سال چهارم ، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۶، ص ص۹-۱۸
فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو
www.jrenew.ir
مقاله
تاریخ دریافت: ۹۶/۰۶/۲۴
تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۱۰

مروری بر مهم‌ترین فناوری‌های مدیریت تولید برق از انرژی خورشیدی و ارزیابی اقتصادی آنها با تأکید بر سیستم‌های فتوولتائیک و اهداف توسعه پایدار

نگین ناصح[۱*]، محمد کامرانی‌فر[۲]، علیرضا بیرامی[۳]

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تهران، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، بیرجند، ایران

۳- کارشناس ارشد مدیریت اجرایی، گرایش مدیریت استراتژیک، تهران، ایران

Negin_Nasseh@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: با به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر، همچون انرژی خورشیدی در تولید برق به جای سوخت‌های فسیلی، علاوه بر صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌توان از انتشار گازهای گلخانه‌ای جلوگیری کرده و موجب عرضهٔ پایدار انرژی در کشور شد. چرا که منابع انرژی از مهمترین عناصر در توسعه پایدار است. هدف از این پژوهش، بررسی مهم‌ترین فناوری‌های تولید برق از انرژی خورشیدی و ارزیابی اقتصادی آنها با تأکید بر سیستم‌های فتوولتائیک و اهداف توسعه پایدار می‌باشد.

روش بررسی: تحقیق حاضر به صورت مروری بوده و بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای، تحلیل و جمع‌بندی اطلاعات و منابع تنظیم شده است.

یافته‌ها: فناوری‌های تولید الکتریسیته از خورشید به سه دسته فتوولتائیک، متمرکزکننده گرمایش خورشیدی و فناوری‌های نوظهور، شامل حوضچه‌ها و تنوره خورشیدی تقسیم می‌شوند. در میان این سه دسته، فناوری فتوولتائیک که بر اساس تبدیل نور خورشید به الکتریسیته عمل می‌کند، بیشترین رشد را داشته و امروزه کشورهای زیادی از آن استفاده می‌کنند. اهمیت استفاده از تکنولوژی فتوولتائیک، تولید برق مستقیما، و بدون بهره‌گیری از مکانیسم‌های متحرک و شیمیایی، می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری: اگر انرژی به نحوی تولید و مصرف شود که توسعه انسانی را در بلندمدت در تمامی ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی تامین نماید، مفهوم انرژی پایدار تحقق خواهد یافت، لذا تامین انرژی پایدار ضرورت توسعه پایدار است. محاسبهٔ شاخص‌های ارزیابی اقتصادی حاکی از آن است که در شرایط عدم پرداخت یارانه از طرف دولت بهره‌گیری از انرژی خورشید برای تولید برق، صرفهٔ اقتصادی نداشته که در چنین شرایطی پرداخت یارانه برای دستیابی به ارزش خالص مثبت، تنها راه‌حل است.

کلیدواژگان: برق، انرژی خورشیدی، ارزیابی اقتصادی، فتوولتائیک، توسعه پایدار

An Overview of the Most Important Management Technologies to Generate Electricity from Solar Energy and Economic Evaluation with Emphasis on Photovoltaic Systems and Sustainable Development Goals

Negin Nasseh[1*], Mohammad Kamrani far[2], AliReza Beirami[3]

1- (*corresponding author*) Young Researchers and Elites club, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- MSc Student of Environmental Health Engineering, Student Research Committee, Faculty of Health, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran

3- Master of Executive Management, Strategic Management Orientation, Tehran, Iran

* *Negin_Nasseh@yahoo.com*

Abstract

Subjects and goals: Using renewable energies such as solar energy instead of fossil fuels in electricity generation, in addition to saving costs, we can prevent greenhouse gas emissions and contribute to sustainable energy supply in the country, because the energy resources are of the most important elements for sustainable development. The purpose of this study was investigation of the most important technologies for electricity generation from solar energy, and economic evaluation with emphasis on photovoltaic systems and sustainable development goals.

Methodology: this is a review-based study, set based on library studies, analysis and integration of information and resources.

Findings: Technologies for generating electricity from the sun are divided into three categories: photovoltaic, solar thermal concentrators and emerging technologies, including solar chimney and ponds. Among the three categories, photovoltaic technology, which acts based on sunlight conversion into electricity, has the highest growth; and many countries are recently using it. The importance of the use of photovoltaic technology is electricity generation directly and without the use of moving and chemical mechanisms.

Conclusion: If energy is produced and consumed in a way that long-term human development is provided in all economic, social and ecological aspects, sustainable energy concept will be realized, therefore, sustainable energy supply is the necessity of sustainable development. Calculation of indicators of economic evaluation suggests that in the absence of subsidies from the government, utilizing solar energy to generate electricity is not economic; in such circumstances, the only solution is the payment of subsidies to achieve positive net worth.

Keywords: Electricity, Solar energy, Economic evaluation, Photovoltaic, Sustainable development.

۱- مقدمه

بحران انرژی در زندگی امروز موضوعی بسیار مهم و حیاتی است. رشد روز افزون نیاز به انرژی و پایان‌پذیری سوختهای فسیلی از یک سو و افزایش آلودگیهای زیست محیطی از سوی دیگر، محرکی شده است که محققان و سرمایه‌گذاران در بخش انرژی، به سمت مهار و تامین انرژی از منابع تجدیدپذیر جذب شوند. با توجه به پتانسیل بالای تابش در مناطق وسیعی از کشور، از میان این منابع، انرژی خورشیدی دارای جذابیت بیشتری است. در یک طبقه‌بندی ساده، فناوریهای تولید الکتریسیته از خورشید به سه دسته فتوولتائیک، متمرکزکننده گرمایش خورشیدی و فناوریهای نوظهور، شامل حوضچه‌ها و تنوره خورشیدی تقسیم می‌شوند. در میان این سه دسته، فناوری فتوولتائیک که بر اساس تبدیل نور خورشید به الکتریسیته عمل می‌کند، بیشترین رشد را داشته و امروز کشورهای زیادی از آن در قالب متصل به شبکه و مستقل از شبکه استفاده می‌کنند. در میان دو دسته دیگر نیز فناوری گرمایش خورشیدی، به‌ویژه روش سهموی خطی گسترش بیشتری یافته است. همچنین، تحلیل آماری بزرگترین نیروگاههای احداث شده با فناوریهای فتوولتائیک و گرمایشی نشان از برتری چشم‌گیر فناوری فتوولتائیک از بعد هزینه احداث و سطح زمین اشغال شده، و نیز انعطاف‌پذیری نصب و راه‌اندازی در میان انواع فناوریهای خورشیدی دارد.

در چشم انداز سبد انرژی جهانی، نقش انرژی‌های تجدیدپذیر جهان روز به روز پر رنگترخواهد بود و این امر یکی از عواملی است که سبب می‌شود سبد انرژی جهانی، به سمت تنوع و استفاده بیش تر از منابع انرژی بومی حرکت کند. در این راستا، اتحادیه اروپا در ۲۳ ژانویه سال ۲۰۰۸ طرحی را به تصویب رساند که بر مبنای آن، سهم این انرژ یها در افق ۲۰۲۰ در سبد میانگین کشورهای عضو این اتحادیه به ۲۰ درصد برسد [۱].

برای تبدیل پرتوهای خورشیدی به الکتریسیته دو گزینه اصلی وجود دارد: ۱) استفاده از سامانه‌های فتوولتائیک و ۲) استفاده از سامانه‌های جذب گرمایش خورشیدی. در روش فتوولتائیک پرتوهای خورشیدی به‌طور مستقیم توسط نیم‌رساناها به الکتریسیته تبدیل می‌شود. همچنین در روش گرمایشی، توان الکتریکی از طریق فرآیندهای ترمودینامیکی و با کمک تجهیزات مبدل گرما به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود. روشهای گرمایشی معمولا به دو دسته متمرکزکننده و غیرمتمرکزکننده گرمای خورشید تقسیم می‌شوند که دسته دوم هنوز در مراحل تحقیق و توسعه قرار دارد. از بین دو فناوری فتوولتائیک و گرمایش خورشیدی، سرمایه‌گذاریها در حوزه فتوولتائیک بسیار بیشتر بوده است. البته، در سالهای اخیر پیشرفتهایی نیز در حوزه تأمین برق از انرژی گرمایی خورشید صورت گرفته است. با این حال، در بین تمام روشهای تولید الکتریسیته از منابع تجدیدپذیر، روش خورشیدی فتوولتائیک ساده‌ترین و ظریفترین روش بشمار می‌رود [۲].

