۴۷
	۱۷	۳۶۴۶	۲۰۱۳۵	۷۰۰۹-	۴۹۱۱۵-	۹/۴۸

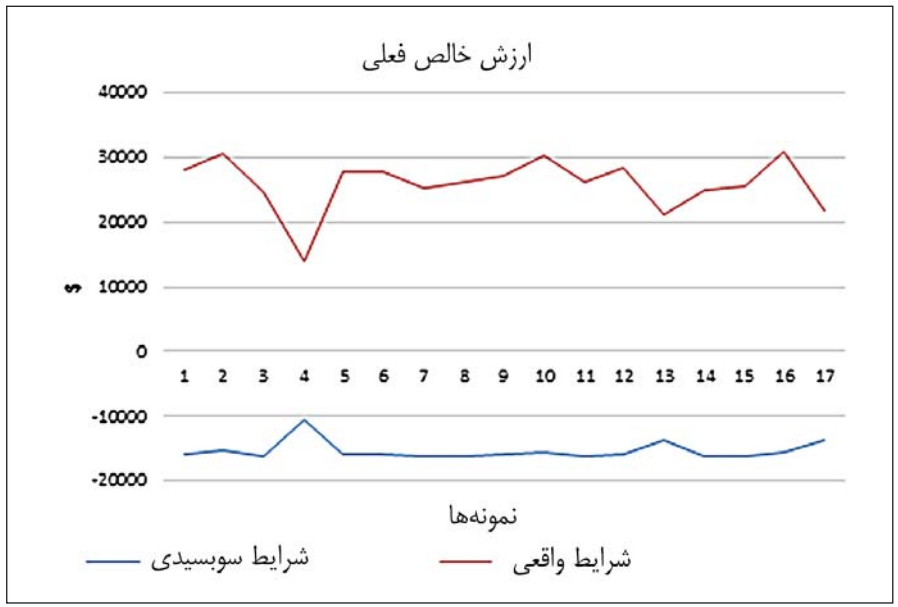
29. http://www.chaharmahalmet.ir/stat/archive/iran/esf/KASHAN/38.asp

www.SID.ir

Archive of SID

با دورهٔ بازگشت قریب به ۲۰ تا ۲۸ سال و سپس ساختمان‌های مسکونی کم‌ارتفاع با دورهٔ بازگشت ۴ تا ۶ سال بیشتر بررسی





کرد. ساختمان‌های درمانی، فرهنگی، و آموزشی در مرحلهٔ بعد و از بُعد ترغیب سرمایه‌گذار توجیه‌ناپذیر هستند. باید توجه داشت که با توجه به افت و نیز هزینه‌های انتقال و همچنین با توجه به قیمت خرید برق در صورت اتصال به شبکه سراسری، در حال حاضر تنها کاربری تجاری در مجموعه‌های تجاری گسترده منطقی و قابل توصیه و سرمایه‌گذاری است.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج به‌دست‌آمده به‌وضوح نشان می‌دهد که سیاست‌های جاری یارانه‌ای کشور در بخش انرژی تأثیر مستقیم منفی زیادی در ترویج و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، بخصوص انرژی خورشیدی، دارد. پشتیبانی‌های منطقه‌ای یا استانی می‌تواند نقش بسزایی در توسعهٔ این سیستم‌ها داشته باشد، لیکن با توجه به ساختار سیاسی و برنامه‌ریزی کشور و نیز از آنجایی که هزینهٔ اولیهٔ خرید و نصب پنل‌های خورشیدی بالا است و مانع جانشینی این انرژی پاک با برق حاصل از سوخت‌های فسیلی توسط مصرف‌کنندگان می‌شود، نمی‌توان استفاده از این سیستم را در سطح کشور صرفاً با اجرای سیاست‌های حمایتی جزئی منطقه‌ای توسعه داد.