براساس گزارش برانت لند[1] " توسعه پایدار[2] " عبارت است از توسعه‌ای که نیازهای کنونی جهان را تامین کند، بدون اینکه توانایی نسلهای آتی را دربرآوردن نیازهای خود به مخاطره افکند و این توسعه پایدار رابطه متقابل انسانها و طبیعت سراسر جهان است. فرایند توسعه پایدار به گونه‌ای طراحی می‌شود که توسعه اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را تداوم می‌بخشد.

از مهمترین عناصر که در توسعه پایدار موثر است، منابع انرژی است. داشتن انرژی مناسب عمده‌ترین عامل اقتصادی جوامع صنعتی پس از نیروی انسانی است چرا که انرژی یک نیاز اساسی برای استمرار توسعه اقتصادی، رفاه اجتماعی، بهبود کیفیت زندگی و امنیت جامعه می‌باشد. اگر انرژی به نحوی تولید و مصرف شود که توسعه انسانی را در بلندمدت در تمامی ابعاد اقتصادی اجتماعی و زیست‌محیطی تامین نماید، مفهوم انرژی پایدار تحقق خواهد یافت، لذا تامین انرژی پایدار ضرورت توسعه پایداراست. به همین دلایل درسالهای اخیر کشورهای مختلف اعم از پیشرفته و درحال توسعه توجه فزاینده‌ای به انر تجدیدپذیر (انرژی خورشید، انرژی باد، ژئوترمال و...) جهت ایجاد تنوع استفاده از منابع انرژی و کاهش وابستگی به یک حامل انرژی و ملاحظ زیست‌محیطی برای دستیابی به انرژی پایدارمعطوف داشته‌اند. بالا رفتن ق سوختهای فسیلی، ملاحظات زیست‌محیطی، امنیت تامین انرژی، کاربری پتروشیمی، پیشرفت تکنولوژی و توجیه اقتصادی دربرخی موارد به طورع تعیین کننده آینده انرژیهای تجدیدپذیر است. به هرحال این قلمرو به طور در حال تغییر بوده و آینده این تغیرات نمایانگر کاهش هزینه‌ها وگسترش آن در بازار انرژی دنیا و رسیدن به انرژی پایداراست.

زنگ خطر محدودیت منابع کره زمین در سال ۱۹۷۰ به صدا درآمد. د کلاب[3] و در گزارشی به نام "محدودیت رشد" محدودیت انرژی را اعلام ک که محدودیت انرژی و وابستگی جهان به کاربرد سوختهای فسیلی به خص نفت دنیا را به لرزه در خواهد آورد، نفتی که منبع اجتناب ناپذیر رشد اقتص را تشکیل می‌دهد و قیمت آن موجب واکنش و حساسیت جامعه بین‌الم شده است. مشکلات محیطزیست جهان که در دهه ۱۹۹۰ به صورت بحران جهانی و اجتناب ناپذیر مطرح گردید نهایتا به انرژی وابسته است. به خصر گرم شدن کره زمین ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای دی اکسید کربن و متان و تاثیرات آن بر روی کاهش محصولات کشاورزی و تغییرات آب و هوایی و بارا نهای اسیدی ناشی از اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای سولفور و غیره حاصل از احتراق سوختهای فسیلی که موجب صدمه رسیدن به جنگل‌ها، دریاچه‌ها، مردابها و غیره می‌شوند. در میان گازهای گلخانه‌ای که موجب گرم شدن کره زمین می‌شوند، دی اکسید کربن بیشترین سهم را دارا می‌باشد [۳]. که یکی از مهم‌ترین منابع آن تولید برق با منبع سوخت‌های فسیلی است. هدف از مقاله حاضر مروری بر مهم‌ترین فناوری‌های مدیریت تولید برق از انرژی خورشیدی و ارزیابی اقتصادی آنها با تأکید بر سیستم‌های فتوولتائیک و اهداف توسعه پایدار می‌باشد.

۲- روش بررسی

تحقیق انجام شده، با تاکید بر مفاهیم نظری است که با روش کتابخانه‌ای از کتب، مقالات داخلی و خارجی و سایت‌ها جمع‌آوری شده است.

۳- یافته‌ها

۳-۱: انرژی خورشیدی

همان‌گونه که گفته شد تولید الکتریسته از انرژی خورشید به دو روش مستقیم و غیر مستقیم صورت می‌گیرد. در روش مستقیم، انرژی خورشید مستقیما توسط سلول‌های خورشیدی تبدیل به الکتریسته می‌شود که به آن سیستم فتوولتائیک می‌گویند. در روش غیر مستقیم، ابتدا انرژی خورشید به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود و سپس از طریق یک سیکل ترمودینامیکی انرژی حرارتی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌گردد، که به آن سیستم حرارتی خورشیدی گفته می‌شود [۱].

[1] Brundtland
[2] Sustainable development
[3] Rome Club

۲-۳- فناوری فتوولتائیک

سیستم‌های برق خورشیدی (فتوولتائیک) بعد از جنگ جهانی دوم مورد استفاده قرار گرفته است و در تمامی سفینه‌های فضائی و قمرهای مصنوعی جهت تامین انرژی الکتریکی بکار گرفته می‌شود. هزینه ساخت سیستم‌های فوق در اوایل بسیار گران بود ولی به مرور زمان با استفاده از روشهای تولید مناسب و بالا بردن بازدهی سیستم‌های برق خورشیدی و کاستن هزینه‌های تولید و نیز افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی این سیستم‌ها توانستند هر چه بیشتر جایگاه خود را بین دیگر صور تامین انرژی در دنیا بگشایند و امروز به صورت گسترده در کشورهای اروپای غربی، آمریکای لاتین و صحراهای قاره آفریقا و آسیا (خاور میانه) و دیگر صحراهای جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در کشورهای غربی با داشتن ساعات آفتابی کمتر از دو درصد کشورهای خاور میانه مردم با استفاده از سیستم‌های برق خورشیدی متصل به شبکه برق، در روز برق تولیدی را به شبکه تحویل داده و در هنگام شب از شبکه برق تحویل می‌گیرند و هنگام پرداخت بهای برق مصرفی تفاضل برق تحویلی و مصرف شده از شبکه را می‌پردازند. استفاده از سلول‌های فتوولتائیک جهت تامین انرژی مورد نیاز به صورت زیر ممکن می‌باشد:

۱- استفاده به صورت مستقل از شبکه

۲ - استفاده به صورت متصل به شبکه برق

در فناوری فتوولتائیک پرتوهای خورشیدی توسط صفحات سلول کوچکی از نیم‌رساناهای فتوولتائیک، موسوم به "سلول‌های خورشیدی[1]"، به الکتریسیته تبدیل می‌شود. سلولهای خورشیدی به دو شکل صفحه تخت[2] و متمرکزکننده[3] ساخته می‌شوند. نوع صفحه تخت همان سلول‌های خورشیدی رایج است که نور را بی‌واسطه به نیم‌رسانا می‌رساند و به الکتریسیته تبدیل می‌کند. ولی سلولهای متمرکزکننده ابتدا نور خورشید را به کمک یک بازتابنده متمرکز و سپس آن را به سمت سلول خورشیدی هدایت می‌کنند. از اتصال سلولهای خورشیدی با هم یک مدول خورشیدی[4] تشکیل می‌شود.

توان تولیدی سلول و مدول خورشیدی به تنهایی ممکن است فقط برای شارژ یک باتری کوچک کافی باشد. برای ساختن سامانه‌ای با خروجی قابل توجه (نیروگاهی یا خانگی)، نیاز است که چند مدول با هم و به‌صورت همزمان کار کنند. همانطور که سلول‌های خورشیدی به هم وصل می‌شوند تا مدول‌ها را بسازند، مدول‌ها هم باید برای ایجاد میزان مناسبی از ولتاژ و جریان، به صورت سری و موازی به هم متصل شوند. واحد ساخته شده به این طریق آرایه خورشیدی[5] نامیده می‌شود.

۳-۳- اجزای سامانه‌های فتوولتائیک

سامانه‌های فتوولتائیک مجموعه‌ای از تجهیزات تولید، کنترل، تبدیل، انتقال و ذخیره‌سازی توان هستند که با توجه به کاربرد تعریف شده برای آنها، یک یا ترکیبی از قابلیت‌های زیر را دارند:

۱- تزریق برق به بارهای مستقیم؛

۲- تزریق برق به بارهای متناوب؛

۳- ذخیره‌سازی الکتریسیته؛

۴- تزریق برق به شبکه؛

ساده‌ترین سامانه فتوولتائیک مربوط به قابلیت اول و پیچیده‌ترین آن مربوط به ترکیب هر چهار قابلیت است. پیکره‌بندی و اجزای یک سامانه فتوولتائیک نیز براساس همین قابلیت‌ها تعیین می‌شود. در این سامانه که هر چهار قابلیت فوق و تقریبا تمامی اجزای یک سامانه کامل فتوولتائیک را دارد، از مدول یا آرایه برای تولید الکتریسیته و از پایه‌های ثابت یا ردیاب‌ها برای نگهداری یا تنظیم جهت مدول‌ها استفاده می‌کند. با استفاده از ردیاب‌های خورشیدی هوشمند می‌توان جهت مدول‌ها را مطابق با موقعیت خورشید آسمان تنظیم و بازده سامانه‌های فتوولتائیک را افزایش داد. در خروجی مد خورشیدی، جریان مستقیم است بسیاری از موارد این جریان پیش از استفا باید به جریان متناوب تبدیل شود. در سامانه‌های فتوولتائیک متصل به شبک مستقل از شبکه با بار متناوب، این کار برعهده اینورتر[6] است. در سامانه مستقل از شبکه معمولا از باتری برای ذخیره‌سازی توان مازاد تولیدی در ط روز استفاده می‌شود تا در ساعات شب یا شرایط ابری، اختلالی در تأمین ت مورد نیاز بارهای مصرفی ایجاد نشود. سامانه‌ای که هر سه قابلیت مصرف م (خانگی/ صنعتی) اتصال به شبکه سراسری و ذخیره باتری را داشته با نیازمند یک فرآیند کنترلی دقیق است که توازن میان تولید، مصرف و ذخ سازی الکتریسیته را برقرار سازد. اجرای این فرآیند را کنترل کننده ش برعهده دارد که از طریق تنظیم ولتاژ و جریان بهینه، توازن لازم را برقرار کند[۴].

محل نصب سامانه فتوولتائیک نیز باید به گونه‌ای انتخاب شود که از تابش خورشید، وضعیت اقلیمی و زمین شناسی از شرایط مطلوبی برخور باشد.

۴-۳- مزایا و معایب استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک

برخی از مزایای استفاده از این سیستم‌ها عبارتند از:

- انرژی خورشیدی تجدیدپذیرو نامحدود می‌باشد.
- تولید برق توسط فتوولتائیک هیچ‌گونه انتشارآلاینده زیست محیطی را در پی ندارد.
- سیستمهای فتوولتائیک دارای اجزاء متحرک نمی‌باشند به همین دلیل نیاز به حداقل نگهداری و هزینه تعمیر دارند.
- سیستمهای فتوولتائیک به راحتی با افزودن تعداد ماجولها و باتریهای ذخیره‌سازی انرژی قابل گسترش می‌باشند.
- خطر آتش‌سوزی در سیستمهای فتوولتائیک به مراتب کمتر از سایر سیستم‌ها می‌باشد.
- به کارگیری سلول‌های فتوولتائیک برای تولید برق در مناطق دور افتاده بسیار مفید می‌باشد.
- سلولهای فتوولتائیک در کاربردهای خانگی، تجاری و صنعتی قابل نصب بر روی پشت بام‌ها می‌باشند از این رو فضاهای موجود اشغال نشده و برای سایر موارد به کار می‌روند.

برخی از معایب استفاده از این سیستم‌ها عبارتند از :

هزینه تولید برق توسط سلولهای فتوولتائیک بیشتر از هزینه تولید برق ناشی از سوخت‌های فسیلی می‌باشد. لازم به توضیح است که با افزایش سلول‌های فتوولتائیک می‌توان هزینه‌هارا کاهش داد.

- برق تولیدی از انرژی خورشیدی غیرقابل اعتماد بوده و همواره در دسترس نمی‌باشد و میزان تولیدات به شرایطی نظیر حالت وضعی خورشید، شرایط جوی و ... بستگی دارد.
- هزینه‌های اولیه نصب سیستم‌های فتوولتائیک زیاد است.

[1] Solar Cell
[2] Flat Plate
[3] Concentrating
[4] Solar Module
[5] Solar Array
[6] Inverter

- به منظور استفاده از انرژی خورشیدی در شب باید از باتری برای ذخیره سازی انرژی استفاده گردد.
- برای مصارف زیاد الکتریسیته، نیاز به مساحت زیادی برای نصب سلول-های فتوولتائیک می‌باشد.
- کمبود نیروهای متخصص و کارآمد برای طراحی و نصب سیستم‌های فتوولتائیک [۵].

۳-۵- سایر فناوری‌های تولید برق از انرژی خورشیدی:

۳-۵-۱- فناوری‌های متمرکزکننده گرمایش خورشیدی

بر خلاف تولید برق فتوولتائیک که براساس تولید الکتریسیته توسط انرژی فوتون‌های خورشیدی عمل می‌کند، فناوری متمرکزکننده گرمایش خورشیدی بر مبنای استفاده از حرارت خورشید و تبدیل آن به انرژی مکانیکی و سپس، انرژی الکتریکی کار می‌کند. از این منظر، تولید برقِ گرمایش خورشیدی تا حدی شبیه به شیوه‌های رایج تولید انرژی از احتراق سوختهای فسیلی است که برای تبدیل گرما به الکتریسیته به موتورهای گرمایی وابسته هستند. تقریبا نیمی (۴۴ درصد) از طیف نور خورشید در محدوده مادون قرمز یا همان انرژی گرمایی است. این انرژی به‌راحتی به وسیله بسیاری از موادی که در مقابل نور خورشید داغ می‌شوند، قابل جذب است. بخشی از نور مرئی نیز می‌تواند جذب و به انرژی گرمایی تبدیل شود. با این حال، بیشتر نور مرئی خورشید بازتابیده می‌شود و همین بازتاب است که امکان تشخیص رنگ و شکل اشیاء را در طول روز برای ما فراهم می‌کند. بهترین جذب کننده‌های نور خورشید مواد سیاه‌رنگ و کدر هستند؛ این مواد بیش از اینکه بازتاب داشته باشند گرما و نور را جذب می‌کنند. اشیاء در معرض نور خورشید ممکن است به قدری داغ شوند که امکان لمس آنها وجود نداشته باشد، ولی این افزایش دمای آنها برای تولید برق کافی نیست. اگرچه، از همین میزان انرژی گرمایی نیز می‌توان با استفاده از کلکتورهای حرارتی[1] در بام ساختمان به عنوان راهکاری مؤثر برای گرم کردن آب مصرفی بهره برد.

تولید برق نیروگاهی از خورشید به روش متمرکزکننده گرمایشی، معمولا به سه روش زیر انجام می‌شود [۲].

۱- نیروگاه سهموی خطی[2]

۲- نیروگاه برج خورشیدی[3]

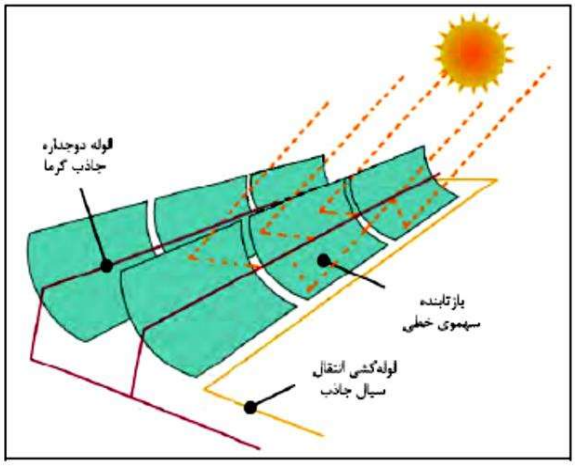
۳- نیروگاه بشقاب خورشیدی[4]

در روش اول، از یک بازتابنده سهموی خطی استفاده می‌شود که گرما را در خط کانونی خود متمرکز و به سامانه جذب گرما منتقل می‌کند. تعداد زیادی از این ظرفها می‌توانند انرژی لازم برای یک نیروگاه خورشیدی را فراهم کنند. روش دوم شامل آینه‌های تخت بسیار بزرگی است که دور تا دور یک برج خورشیدی چیده شده‌اند. جهت‌دهی آینه‌ها به گونه‌ای است که نور خورشید را به سمت نقطه مشخصی در بالای برج متمرکز و به جذب‌کننده گرما منتقل می‌کند. در روش سوم، از بشقاب‌های بزرگ سهمی شکل شبیه به آینه مقعر استفاده می‌شود که نور خورشید را در نقطه کانونی خود به جذب کننده انتقال می‌دهد. این بشقابهای سهموی چنانچه از حد مشخصی بزرگتر شوند، ضمن افزایش هزینه‌های ساخت، بسیار سنگین خواهند شد. به همین دلیل، برای احداث نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی در مقیاس بزرگ معمولا یکی از دو روش اول ترجیح داده می‌شود.