دولت باید برای توسعهٔ این پنل‌ها از سیاست‌هایی، مانند تجدید نظر در تعرفه‌های تزریقی، طرح توسعهٔ ملی، و تخصیص بودجه برای انرژی‌های الکتریکی تجدیدپذیر، حمایت کند. هدفمند کردن یارانهٔ بخش صنعت برق و گسیل بودجه‌های ملی به سیاست‌های پشتوانه‌ای برای توسعهٔ شبکهٔ متصل و جامع انرژی خورشیدی، علاوه بر واگذاری مدیریت انرژی به مصرف کنندگان، می‌تواند از هدر رفتن سرمایهٔ کشور در پرداخت یارانهٔ غیر ضرور برق و اسراف در منابع ملی نیز جلوگیری کند. نکتهٔ حایز اهمیت این است که دولت درواقع در بخش انرژی در چند مرحله به صورت پنهان و آشکار در حال پرداخت این یارانهٔ غیر ضرور است: نخست در پرداخت یارانهٔ مستقیم و آشکار به قیمت

www.SID.ir

Archive of SID

و تعرفهٔ برق و همچنین در تهیهٔ خوراک نیروگاه‌ها از مرحلهٔ استخراج گاز و انرژی‌های فسیلی تا توزیع و تبدیل در شبکهٔ داخلی، که کمتر به آن توجه می‌شود. به این ترتیب برای توجیه اقتصادی این پنل‌ها و به منظور رقابت با منابع تولید برق رایج در کشور، سیاست‌هایی که در ادامه به آن‌ها اشاره خواهد شد اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد:

ـ در سال ۱۳۹۰ اصلاحاتی در قیمت انرژی در ایران ایجاد شد که به طرح هدفمندی یارانه‌ها معروف شد، هدف از این اصلاحات مدیریت مصرف انرژی بود. با این حال مقرر شد تا بخشی از درآمد حاصل از از یارانه‌های حذف‌شده به صورت نقدی به خانوار پرداخت شود. در حالی که بخشی از این درآمد را می‌توان به وام‌های کم‌بهره برای خرید و نصب پنل‌های فتوولتاییک و همچنین کمک‌های مالی برای تولید این پنل‌ها و افزایش دانش و آگاهی عمومی اختصاص داد.

ـ برای دستیابی به قیمت واقعی استفاده از این سیستم‌ها باید یارانهٔ تعریف‌شده برای سوخت‌های فسیلی و الکتریکی به طور تدریجی کم شود[۳۳]، چرا که یارانهٔ این سوخت‌ها می‌تواند مانعی برای اجرا و توسعهٔ این پنل‌های به حساب آید. علاوه بر این، بار مالی سنگین این یارانه‌ها عمدتاً از دوش دولت برداشته خواهد شد.

ـ از دیگر فرصت‌ها می‌تواند معافیت مالیاتی خرید انرژی‌های پاک (برق غیر سوختی) باشد تا موجب بهره‌گیری بیشتری از عملکرد و نگهداری نیروگاه‌های برق شود و همچنین می‌توان معافیت مالیاتی برای تولیدکنندگان سیستم‌های پنل‌های خورشیدی در نظر گرفت.

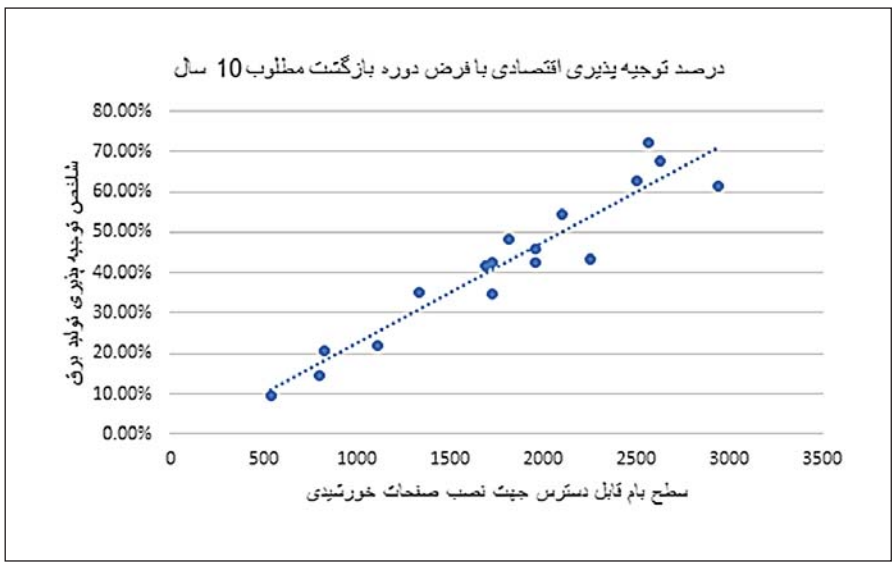
ـ تغییرات ساختاری اساسی باید صورت گیرد تا بخش خصوصی بتواند نقش بسزایی در این قسمت از اقتصاد داشته باشد، چرا که بازار انرژی به طور کامل از سوی بخش‌های عمومی (دولتی و نیمه‌دولتی) کنترل می‌شود. اگر برق حاصل از سوخت فسیلی را بخش خصوصی عرضه کند، دولت می‌تواند بر اساس آلودگی حاصل از آزاد شدن کربن دی اکسید توسط سوخت‌های فسیلی بابت آن‌ها مالیات دریافت کند.