سیال جاذب گرما و یک موتور گرمایی به برق تبدیل می‌کنند. سامانه‌های ساده بشقاب خورشیدی از یک موتور گرمایی داخلی و سامانه‌های سهموی خطی یا برج خورشیدی از یک مبدل و توربین بخار مرکزی بهره می‌برند.

۳-۵-۲- نیروگاه سهموی خطی

یک نیروگاه سهموی خطی از تعداد زیادی بازتابنده طویلِ مقعر با سطح مقطع سهمی تشکیل شده است. این بازتابنده‌ها نور خورشید را در خط کانونی خود بازتابانده و متمرکز می‌کنند. برای استفاده از گرمای تولیدشده، لوله‌ای حاوی یک سیال جاذب گرما در طول خط کانونی سهمی قرار می‌گیرد. این لوله دوجدار " لوله جاذب " نیز نامیده می‌شود، به نحوی طراحی شده است که توانایی جذب بیشترین انرژی و تحمل دمای بالا را داشته باشد. این لوله‌ها معمولا از فلز با روکش سیاه‌رنگ و یک لایه محافظ شیشه‌ای ساخته می‌شود. بین این لایه محافظ و خود لوله فاصله‌ای وجود دارد که باعث کاهش هدررفت گرما می‌شود. یک لایه ضد بازتابش نیز ممکن است برای افزایش کارایی به سطح خارجی شیشه افزوده شود. شکل شماره ۱ طرحی از سامانه کلکتور سهموی خطی را نشان می‌دهد.



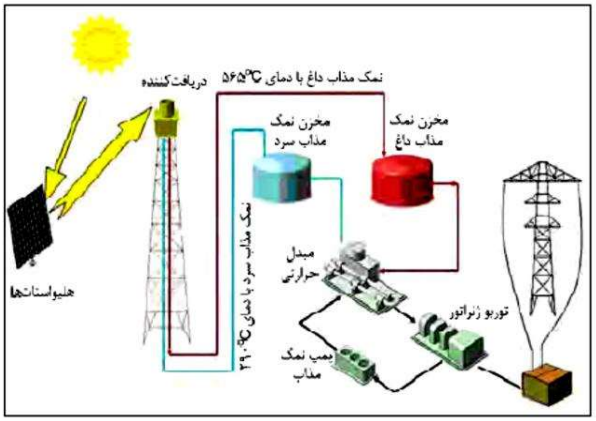
شکل ۱ طرح یک کلکتور سهموی خطی

۳-۵-۳- نیروگاه برج خورشیدی

نیروگاههای برج خورشیدی، امروز اغلب با نام نیروگاههای خورشیدی با " نیروگاههای خورشید دریافت کننده مرکزی" شناخته می‌شوند. این یکی دیگر از روشهای بهره‌گیری از انرژی گرمایی هستند که در آنها برج خورشیدی در مرکز مزرعه دریافت کننده نور، متشکل از آرایه‌های هلیواستات[5] (آینه‌ها) قرار می‌گیرد. در بالای برج، دریافت کننده‌ای برای جذب حرارت خورشید طراحی شده است. برای دستیابی به بازدهی بالاتر، هر آینه یک سامانه ردیابی خورشیدی دارد که جهت آن را مطابق با حرکت خورشید به نحوی تنظیم می-کند که بیشترین بازتاب را به سمت دریافت کننده بالای برج داشته باشد. دریافت کننده نیز به نحوی طراحی می‌شود که قابلیت جذب انرژی حاصل را با

[1] Thermal Collectors
[2] Parabolic Trough Power Plant
[3] Solar Tower Power Plants
[4] Solar Dish Power Plants
[5] Heliostat

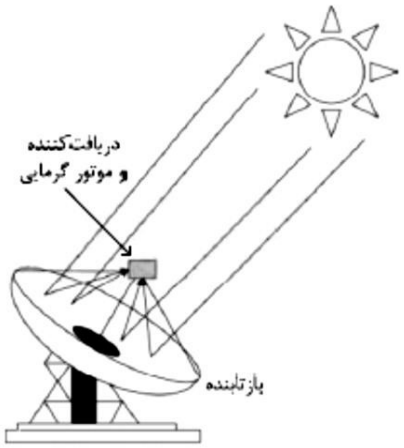
بالاترین بازده داشته باشد و آن را به سیال جاذب حرارت منتقل کند. بنابر طراحی سامانه، این سیال می‌تواند آب، نمک مذاب یا هوا باشد. برجهای خورشیدی به طور معمول با قابلیت ذخیره انرژی طراحی می‌شوند و بنابراین می‌توانند به صورت شبانه روزی (۲۴ ساعته) کار کنند. اولین برجهای خورشیدی " سولار ۲ "و " سولار ۱ "، نام دارند که در کالیفرنیای آمریکا احداث شدند. با این حال، این دو پروژه در حد برنامه‌های تجربی باقی ماندند و هرگز به مرحله تجاری نرسیدند. شکل شماره ۲ طرح یک نیروگاه برج خورشیدی را نمایش می‌دهد.



شکل ۲ طرحی از نیروگاه برج خورشیدی

۴-۵-۳- بشقاب‌های خورشیدی

آخرین نوع نیروگاههای متمرکزکننده گرمایش خورشیدی، بشقابهای خورشیدی است. این نوع نیروگاه با استفاده از یک بشقاب سهموی چرخان، تابش خورشید را دریافت و آن را به نقطه کانونی خود هدایت می‌کند. یک موتور گرمایی که در کانون بشقاب قرار گرفته است با تبدیل گرمای حاصل به حرکت مکانیکی، ژنراتور را به کار می‌اندازد. در بشقابهای خورشیدی رایج، موتور گرمایی خاصی به نام موتور استرلینگ[1] به کار گرفته میشود که دارای بازدهی بسیار بالا است. اخیرا تلاشهایی در زمینه به کارگیری توربینهای گازی کوچک مبتنی بر چرخه ترمودینامیکی برایتون[2] صورت گرفته است. سازه بشقاب خورشیدی، سازه‌ای مشبک است که روی آن تعداد زیادی آینه انحنادار نصب می‌شود. این آینه‌ها ممکن است از شیشه یا فلز براق ساخته شده و به شکل دایره یا مستطیل باشند. در مرکز این بشقاب پایه‌ای وجود دارد که موتور گرمایی روی آن قرار می‌گیرد. طرح بشقاب خورشیدی در شکل شماره ۳ دیده می‌شود.



شکل ۳ طرح یک بشقاب خورشیدی

فناوری‌های متمرکزکننده گرمایش خورشیدی و فتوولتائیک اصلی‌تر گزینه‌های تولید برق خورشیدی هستند؛ اما روش‌های دیگری هم برای بر برداری از انرژی خورشیدی وجود دارد که هنوز در مسیر ارزیابی و آزمایش توسعه قرار دارند. از جمله آنها می‌توان به حوضچه‌های خورشیدی اشاره کرد

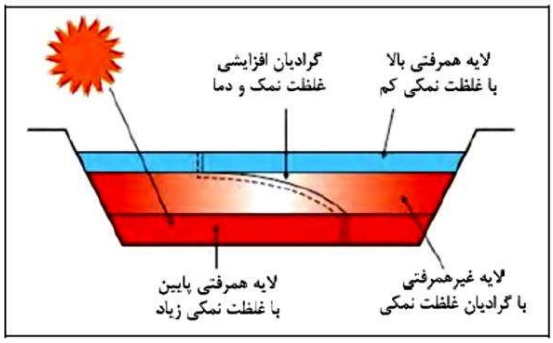
۵-۵-۳- حوضچه‌های خورشیدی

با وجود گذشت چند سال از معرفی مفهوم حوضچه خورشیدی و مطالعاتی ـ در نقاط مختلف دنیا قابلیت آن را برای تولید برق در طول سال به اثبات رسانده است، این فناوری هنوز توسعه چندانی نداشته است. حوضچه خورشیدی که نمونه‌ای از آن در شکل شماره ۴ دیده می‌شود، معمولا از سه لایه آب شور با غلظتهای مختلف تشکیل شده است:

۱- لایه همرفتی بالایی، با غلظت نمکی کم، به عمق ۰/۴-۰/۲ متر

۲- لایه غیرهمرفتی میانی، با گرادیان نمکی زیاد، به عمق ۱/۵-۱ متر

۳- لایه همرفتی زیرین، با غلظت نمکی زیاد، به عمق ۳-۱ متر



شکل ۴ طرح یک حوضچه خورشیدی

با تابش نور خورشید، آب شور داخل حوضچه شروع به گرم شدن می‌کند. لایه میانی که غلظت نمکی آن با افزایش عمق زیادتر می‌شود، وظیفه جلوگیری از جابه‌جایی آب گرم از لایه‌های پایینی به لایه‌های بالایی را دارد. زیرا افزایش غلظت در عمق، سبب می‌شود لایه‌های زیرین به دلیل سنگینی امکان حرکت به سمت بالا و تبادل حرارت را نداشته باشند. در صورتی که در حوضچه‌های آب شیرین، آب گرم لایه‌های پایینی در اثر جریان همرفتی ناشی از کاهش چگالی و سبک شدن به سمت بالا حرکت می‌کند و لایه‌های زیرین خنک باقی می‌ماند. در نتیجه این فرآیند، لایه همرفتی پایداری از آب شور داغ در ته حوضچه و همچنین لایه همرفتی خنک‌تری با غلظت نمک کمتر در بالای آن

[1] Stirling
[2] Brayton Thermodynamic Cycle

ایجاد می‌شود. در حالت معمول، دمای لایه زیرین به حدود۹۰-۷۰ درجه می‌رسد. برای جلوگیری از تبخیر و ایجاد موج بر روی حوضچه، معمولا از یک پوشش شفاف روی حوضچه استفاده می‌شود.

برای تولید الکتریسته از حوضچه خورشیدی، آب شور داغ از لایه زیرین گرفته و در یک مبدل حرارتی برای گرم کردن و تبخیر سیال استفاده می‌شود. بخار سیال، توربین را به حرکت درآورده و در قسمت خروجی توربین چگالیده می‌شود. این فرآیند چگالش ممکن است به وسیله منبعی از آب سرد انجام شود؛ اما اگر حوضچه خورشیدی در منطقه‌ای خشک و بدون منبع آب واقع شده باشد، این فرآیند می‌تواند با استفاده از لایه آب سرد بالای حوضچه خورشیدی انجام شود. با چنین آرایشی حوضچه خورشیدی به یک نیروگاه کاملا مستقل تبدیل می‌شود.

مهمترین مزیت فناوری حوضچه‌های خورشیدی، ترکیبِ دریافت و ذخیره انرژی است. به همین دلیل، این سامانه قابلیت تولید شبانه روزی برق در طول سال را دارد [۲].

۶-۳- جایگاه انرژی خورشیدی در ایران و جهان

حدود دو دهه پس از ورود سلول‌های فتوولتائیک به عرصه عمومی تولید انرژی، ارتباط تنگاتنگ سیاست و منابع انرژی موجب شد تا دیگر جایی برای توجیه اقتصادی یا فنی برای روی آوردن به سمت بهره‌گیری از انرژی خورشید و الکتریسیته نماند.

در سال ۱۹۹۸، ظرفیت تولید برق توسط سلو ل‌های فتوولتائیک در جهان، حدود ۱۲۰ مگاوات برآورد شده است که در مقایسه با ظرفیت ۴۰ مگاوات در سال ۱۹۹۰، رشد سریع و غیر قابل باوری را نشان می‌دهد. تجارت سلول‌های فتوولتائیک نیز، در طی دهه گذشته، به طور متوسط سالانه ۱۵ درصد افزایش یافته است. پیش‌بینی واقع بینانه برای دهه آینده، تداوم نرخ رشد ۱۵ درصد می‌باشد که در آن صورت، ظرفیت تولید برق خورشیدی در جهان تا سال ۲۰۱۵ به ۱۵۰۰ مگاوات خواهد رسید.

کشورهای هند، چین و آلمان نیز چهار مورد از بزرگترین نیروگاههای فتوولتائیک را با فناوری سیلیکونی احداث کرده‌اند که در این میان، فقط در نیروگاه ۲۲۱ مگاواتی هند از فناوری لایه نازک آمورف استفاده شده است. این نیروگاه که هم‌اکنون، سومین نیروگاه بزرگ فتوولتائیک دنیا محسوب می‌شود، مجموعه‌ای از ۱۹ پروژه ۱ تا ۲۵ مگاواتی است که در زمینی به مساحت دو هزار هکتار احداث شده است.

کشور ایران، روی کمربند خورشیدی جهان است و یکی از کشورهایی است که از تابش نورخورشید با قدرت و توان مطلوب برخوردار بوده و مستعد برای بهره‌گیری از این انرژی می‌باشد. میزان تابش متوسط روزانه ۴ کیلووات ساعت بر مترمربع می‌رسد و متوسط ساعات آفتابی، از ۲۸۰۰ ساعت در سال بیشتر است و در شهرهای کویری کشور ۳۲۰۰ ساعت نیز می‌رسد [۱].

ایران اولین کشور آسیایی بود که در سال ۲۰۰۸ یک طرح آزمایشی به ظرفیت ۲۵۰ کیلووات را در شهر شیراز و به دنبال آن، طرح ۱۷ مگاواتی را در نیروگاه سیکل ترکیبی شهر یزد به بهره‌برداری رساند[۲]. اما طرح‌های دیگر این قاره به سه کشور تایلند، امارات متحده عربی و هند اختصاص دارد. تایلند در سال ۲۰۱۱ نیروگاهی به ظرفیت ۵ مگاوات راه‌اندازی کرد و در سال ۲۰۱۳ دو کشور امارت و هند نیروگاه‌هایی به ظرفیت ۱۰۰ مگاوات و ۵۰ مگاوات را به بهره‌برداری رساندند. در اروپا غیر از اسپانیا، طرحی ۵ مگاواتی نیز در ایتالیا اجرا شده است [۲].

۷-۳-انرژی خورشیدی و توسعه پایدار

توسعه پایدار سیستم‌های انرژی برای سیاستگذاران و تصمیم‌گیران در سراسر جهان، روز به روز با اهمیت‌تر می‌شود. اهداف اصلی سیاست جهانی، در این زمینه شامل رشد اقتصادی، تأمین امنیت انرژی و کاهش تغییرات آب و هوایی است. برای رسیدن به این هدف نیاز به در نظر گرفتن و ادغام همه جنبه‌های پایداری سیستم‌های انرژی (زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی) و فنی است که به تدریج توسط تصمیم گیرندگان به رسمیت شناخته شده است [۶].

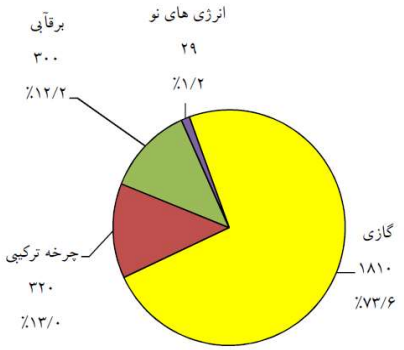
به طور سنتی، پایداری در سه چارچوب تنظیم شده: اقتصادی، محیط-زیست و جامعه که همه به هم پیوسته و زنجیرند. رابطه بین انرژی‌های تجدیدپذیر و پایداری می‌تواند به عنوان یک سلسله مراتب اهداف و محدودیت-های که هر دو ملاحظات جهانی و منطقه‌ای یا محلی را شامل می‌شود، در نظر گرفته شود. درحقیقت با درنظر گرفتن اهداف توسعه پایدار، سیاستمداران و تصمیم گیران مجبور به اتخاذ رویکردهای جدید در زمینه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر شده و حتی بسیاری از سیاستهای غیرپایدار در زمینه انرژی، حذف و جایگزین گردند [۷].