ـ یکی از راه حل‌های پرسود به نظر نصب و اجرای سیستم‌های فتوولتاییک در ابعاد بزرگ (مزرعهٔ پنل‌های خورشیدی) در بخش‌های کویری ایران است که ساعات تابش خورشید زیادی دارند و می‌توان از این فرصت استفاده کرد تا دورهٔ بازپرداخت این سیستم به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد. البته لازم به ذکر است که هزینهٔ انتقال برق بسیار بالا است و وجود شبکهٔ از پیش ساخته‌شدهٔ زیرساختی حیاتی به حساب می‌آید و در موقعیت قرارگیری این نیروگاه‌های خورشیدی موسوم به مزرعه‌های فتوولتاییک تأثیرگذار خواهد بود.

ـ مطالعات قبلی نشان می‌دهد که ادغام این پنل‌ها با عناصر ساختمانی دیگر می‌تواند امکان‌سنجی اقتصادی این‌گونه پروژه‌ها را به میزان قابل توجهی افزایش دهد.[۳۴] لیکن این مطالعه نشان داده است که لحاظ هزینهٔ تعمیر و نگهداری و دسترسی مناسب برای تعویض، تمیز کردن سطح از گردوغبار، و نظایر آن می‌تواند این معادله را تحت تأثیر قرار دهد.

30. R. Bridle & L. Kitson, *The Impact of Fossil-fuel Subsidies on Renewable Electricity Generation*, p. 29; A.G. Hestnes, "Building Integration of Solar Energy Systems", p. 181.
31. coupling

ت ۱۲ (صفحهٔ روبه‌رو، بالا). ارزش خالص فعلی حاصل از پنل‌های خورشیدی، مأخذ: نگارنده.
ت ۱۳ (صفحهٔ روبه‌رو، پایین). نرخ بازده حاصل از پنل‌های خورشیدی، مأخذ: نگارنده.
ت ۱۴. درصد توجیه‌پذیری اقتصادی با فرض دورهٔ بازگشت مطلوب ۱۰ سال، مأخذ: نگارنده.



www.SID.ir

Archive of SID

برای برداشتن موانع استفاده از انرژی‌های پاک و به منظور استفاده از فرصت‌های اقتصادی و زیست‌محیطی متعددی که این پنل‌ها موجب آن‌ها می‌شوند، دولت باید سیاست‌هایی مشابه موارد فوق را بلافاصله در نظر بگیرد. برای سیاست‌گذارانی که علاقه‌مند به کاهش انتشار کربن یا گازهای گلخانه‌ای معادل و وابستگی به برق حاصل از سوخت‌های فسیلی هستند، گسترش این پنل‌های فتوولتاییک می‌تواند راه‌حل بسیار مناسبی باشد. همچنین سرمایه‌گذاری بر روی این پنل‌های می‌تواند فرصت‌های شغلی جدیدی ایجاد کند که درنهایت منجر به شرایط اقتصادی بهتری برای کشور خواهند شد.