تولید الکتریسیته به طور پیوسته در حال افزایش است زیرا الکتریسیته انرژی تمیز و راحت در مرحله مصرف می‌باشد. این گرایش از نظر کارایی کل انرژی اولیه یک امتیاز به حساب نمی‌آید به خصوص وقتی که نیروگاه‌های تولید الکتریسیته بر پایه سیکل‌های ترمودینامیکی که به طور ذاتی از محدودیت در کارائی برخوردارند بنا شده باشند. تعدادی از تجدیدپذیرها که از این چرخه گرمایی استفاده نمی‌کنند می‌توانند انرژی الکتریکی را بدون از دست دادن کارائی و یا تولید حرارت زائد ناخواسته ایجاد نمایند. گرم شدن کره زمین ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن و متان و تاثیرات آن بر روی کاهش محصولات کشاورزی و تغییرات آب و هوایی و بارانهای اسیدی ناشی از اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای سولفور و غیره حاصل از احتراق سوختهای فسیلی که موجب صدمه رسیدن به جنگلها، دریاچه‌ها، مردابها و غیره می‌شوند. در میان گازهای گلخانه‌ای که موجب گرم شدن کره زمین می-شوند، دی‌اکسید کربن بیشترین سهم را دارا می‌باشد[۳].

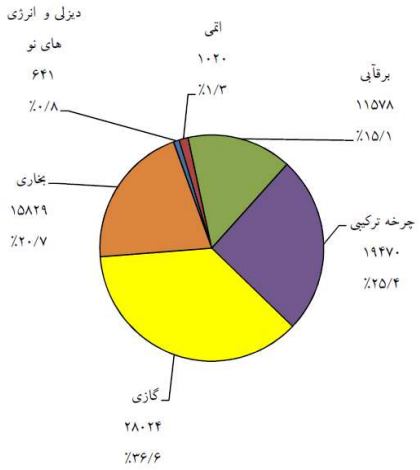
این مسائل و نیز بحران انرژی در دهه ۷۰ شوک بزرگی بود که دنیا را از خواب آسوده استفاده بی‌رویه از این منبع خدادادی بیدار کرد و دنیا را به سمت سایر منابع انرژی و مصرف بهینه آن سوق داد. استفاده بهینه از انرژی در فرآیند توسعه اقتصادی همواره به عنوان یک هدف مهم در توسعه پایدار مدنظر بوده است. برای اجتناب از تأثیر بیشتر این مضرات مصرف انرژی‌های تجدید پذیر یا انرژی‌های سازگار با محیط‌زیست همچون انرژی خورشیدی پیشنهاد شده است-[۸].

۸-۳- تحلیل هزینه و فایده احداث نیروگاه خورشیدی

مهمترین موضوعی که امروزه مانع اصلی استفاده از انرژی خورشیدی شده است، توجیه‌پذیری اقتصادی آن در مقایسه با دیگر گزینه‌های موجود در برق‌رسانی می‌باشد [۹]. در ایران طی سال ۱۳۹۵ تعداد ۲۹ نیروگاه با استفاده از انرژی‌های نو به بهره‌برداری رسید و در شبکه توزیع برق قرار گرفت. در شکل ۵ مقدار و سهم ظرفیت نامی انواع نیروگاه‌های بهره‌برداری شده جدید درسال ۱۳۹۵ نمایش داده شده است. همچنین، شکل ۶ مقدار و سهم ظرفیت نامی انواع نیروگاه‌های موجود ایران در پایان سال ۱۳۹۵ را بر حسب مگاوات نشان می‌دهد [۱۰].

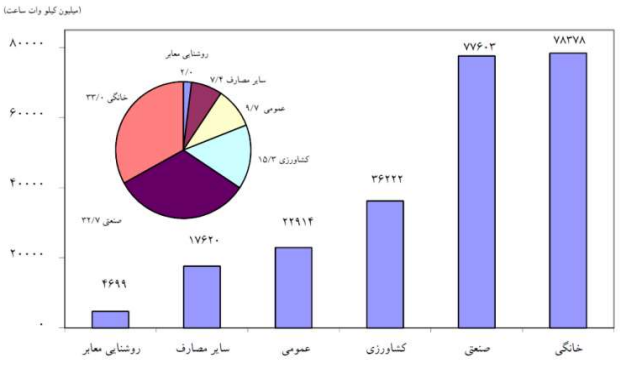


شکل ۵ مقدار و سهم ظرفیت نامی نیروگاه‌های جدید بهره‌برداری شده در سال ۱۳۹۵ (مگاوات)



شکل ۶ مقدار و سهم ظرفیت نامی انواع نیروگاه‌های موجود ایران در پایان سال ۱۳۹۵ (مگاوات)

از طرفی، مصارف قابل توجه انرژی و همچنین تعداد زیاد مشترکین بخش خانگی باعث شده که ۳۳ ٪ مصارف انرژی الکتریکی را به خود اختصاص داده، به گونه‌ای که همراه با بخش صنعت (۳۲/۷٪) بالاترین میزان تقاضای برق را در کشور دارد. در شکل ۷، سهم هر بخش از انرژی از کل فروش انرژی برق در طی سال های ۱۳۹۵-۱۳۸۵ مقایسه شده است. [۱۱].



شکل ۷ مقایسه سهم هر بخش از انرژی از کل فروش انرژی برق در طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۸۵

در سال‌های گذشته برنامه‌های متعددی برای کنترل مصرف برق صورت گرفته است. درخواست از مردم برای صرفه‌جویی در مصرف برق، تلاش برای ورود ظرفیت‌های جدید نیروگاهی به مدار، مذاکره برای کاهش مصرف برق توسط مصرف‌کنندگان بزرگ برق و خرید برق از بخش خصوصی به عنوان راهکاری برای کاهش مصرف برق ارائه شده است. بر طبق ماده ۱۳۹ قانون برنامه پنجم، دولت موظف است با حمایت از بخش‌های خصوصی و تعاونی، زمینه تولید پنج هزار مگاوات انرژی بادی و خورشیدی در طول برنامه را فراهم نماید. سؤال این است که این حمایت‌ها به چه صورت باشد تا تحقق اهداف فوق میسر شود و سرمایه‌گذاران به این حوزه جذب شوند؟ پیاده‌سازی و اعمال ترکیبی از مشوق‌ها (بسته حمایتی) می‌تواند به راحتی شاخص‌های مالی پروژه‌ها را به حد مطلوب و جاذب سرمایه‌گذار برساند [۱۲].

بر اساس ماده ۸ قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی و در راستای ارتقاء بهره‌وری و استفاده هر چه بیشتر از منابع تجدیدپذیر، لایحه تاسیس سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) که از ادغام سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) و سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا) شکل گرفته است، توسط هیئت محترم وزیران تقدیم مجلس شورای اسلامی گردید و پس از تصویب جهت اجرا به وزارت نیرو ابلاغ شد.. در ماده ۱ قانون تشکیل ساتبا آمده است که این سازمان به منظور ارتقای بهره‌وری انرژی و استفاده هرچه بیشتر از منابع تجدیدپذیر و پاک از طریق فراهم نمودن زیرساخت‌های لازم در کشور و افزایش بهره‌وری عرضه انرژی و کاهش تلفات انتقال، توزیع و مصرف انرژی در کشور و استفاده از روش های تولید برق تجدیدپذیر و پاک، تشکیل می‌شود. در ماده ۲ به کارگیری بخش خصوصی و حمایت از مشارکت آن، تدوین سیاست‌های تشویقی در جهت حمایت از شرکت‌های دانش بنیان، عملیاتی نمودن استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح صنعتی و انجام وظایف دولت برای تحقق اهداف سازمان، بعنوان موضوع فعالیت سازمان مورد تاکید قرار گرفته است [۱۳].

قیمت فروش برق (نرخ خرید از نیروگاه) متغیری کلیدی است که می‌توان با اعمال تغییرات زیاد در آن، شاخص‌های مالی طرح را تا حد مطلوب و جاذب سرمایه‌گذار افزایش داد. به بیانی بهتر این مشوق به تنهایی می‌تواند ما را به هدف مطلوب خود نزدیک گرداند. البته اگر بخواهیم افزایش نرخ ارز را داشته باشیم، قیمت خرید تضمینی باید افزایش بیشتری داشته باشد. علاوه بر مشوق تعرفه‌های اشتراک یا خرید تضمینی که تاثیر بسیاری بر اقتصاد تر شدن پروژه دارد به طور کلی مشوق‌هایی که بر میزان مالیات پرداختی بنگاه اقتصادی – چه از طریق کوچک نمودن پایه مالیاتی و چه از طریق کاهش نرخ مالیاتی - اثر می‌گذارند (مانند بخشودگی موقت از مالیات، اعتبار مالیاتی تولیدکننده، کسر مالیات و اعتبار مالیاتی سرمایه‌گذار) بیشترین اثرات را بر بهبود شاخص‌های مالی طرح از خود نشان می‌دهند که البته نسبت به قیمت تضمینی تاثیر کمتری دارد. در جدول ۱ این مطلب بهتر نشان داده شده است.

جدول ۱: هزینه هر کیلووات ساعت یک روستای ۲۰ خانواری با فواصل مختلف از شبکه [۱۲]

فاصله از شبکه (km)	هزینه سیستم فتوولتائیک (ریال /کیلووات ساعت)	هزینه شبکه برق سراسری (ریال /کیلووات ساعت)
۵	۳۸۲۲	۲۱۹۸
۱۰	۳۸۲۲	۳۱۶۸
۱۵	۳۸۲۲	۴۱۳۹
۲۰	۳۸۲۲	۵۱۰۹

در طی سال‌های اخیر، در راستای توسعه هر چه گسترده‌تر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، خرید تضمینی برق از نیروگاه‌های تجدیدپذیر مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. در این میان، استفاده از نیروی خورشیدی یکی از موارد مورد توجه بود که تعرفه خرید تضمینی برق از این نیروگاه‌ها مطابق با ابلاغیه مقام عالی وزارت نیرو در سال ۱۳۹۵ در جدول ۲ نشان داده شده است [۱۴].

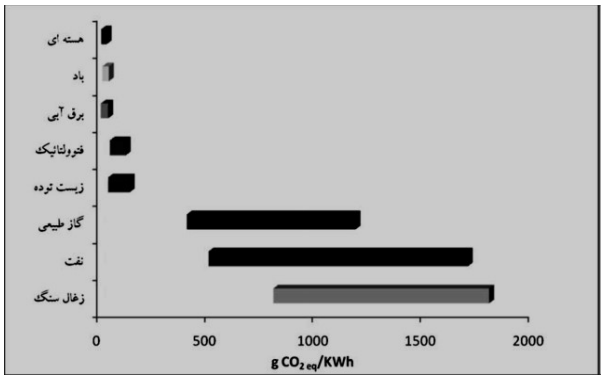
جدول ۲: تعرفه خرید تضمینی برق از نیروگاه‌های خورشیدی مطابق با ابلاغیه مقام عالی وزارت نیرو در سال ۱۳۹۵ [۱۵]

نوع فن‌آوری	
نیروگاه خورشیدی	**نرخ پایه خرید تضمینی برق (ریال بر کیلووات ساعت)**
با ظرفیت بیش از ۳۰ مگاوات	۳۲۰۰
با ظرفیت ۳۰ مگاوات و کمتر	۴۰۰۰
با ظرفیت ۱۰ مگاوات و کمتر	۴۹۰۰
مولدهای مختص مشترکین برق تا سقف ظرفیت انشعاب	
با ظرفیت ۱۰۰ کیلو وات و کمتر	۷۰۰۰
با ظرفیت ۲۰ کیلو وات و کمتر	۸۰۰۰

۹-۳- تولید برق و انتشار گازهای گلخانه‌ای

بخش برق، از مهمترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح جهان می‌باشد. طبق محاسبات به عمل آمده، حدود ۳۷/۵ درصد انتشار کربن در سطح جهان ناشی از فعالیت‌های تولید برق می‌باشد. کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش برق، مستلزم استفاده از الگوهای مختلف انرژی برای تولید برق می‌باشد. مقایسه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از فناوری‌های مختلف برق، به انتخاب روش‌های مؤثر در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند [۱۶].

بر اساس مطالعات انجام شده در خصوص بیشترین گازهای گلخانه‌ای بر حسب گرم معادل دی اکسید کربن به ازای هر کیلووات ساعت برق تولیدی مربوط به نیروگاه‌های حرارتی با سوخت فسیلی به ویژه نیروگاه‌های نفتی و زغال سنگی می‌باشد و کمترین میزان انتشار مربوط به نیروگاه‌های برقابی و هسته‌ای است. پس از نیروگاه‌های برقابی و هسته‌ای نیز کمترین میزان انتشار مربوط به نیروگاه‌های بادی، فتوولتائیک و زیست‌توده می‌باشد. در بین سامانه‌های متفاوت مورد بررسی از نیروگاه‌های فتوولتائیک، نیروگاه‌های تک کریستاله دارای کمترین میزان انتشار دی اکسید کربن هستند [۱۷]. لازم به ذکر است، انتظار می‌رود با پیشرفت فناوری و استفاده از فناوری‌های جدید، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای چرخه حیات در انواع نیروگاه‌ها کاهش یابد [۱۸]. جدول ۳ و شکل ۸ به خوبی این مطلب را روشن می‌کند



شکل ۸ میزان انتشار CO_2eq در نیروگاه‌های مختلف [۱۸]

جدول ۳: میزان کاهش گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های ناشی از اجرای طرح استفاده از انرژی خورشیدی [۹]

	گازهای گلخانه‌ای (گرم)			آلاینده‌ها (گرم)			
	CO_2	N_2O	CH_4	CO	NOx	SO_2	SPM
روزانه	۲۹۹۹۰/۴	۰/۵۵	۰/۵۷	۲۱	۷۰	۰/۱۵	۱/۹
ماهانه	۸۹۹۷۱۲	۱۶/۵	۱۷/۱	۶۳۰	۲۱۰۰	۴/۵	۵۷
سالانه	۱۰۹۴۶۴۹۶	۲۰۰/۷۵	۲۰۸/۵	۷۶۶۵	۲۵۵۵۰	۵۴/۷۵	۶۹۳/۵

استفاده از انرژی خورشید در تولید برق، می‌تواند وابستگی به سوخت فسیلی را در کشور کاهش داده و سبب افزایش امنیت انرژی، کاهش وابستگی به سوختهای فسیلی و همچنین در غلبه بر کمبود انرژی برق نقش مهمی ایفا کند. روستاهایی زیادی در کشور بدون برق هستند و همه این گزینه‌های تکنولوژی می‌توانند برای تولید برق در این مناطق مورد استفاده قرار گیرند.

استفاده از این فناوری‌ها به طور قابل توجهی می‌تواند کشور را برای کمک به غلبه برکمبود برق، بهبود استانداردهای زندگی جامعه، کمک به رشد اقتصادی کشور، بهبود اقتصاد روستایی، کاهش لایحه واردات بنزین و تضمین پایداری محیط‌زیست و در یک کلام اهداف توسعه پایدار نزدیک کند [۱۹].

به علاوه، با به کارگیری انرژی‌های تجدید پذیر همچون انرژی خورشیدی، برای مصارف خانگی، علاوه بر صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌توان از انتشار گازهای گلخانه‌ای جلوگیری کرد و موجب عرضهٔ پایدار انرژی در کشور شد و همچنین بدون اثرات سوء اقتصادی رفاه و معیشت جامعه را بهبود بخشید. گسترش شبکه سراسری برق به روستاهای کم جمعیت با پراکندگی زیاد و مسیر دسترسی صعب‌العبور با سلول‌های فتوولتائیک خورشیدی می‌تواند با هزینهٔ کمتری نسبت به گسترش شبکهٔ سراسری برق ایجاد شود و از هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه و هدر رفت برق در شبکهٔ توزیع و انتقال خصوصا در هنگام شدت ولتاژ جلوگیری کند [۲۰].

در واقع، افزایش قابل توجه قیمت فرآورده‌های نفتی، بعد از شوک نفتی سال ۱۹۷۳، توجه صاحب نظران و کارشناسان اقتصاد انرژی را به سمت یکی از مهمترین و گسترده ترین منابع انرژی تجدیدپذیر یعنی انرژی خورشیدی جلب نمود. با آغاز مطالعه انرژی خورشیدی از منظر اقتصاد انرژی، مبحثی به نام اقتصاد انرژی خورشیدی به وجود آمد که می‌توان زمان پیدایش آن را اوایل دهه ۷۰ میلادی و مصادف با شوک نفتی سال ۱۹۷۳ دانست. عوامل بسیار زیادی، افراد را به توجه و سرانجام پذیرش خورشید به عنوان یک منبع انرژی جایگزین سوق می‌دهد، با این حال یکی از جذاب‌ترین ویژگیهای انرژی خورشیدی از نقطه نظر اقتصادی، توانایی آن در کاهش هزینه‌های کلی تولید انرژی می‌باشد.