با توجه به توصیه‌هایی که برای کاهش مصرف برق و آلودگی هوا می‌شود و همچنین بهره‌وری دستگاه‌های الکتریکی و عایق‌ها، مصرف انرژی و بهره‌وری انرژی در مدارس نیز باید از نزدیک بررسی شود و بهبود یابد. به‌علاوه توصیه می‌شود که سرمایه‌گذاری‌های آتی فقط در بالابردن بازده نیروگاه‌های برق موجود متمرکز باشد تا مشکلات فنی حذف و تلفات انتقال برق کاهش یابد. با این سیاست‌ها هزینهٔ تولید یک کیلووات برق کاهش می‌یابد و فاصلهٔ بین قیمت‌های پرداخت‌شده از سوی مصرف‌کننده‌ها و قیمت‌های واقعی نیز کم می‌شود. اگر سرمایه‌گذاری در پرداخت وام به مصرف‌کنندگان معطوف شود، هم سرمایه در یک دورهٔ مشخص وام بازپرداخت می‌شود و هم می‌توان به صورت گام به گام و مؤثر به سمت توسعهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر حرکت کرد. ذکر این نکته ضروری است که، در آیندهٔ نه‌چندان دور، توسعهٔ انرژی‌های سبز، با توجه به عزم جهانی، معاهدات بین‌المللی، و تعهدات کشورایران در این چارچوب اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. به طور مثال، موافقت‌نامهٔ پاریس، که دولت ایران در سال ۲۰۱۶ امضا کرده، به طور خاص کشورهای امضاکننده را متعهد کرده که در انتشار گازهای گلخانه‌ای اهتمام ویژه‌ای بورزند که توسعهٔ بخش انرژی‌های نو و تجدیدپذیر در این بخش یکی از مؤثرترین و مهم‌ترین گزینه‌ها خواهد بود[۳۵]. درنتیجه با اصلاحات و تمهیدات محتمل و قریب الوقوع در قوانین و سیاست‌های موجود کشوردر بخش انرژی و با در نظر گرفتن مطالعهٔ موردی در این مقاله، انتظار می‌رود که استفاده از صفحه‌های خورشیدی از گزینه‌ای بدون صرفهٔ اقتصادی به گزینه‌ای کارآمد، بهره‌ور، و اجرایی تبدیل شود. بنا بر این بسیار اهمیت دارد که قابلیت استفاده از این تکنولوژی در طراحی ساختمان‌ها از هم اکنون مورد توجه باشد.

از آنجایی که تعرفهٔ برق برای مدارس دولتی کمتر از ساختمان‌های مسکونی، تجاری، و واحدهای صنعتی است، به نظر می‌رسد که استفاده از سیستم فتوولتاییک در این کاربری از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست. بنا بر این اگر سیاست‌های کلان کشور اجرای این پنل‌ها را در بخش دولتی توجیه کنند، استفاده از آن‌ها در سایر کاربری‌ها نیز منطقی‌تر به نظر خواهند رسید. در این بخش پس از تشریح شرایط اقلیمی بستر مطالعه، نمونه‌های مورد بررسی معرفی و روش تحلیل آن‌ها بیان شده است.

32. low tech
33. Fanney & Dougherty & Davis, ibid.
34. Hestnes, ibid, p. 186.
35. http://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris/index_en.htm

منابع و مآخذ

Abbaspour, M. & P. Hennicke. *Climate Policy and Sustainable Development: Opportunities for Iranian-German Cooperation, Case Study: Solar Thermal Energy in Iran*, Teheran: Center for Environment and Energy Research and Studies, Data report, 2005.

Alamdari, P. & O. Nematollahi & A.A. Alemrajabi. "Solar Energy Potentials in Iran: A Review", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21 (2013), pp. 778-788.

Al-Salaymeh, A., et al. "Technical and Economical

www.SID.ir

Archive of SID

in *Journal of Solar Energy Engineering*, 123 (3) (2001), pp. 187-193.

Feldman, D. *Photovoltaic (PV) Pricing Trends: Historical, Recent, and Near-term Projections*, Sunshot, US. Department of Energy, 2014.

Fthenakis, V.M. & H.C. Kim & E. Alsema. "Emissions from Photovoltaic Life Cycles", in *Environmental Science & Technology*, 42(6) (2008), pp. 2168-2174.

Global Horizontal Irradiation (GHI) for Iran. *Solargis* [image], 2016 Available at: http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/iran [Accessed 19 Nov. 2016].

Hestnes, A.G. "Building Integration of Solar Energy Systems", in *Solar Energy*, 67(4) (1999), pp. 181-187.

Hsu, C.-W. "Using a System Dynamics Model to Assess the Effects of Capital Subsidies and Feed-in Tariffs on Solar PV Installations", in *Applied Energy*, 100 (2012), pp. 205-217.

Ikedi, C., et al. "Impact Assessment for Building Integrated Photovoltaic (BIPV)", in Proceedings 26th Annual ARCOM Conference. 2010.

Kandt, A. *Solar for Schools: A Case Study in Identifying and Implementing Solar Photovoltaic (PV) Projects in Three California School Districts*, National Renewable Energy Laboratory, Preprint 2011.

Kannan, R., et al. "Life Cycle Assessment Study of Solar PV Systems: an Example of a 2.7 kW p Distributed Solar PV System in Singapore", in *Solar Energy*, 80(5) (2006), pp. 555-563.