اهمیت استفاده از تکنولوژی فتوولتائیک این است که مستقیما و بدون بهره‌گیری از مکانیسم‌های متحرک و شیمیایی، نورخورشید را به برق تبدیل می‌کند. پاره‌ای از ویژگی‌های سیستم‌های فتوولتائیک که علت اصلی گسترش کاربرد آن‌ها می‌باشد عبارتند از:

الف) داشتن دامنه بسیار گسترده‌ای از توان تولیدی که موج ساخت و به کارگیری انواع سیستم‌ها از منابع تغذیه ساعتهای مچی چند میلی واتی تا نیروگاههای چند مگاواتی را فراهم می‌کند.

ب) عدم نیاز به سوخت‌های فسیلی و عدم تولید هیچ‌گونه آلاینده زیست‌محیطی در فرآیند تبادیل انرژی.

پ) سهولت بهره‌برداری و نگهداری آسان سیستم‌های فتوولتایی بدون نیاز به تجهیزات پیچیده، نیروی انسانی متخصص و هزینه‌های اضافی. طول عمر مفید آن (بیش از ۲۰ سال) [۲۱].

با مقایسه هزینه برق فسیلی و برق خورشیدی می‌توان نتیجه گرفت که یک مجتمع مسکونی با مصرف ماهانه KWH ۴۰۰ برق فسیلی در ماه ضمن استفاده از سیستم برق خورشیدی می‌تواند از کاهش پرداختی هزینه برق مصرفی به میزان ۶۰ ٪ بهره‌مند شود. به علاوه اینکه شبکه سراسری برق نیز با مشکل کمبود برق در ساعات پیک مصرف مواجه نخواهد شد.گرچه سیستم فتوولتائیاک در حال حاضر به طور کامل قابل رقابت با نیروگاه فسیلی نبوده ولی در کاهش هزینه پرداختی مصارف کننده مناسب می‌باشد. با گذشت زمان و پیشرفت فنآوری و از طرف دیگر گران‌تر شدن سوخت‌های فسیلی، تنها استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی توجیه اقتصادی خواهد داشت [۱].

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله فناوری فتوولتائیک، سایر فناوری‌های تولید برق از انرژی خورشیدی، جایگاه انرژی خورشیدی در ایران و جهان، انرژی خورشیدی و توسعه پایدار، تحلیل هزینه و فایده احداث نیروگاه خورشیدی و درنهایت تولید برق و انتشار گازهای گلخانه‌ای بیان گردید.

چالش‌هایی در مسیر استفاده از انرژی تجدیدپذیر و توسعه پایدار و همچنین توانایی برطرف کردن آنها وجود دارد. استفاده بهینه از انرژی در فرآیند توسعه اقتصادی همیشه به عنوان یک هدف مهم در توسعه پایدار مدنظر بوده است. برای جلوگیری از تأثیر بیشتر مشکلات ناشی از مصرف سوخت های فسیلی (گرم شدن کره زمین ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن و متان، تاثیر بر روی کاهش محصولات کشاورزی، تغییرات آب و هوایی و بارانهای اسیدی)، مصرف انرژی‌های تجدید پذیر یا انرژی‌های سازگار با محیط-زیست همچون انرژی خورشیدی پیشنهاد شده است.

با بررسی‌های انجام شده، مشخص گردید که استفاده از انرژی خورشید در تولید برق، می‌تواند وابستگی به سوخت فسیلی را در کشور کاهش داده و سبب افزایش امنیت انرژی، کاهش وابستگی به سوختهای فسیلی و علاوه بر این در غلبه بر کمبود انرژی برق نقش مهمی ایفا کند.

۵- منابع

[۱] مهدوی عادلی، م. سلیمی، م. قزلباش، ا. ۱۳۹۳. ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی برق خورشیدی(فتوولتائیک) و برق فسیلی در مصارف خانگی (مطالعه موردی مجتمع سه واحدی در شهرستان مشهد). *نشریه سیاست‌گذاری اقتصادی*، شماره ۱۱: ۱۴۷-۱۲۳.

[۲] شمس، م. خاوری، ف. محمدی، ج. ۱۳۹۲. مروری بر فناوری‌های تولید برق از انرژی خورشیدی و مقایسه آماری بزرگترین نیروگاه‌های خورشیدی جهان. *نشریه توسعه تکنولوژی صنعتی*، شماره ۲۱: ۲۲-۱.

[۳] بریمانی، م. کعبی نژادیان، ع. ۱۳۹۳. انرژی‌های تجدیدپذیر و توسعه پایدار در ایران. دو *فصلنامه تخصصی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو*، شماره ۱: ۲۶-۲۱.

[۴] پورسلطانی، ع. مصطفوی، م. محمدنژاد سیگارودی، ج. منشی پور، س. ۱۳۹۳. بررسی انرژی‌های تجدیدپذیر سیستم‌های فتوولتائیک. *سازمان انرژی‌های نو ایران*.

[۵] نیک نهاد، م. زمزمی، م. ۱۳۹۲. طراحی خانه پایدار با رویکرد بهینه سازی مصرف انرژی. *پنجمین کنفرانس معماری و شهرسازی*، مشهد، ۵ دی ۱۳۹۲.

[6] Ness, B., E. Urbel-Piirsalu, S. Anderberg and L. Olsson (2007). Categorising Tools for Sustainability Assessment, *Ecological Economics*, 60 (3): 498-508.

[7] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2011. Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Chapter 9: Renewable Energy in the Context of Sustainable Development. Abu Dhabi, May 2011.

[۸] معینی، س. منشادی، م. ۱۳۸۹. انرژی‌های تجدیدپذیر و جایگاه آنها در تأمین انرژی. *فصلنامه انرژی ایران*، شماره ۴۱: ۴۸-۴۵.

[۹] وزرات نیرو، ۱۳۹۲. آمار تفصیلی صنعت برق ایران در سال ۱۳۹۲، معاونت منابع انسانی و تحقیقات شرکت مادر تخصصی توانیر، *دفتر فناوری اطلاعات و آمار*.

[۱۰] وزرات نیرو، ۱۳۹۶. آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه تولید نیروی برق در سال ۱۳۹۵، معاونت منابع انسانی و تحقیقات شرکت مادر تخصصی توانیر، *دفتر فناوری اطلاعات و آمار*.

[۱۱] وزرات نیرو، ۱۳۹۶. آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه توزیع نیروی برق در سال ۱۳۹۵، معاونت منابع انسانی و تحقیقات شرکت مادر تخصصی توانیر، *دفتر فناوری اطلاعات و آمار*.

[۱۲] محمدی، س. کیهانی، ر. صمیمی، ا. ۱۳۹۱. ارزیابی فنی و اقتصادی استفاده از سیستم فتوولتائیک در مناطق دوردست. *نشریه امواج برتر*، شماره ۵۵: ۱۲-۷.

[۱۳] سایت سابتا، معرفی سازمان،
www.satba.gov.ir/fa/aboutorganization/introduction-معرفی-سازمان

[۱۴] سایت سابتا، تعرفه خریدتضمینی برق ازنیروگاههای تجدیدپذیر و پاک
www.satba.gov.ir/fa/guidance/guidance/tariffs-تعرفه

[۱۵] سایت سابتا،
whttp://www.satba.gov.ir/fa/guidance/guidance/guidance1/tariff-تعرفه

[16] Gurba, L., 2006, Sustainable Energy Future Contribution of Australian Coal, Melbourne.

[17] Weisser, D., 2007, A guide to life cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies, PESS/IAEA, Austria.

[۱۸] کارگری، ن. مستوری، ر. ۱۳۸۹. مقایسه انتشار گازهای گلخانه ای در انواع نیروگاههای LCA برق با استفاده از رویکرد. *نشریه انرژی ایران*، شماره ۳: ۷۸-۶۷.

[۱۹] بهشتی نیا، م. شاهجویی، م. عالی رضایی، آ. ۱۳۹۵. ارائه یک مدل ترکیبی برای اولویت دهی احداث نیروگاه با منابع تجدیدپذیر با در نظر گرفتن اهداف توسعه پایدار (مطالعه موردی: کشور ایران). *فصلنامه مجلس و راهبرد*، شماره ۸۵: ۳۳۰-۳۰۵.

[۲۰] بهمنی، م. بهرادمهر، ن. ۱۳۹۵. ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی در روستاهای مناطق جنوبی ایران. *نشریه تحقیقات اقتصادی*، شماره ۲: ۳۲۶-۳۰۷.

[21] Lesourd. Jean-Baptiste (2001). Solar Photovoltaic Systems: the Economics of a Renewable Energy Resource. *Environmental Modeling & Software* (16): 147-156.