Kazemi, H. & A. Zahedi. "Wind and Solar Energy Developments in Iran", in Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), Melbourne, Australia, 2002.

Kim, H., et al. "Life Cycle Assessment of Cadmium Telluride Photovoltaic (CdTe PV) Systems", in *Solar Energy*, 103 (2014), pp. 78-88.

Liebreich, Michael. *Bloomberg New Energy Finance Summit*, 2015.

Liu, X., et al. "Life Cycle Climate Impacts and Economic Performance of Commercial-scale Solar PV Systems: A Assessment of the Utilization of Photovoltaic Systems in Residential Buildings: The Case of Jordan", in *Energy Conversion and Management*, 51(8) (2010), pp. 1719-1726.

Bernal-Agustín, J.L. & R. Dufo-López. "Economical and Environmental Analysis of Grid Connected Photovoltaic Systems in Spain", in *Renewable Energy*, 31(8) (2006), pp. 1107-1128.

Branker, K. & M. Pathak & J.M. Pearce. "A Review of Solar Photovoltaic Levelized Cost of Electricity", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9) (2011), pp. 4470-4482.

Bridle, R. & L. Kitson, *The Impact of Fossil-fuel Subsidies on Renewable Electricity Generation,* International Institute for Sustainable Development, in http:// www. iisd. org/ gsi/ sites/ default/ files/ ffs_ rens_ impacts. pdf. Accessed in 2014.

Chaharmahal Weather Station Website. Retrieved from http://www.chaharmahalmet.ir/stat/archive/iran/esf/KASHAN/38.asp.

Coughlin, J. & A. Kandt. "Solar Schools Assessment and Implementation Project: Financing Options for Solar Installations on K–12 Schools", in *Contract*, 303 (2011), pp. 275-300.

Curthoys, A. *Solar Energy Generation Potential of Tompkins County*, Ithaca, 2012.

Demiroren, A. & U. Yilmaz. "Analysis of Change in Electric Energy Cost with Using Renewable Energy Sources in Gökceada, Turkey: An Island Example", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1) (2010), pp. 323-333.

El Chaar, L. & L.A. Lamont, "Global Solar Radiation: Multiple on-site Assessments in Abu Dhabi, UAE", in *Renewable Energy*, 35(7) (2010), pp. 1596-1601.

Enabling PV Iran: The Emerging PV Market in Iran, German Solar Association – BSW-Solar, Berlin, Germany, 2016.

European Commission. *Climate Action*, 2015 [Online] Available at: http://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris/index_en.htm [Accessed 10 Nov. 2016].

Fanney, A.H. & B.P. Dougherty & M.W. Davis. "Measured Performance of Building Integrated Photovoltaic Panels",

www.SID.ir

Archive of SID

connected PV Systems Installed in Multi-storey Buildings", in *Applied Energy*, 113 (2014), pp. 955-969.

Pillai, G.G., et al. "Near-term Economic Benefits from Grid-connected Residential PV (photovoltaic) Systems", in *Energy*, 68 (2014), pp. 832-843.

Ren, H. & W. Gao & Y. Ruan. "Economic Optimization and Sensitivity Analysis of Photovoltaic System in Residential Buildings", in *Renewable Energy*, 34(3) (2009), pp. 883-889.

Rose, A.M. *Prospects for Grid-connected Solar PV in Kenya*, Massachusetts Institute of Technology, 2013.

Zahedi, A. "A Review on Feed-in Tariff in Australia, What it is now and what it should be. Renewable and Sustainable Energy Reviews", 14(9) (2010), pp. 3252-3255.

Study of PV Systems at Nevada's Desert Research Institute (DRI)", in *Solar Energy*, 119 (2015), pp. 561-572.

Mondol, J.D. & Y.G. Yohanis & B. Norton. "The Impact of Array Inclination and Orientation on the Performance of a Grid-connected Photovoltaic System", in *Renewable Energy*, 32(1) (2007), pp. 118-140.

Moshiri, S. "Energy Price Reform and Energy Efficiency in Iran", in *IAEE Energy Forum*, 2013.

Oliver, M. & T. Jackson. "Energy and Economic Evaluation of Building-integrated Photovoltaics", in *Energy*, 26(4) (2001), pp. 431-439.

Orioli, A. & A. Di Gangi. "Review of the Energy and Economic Parameters Involved in the Effectiveness of Grid-

www.SID.ir